

19278

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİNDE ÇOK AMAÇLI

BİR YAKLAŞIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End.Müh. Murat BASKAK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1 Ağustos 1991

Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Ağustos 1991

Tez Danışmanı : Doç.Dr.Mehmet TANYAŞ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Ramazan EVREN

Prof.Dr.Ahmet F. ÜZÜK

AĞUSTOS 1991

T. G.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

ÖNSÖZ

Günümüzde üretim plânlama çalışmalarının enönemlilerinden biri olarak kabul edilen ve üzerinde ençok tartışma yapılan konularından olan montaj hattı dengeleme problemlerinin; sezgisel, matematiksel ve benzetim tekniği kullanılarak pek çok çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu tezin içeriğinde, çeşitli yayınlardan kuramsal ve uygulamalı bilgiler ve yöntemler derlenmiştir. Bundan başka yeni bir hat dengeleme yöntemi tanıtılmış ve bir tekstil firmasında yapılan hat dengeleme çalışması sunulmuştur.

Çalışmalarım sırasında ilgi ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve bu konuda beni yönlendiren değerli hocam Sayın Doç.Dr. Mehmet TANYAŞ'a ve tezin yazımını başarıyla ve büyük bir sabırla gerçekleştiren Sayın Emel CİNAN ve Sayın Birgül ALTUNAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos 1991

Murat BASKAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	
SUMMARY	
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. ÜRETİM VE ÜRETİM HATTI KAVRAMLARI	3
2.1. Üretim	3
2.2. Üretim Tipleri	5
2.2.1. Sipariş Tipi Üretim Sistemi	5
2.2.2. Akış Tipi Üretim Sistemi	7
2.2.3. Proje Tipi Üretim Sistemi	8
2.2.4. Sürekli Proses Üretim Sistemi	8
2.3. Üretim Hatları	10
2.3.1. Genel Olarak Üretim Hatları	10
2.3.2. Akış Hatlarının Ürünün Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	11
2.3.3. Hat Dengeleme Mâliyeti İşlevi	13
2.3.4. Üretim Hatlarının Dengelenmesinin Amaçları ...	15
2.3.5. Üretim Hatlarını Dengeleme Yolları	16
BÖLÜM 3. HAT DENGELEME VE MONTAJ HATLARI	17
3.1. Hat Dengeleme Kavramı	17
3.2. Montaj Hatlarını Dengelemenin Amaçları	21
3.3. İşgücü Yükünün Dengelenmesinde Başvurulabilecek Çareler	22
3.4. Montaj Hattı Dengelemeyi Etkileyen Temel Etmenler ve Kısıtlar	22
3.4.1. Temel Etmenler	22
3.4.2. Montaj Hattı Dengelemede Kısıtlar	23
3.4.2.1. Temel Kısıtlar	23
3.4.2.2. Yan Kısıtlar	23
3.5. Montaj Süreci	25
3.5.1. Mekanik Bağlantı	25

3.5.1.1. Sıralanmış Bağlantılar	25
3.5.1.2. Perçinler, Kıvrımlama ve Diğer Yöntemler	25
3.5.1.3. Pres Geçmeler	26
3.5.1.4. Kopma Geçmeler	26
3.5.1.5. Dikiş	26
3.5.2. Katılma Yöntemleri	26
3.5.3. Yapıştırıcı Bağlantı	27
3.6. Montaj Hattı Dengelemede Temel Kavramlar	27
3.6.1. İş Üçesi	27
3.6.2. İş İstasyonu	28
3.6.3. Toplam İş Süresi	28
3.6.4. İş İstasyonu Süresi	28
3.6.5. Çevrim Süresi	29
3.6.6. Enküçük İş İstasyonu Sayısı	30
3.6.7. Ortalama İş İstasyonu Süresi	30
3.6.8. Denge Kaybı	30
3.6.9. Teknolojik Öncelik Diyagramı	32
3.6.10. Öncelik Matrisi	32
3.6.11. Düzgünlük İndeksi	33
3.6.12. Hat Etkinliği	34
3.6.13. Kuramsal Etkinlik	34
3.6.14. Güvenlik Düzeyi	34
3.6.15. Ürün Karışımı	34
3.7. Montaj Sistemleri	34
3.7.1. İnsanlı Montaj Hatları	35
3.7.2. İş İstasyonları Arasında İş Transferi	36
3.7.2.1. Mekanik Olmayan Hatlar	36
3.7.2.2. Hareketli Bant Hatları	37
3.7.3. Model Değişiklikleri	38
3.7.3.1. Tek Modelli Hatlar	39
3.7.3.2. Çok Modelli Hatlar	39
3.7.3.3. Karışık Modelli Hatlar	39
3.7.3.4. Model Değişikliklerinin Karşılaştırılması	41
3.7.4. Montaj Hatlarının Yerleşimi	41
3.7.5. İnsanlı Esnek Montaj Hatları	43

3.8. Otomatize Montaj Sistemleri	45
3.8.1. Otomatize Montaj Terimi	45
3.8.2. Otomatize Montaj İçin Tasarım	45
3.8.2.1. Gerekli Montaj Miktarının Azaltımı	47
3.8.2.2. Modüler Tasarım Kullanımı	47
3.8.2.3. Gerekli Bağlayıcıların Sayısının Azaltılması	48
3.8.2.4. Hemen Yönetilmesi Gereken Çoklu Bileşenler İçin Gereksinmeyi Azaltmak	48
3.8.2.5. Yolların Gerekli Rotalarını Sınırlamak....	48
3.8.2.6. Bileşenlerde Yüksek Kalite Gereksinimi ...	48
3.8.2.7. Sıçramaların Tamamlanması	49
3.8.3. Otomatize Montaj Sistemi Tipleri	49
3.8.4. Parça Besleme Aygıtları	51
3.8.4.1. Parça Taşıma Sisteminin Öğeleri	52
3.8.4.2. Taşıma Sistemi Etkinliğinin Sayısal Analizi	54
3.8.5. Çok İstasyonlu Montaj Makinalarının Analizi ..	58
3.8.5.1. Bir Şans Oyunu Olarak Montaj Makinası	59
3.8.5.2. Performans Ölçüleri	61
3.8.6. Tek İstasyonlu Bir Montaj Makinasının Analizi.	64
3.9. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması	68
3.9.1. Yönteme Göre Sınıflandırma	68
3.9.1.1. Sezgisel (Bulgusal) Yöntemler	68
3.9.1.2. Analitik Yöntemler	69
3.9.1.3. Benzetim Teknikleri	69
3.9.2. Probleme Göre Sınıflandırma	71
BÖLÜM 4. MONTAJ HATTI DENGEMEDE KLASİK YÖNTEMLER	73
4.1. Çevrim Süresi Bilinip, İstasyon Sayısının Saptanması Durumunda Yöntemler	73
4.1.1. Jackson Yöntemi (Aşamalı Sıralamayla Çözüm) ..	73
4.1.2. Helgeson-Birnie Yöntemi (Derece Konumlu Ağırlık Tekniği)	76
4.1.3. Hoffman Yöntemi (Öncelik Diyagramı ile Çözüm).	79
4.1.4. İki Aşamalı Moddie-Young Dengeleme Yöntemi ...	83
4.1.5. Comsoal Tekniği	91

4.1.6. Karp-Held-Shareshian Yöntemi (Dinamik Programlamayla Çözüm)	94
4.1.7. Kilbridge-Wester Yöntemi	99
4.1.8. Salveson Yöntemi (Aday Matrisle Çözüm)	108
4.1.9. Probabilistik Hat Dengeleme	114
4.1.9.1. Sürelerin Normal Dağılıma Uyuma Durumu	114
4.1.9.2. Sürelerin Dağılımının Bilinmemesi Durumu .	115
4.1.10. Tonge (Gruplama) Yöntemi	115
4.1.11. Thangavelu-Shetty Modeli	122
4.1.12. Enkısıtıcı Yol Yöntemi	128
4.1.13. Raouf-Tsui-El-Sayed Yöntemi	130
4.1.14. Montaj Hatlarında Birden Çok Ürün/Model Bulunması Durumunda Dengeleme	136
4.2. Çevrim Süresinin Bilinmediği Durumda Yöntemler ...	141
4.2.1. Kilbridge-Wester Yöntemi	141
4.2.2. İstasyon Sayısının Bilinmesi Durumunda Çevrim Süresinin Saptanması	142
4.3. Matematiksel Programlama Yaklaşımı	145
4.4. Dengelenmemiş Üretim Hatları	147
BÖLÜM 5. MONTAJ HATTI DENGEMEDE YENİ YAKLAŞIMLAR	150
5.1. Klasik Hat Dengeleme Yöntemlerinin Dışında Hat Dengelemeyi Geliştirme Yolları	150
5.1.1. Giriş	150
5.1.2. İş Öğelerinin Bölünmesi	150
5.1.3. Otomatik İstasyonlarda İş Kafası (Workhead) Hızlarının Değiştirilmesi	151
5.1.4. Yöntem Analizleri	151
5.1.5. Bileşenlerin Ön Montajı	152
5.1.6. İstasyonlar Arasında Ara Stoklar	152
5.1.7. Paralel İstasyonlar	153
5.2. Montaj Hattı Dengelemede İlişkili Etkinlik Kavramı	156
5.2.1. Giriş	156
5.2.2. Engeniş Küme Kuralı	157
5.2.2.1. Gösterim	157
5.2.2.2. Engeniş Küme Kuralı Algoritması	158
5.2.2.3. İşçileri Sıralamada Esneklik	164

5.3. İş İstasyonlarında Çok Adamlı Montaj Hatlarını	
İçeren Bir Problemin Formülasyonu	165
5.3.1. İlk Formülasyon	165
5.3.2. Yeniden Formülasyon	167
5.4. Görev Öğrenimi Gözönüne Alınarak Montaj Hattı	
Tasarımı	169
5.4.1. Öğrenme ve Üretim Sistemleri	169
5.4.2. Görev Öğrenme ve İş Verimliliği Arası İlişki ..	170
5.4.3. Montaj Hattı Çıktı Oranları ve Öğrenme	173
5.4.4. Görev Öğrenme ve Süre Varsayımları Altında	
Enuygun Montaj Hattı Tasarımı	174
5.5. Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Mâliyet Kavramı ..	177
5.5.1. Temel Bilgiler	177
5.5.2. Genel Varsayımlar	179
5.5.3. Öğrenme Mâliyeti Etmeni	179
5.5.4. Envanter Mâliyeti Etmeni	182
5.5.5. Hazırlık Mâliyeti Etmeni	184
5.5.6. Enuygun Yığın Büyüklüğünün ve Yığın	
Sayısının Saptanması	185
5.5.7. Dengeleme Mâliyeti Etmeni	185
5.5.8. Bina Mâliyeti Etmeni	186
5.5.9. Toplam Mâliyet	186
5.6. Bir Montaj Sisteminin Yerel Depo Büyüklüklerinin	
Enuygun Seçimi	188
5.6.1. Temel Bilgiler	188
5.6.2. Başlangıç Varsayımları	188
5.6.3. Gösterimler	189
5.6.4. Enuygunlaştırma Modeli	190
5.7. Sonlu Sığalı Tümlşik Montaj Sisteminin Enuygun	
Kullanımı	193
5.7.1. Genel Bilgiler	193
5.7.2. Varsayımlar	195
5.7.3. Gösterimler	196
5.7.4. Enuygunlaştırma Modeli	197
5.8. Çevrim Süresi ve İş İstasyonlarının Dengelenmesi ..	199
5.8.1. Genel Bilgiler	199
5.8.2. Gösterimler	199

5.8.3. Sınırlama Denklemleri	200
5.8.3.1. Başlangıç Kabulleri	200
5.8.3.2. Özgüleme Sınırlamaları	200
5.8.3.3. Öncelik Sınırlamaları	201
5.8.3.4. Bölgeleme Sınırlamaları	201
5.8.3.5. Sıralama Sınırlaması	202
5.8.3.6. İş İstasyonu Sınırlaması	202
5.8.3.7. Çevrim Süresi Sınırlaması	202
5.8.4. Nesnel İşlev (Objektif Fonksiyon)	202
5.9. Montaj Sistemlerinin Seçimi İçin Bir Yöntembilim ..	205
5.9.1. Giriş	205
5.9.2. Montaj Sistemi İlkeleri	208
5.9.3. Birinci Devre: Hiyerarşik Yapı Geliştirme ...	209
5.9.4. İkinci Devre: Mâliyet Analizi Yapısı Geliştirme	210
5.10. Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Etkili Bir Sezgisel Yöntem	212
5.10.1. Giriş	212
5.10.2. Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi	214
5.10.2.1. Problem Tanımlama	214
5.10.2.2. Karışık Tamsayılı Programlama Olarak Basit Montaj Hattı Dengeleme Formülasyonu	215
5.10.2.3. Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi ve Diğer İlişkili Problemler	218
5.10.3. Etkili Bir Sezgisel Algoritma	218
5.11. Diğer Yaklaşımlar	219
5.11.1. Paralel Hatlarla Montaj Sistemleri Üzerinde Öğrenme ve İş Büyültmenin Etkilerini Modelleme	219
5.11.2. JIT Üretim Sistemlerinde Karışık Model Montaj Hatları İçin Düzey Programları	219
5.11.3. Montaj Hattı Dengeleme Çözümlerini Değerlendirmek İçin Bir Benzetim Yaklaşımı ..	219
5.11.4. Esnek Montaj Sistemleri: Yakın Gerçek Zaman Programları ve Karışık Ürünlerin Rotalanması İçin Bir Yaklaşım	220

5.11.5. Paralel İş İstasyonları İle Montaj Hattı	
Dengeleme ve Ölü Zaman	221
5.11.6. Montaj Hattı İş Sıralama İlkeleri	221
BÖLÜM 6. ÇOK MODELLİ MONTAJ HATLARI İÇİN YENİ BİR	
DENGELEME YÖNTEMİ	222
6.1. Giriş	222
6.2. Tanım ve Varsayımlar	222
6.2.1. Problemin Tanımı	222
6.2.2. Yapılan Varsayımlar	222
6.3. Çözüm Yöntemi ve Algoritması	223
6.3.1. Yöntemin Felsefesi	223
6.3.2. Yöntemin Algoritması	223
6.3.3. Yöntemin Akış Diyagramı	225
6.4. Yöntemin Avantaj ve Dezavantajları	225
6.4.1. Yöntemin Avantajları	225
6.4.2. Yöntemin Dezavantajları	225
6.5. Uygulama	232
6.5.1. Örnek Problem	232
6.5.2. Yöntemin Uygulanması	233
BÖLÜM 7. BİR KONFEKSİYON FABRİKASINDA UYGULAMA	243
7.1. Giriş	243
7.2. Üretilen Gömlek Tipleri	243
7.3. İlk Dengeleme İşlemleri	244
7.4. Yeniden Dengeleme Çalışmaları	244
7.5. Son Dengeleme Çalışmaları	280
7.6. Ortalama Denge Kayıpları	284
7.7. Toplam Mâliyetlerin Bulunması	288
7.8. Karar Vericiye Sunuş	290
7.9. Sonuç	291
KAYNAKÇA	292
ÖZGEÇMİŞ	296

ÖZET

Endüstrileşme, toplam işin öğelerine ayrılarak, bu öğelerin ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşünü ortaya çıkarmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden geçirilerek yapılır. Malzemelerin akış hattı boyunca, işgücünden yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin, aralarındaki kısıtlar gözönüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturdukları istasyonların yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme "montaj hattı" adı verilmektedir.

Bir veya birkaç ürün için yapılacak montaj hattı üretimi tasarlandığında, üretimi oluşturan iş öğelerinin iş istasyonlarına özgülenmesi problemi karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla, söz konusu iş öğelerinin işlem sürelerinin, iş istasyonlarına göre dengelenmesi gerekmektedir.

Ürün veya model sayısına göre montaj hatlarını üç temel gruba ayırabiliriz :

1) Tek Modelli Hatlar : Bunlar, tek bir model veya ürünün üretimine yönelik özel hatlardır.

2) Çok Modelli Hatlar : Bu tür hatlarda, farklı ürünler veya aynı ürünün iki veya daha çok benzer tipi, ayrı yığınlar hâlinde üretilir. Her model, bu hat üzerinde ayrı bir yığın oluşturur.

3) Karışık Modelli Hatlar : İki veya daha çok benzer ürünün veya bir ürünün değişik modellerinin aynı anda ve karışık olarak üretildiği montaj hatlarıdır.

Genellikle üzerinde çalışma yapılmış olan grup, tek modellenli hatlardır. Günümüz çalışmaları da çok modellenli hatlar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Karışık modellenli hatlar konusunda yapılmış çok az çalışma vardır.

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1. Genel Bir Üretim Sistemi
Şekil 2.2. Üretim Yönetimi Etkinlikleri
Şekil 2.3. Sipariş Tipi Üretim Sistemi
Şekil 2.4. Akış Tipi Üretim Sistemi
Şekil 2.5. Proje Tipi Üretim Sistemi
Şekil 2.6. Sürekli Proses Üretim Sistemi
Şekil 2.7. Akış Hatlarının Sınıflandırılması ve Özellikleri
Şekil 2.8. Akış Hatları Sınıflandırması
Şekil 2.9. İstasyon Sayısı ve Çevrim Süresi İlişkileri
Şekil 3.1. n İstasyonlu Bir Montaj Hattında Çevrim Süresinin Alt Süreleri
Şekil 3.2. n İstasyonlu Bir Montaj Hattında a) Tam Denge, b) Tam Kurulamamış Denge
Şekil 3.3. 11 Öğeli Bir Öncelik Diyagramı
Şekil 3.4. İnsanlı (Manuel) Bir Montaj Hattının Diyagramı
Şekil 3.5. Tek Modelli Bir Montaj Hattı
Şekil 3.6. Çok Modelli Bir Montaj Hattı
Şekil 3.7. Karışık Modelli Bir Montaj Hattı
Şekil 3.8. Fiziksel Montaj Hattı Tipleri
Şekil 3.9. İşlevsel Montaj Hattı Tipleri
Şekil 3.10. Bir Altıkarınca Montaj Sisteminin Konfigürasyonu
Şekil 3.11. Otomatize Montaj Sistemlerinde Bileşen Besleyicileri İle Kullanılan a) Eleyici, b) Oryante Edici Aygıtlar
Şekil 3.12. Otomatize Montaj Sistemlerinde Kullanılan Çeşitli Ayrılma ve Verleştirme Aygıtları
Şekil 3.13. Bir Montaj İş İstasyonunda Parça Taşıma Sisteminin Öğeleri
Şekil 3.14. Çok İstasyonlu Montaj Hattı
Şekil 3.15. Tek İstasyonlu Montaj Makinası
Şekil 4.1. Örnek 4.1. İle İlgili Öncelik Diyagramı
Şekil 4.2. Örnek 4.1.'e İlişkin Enuygun Çözüm
Şekil 4.3. Örnek 4.2.'ye İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.4. Örnek 4.3.'e İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.5. Örnek 4.5.'e İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.6. Örnek 4.6.'ya İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.7. Örnek 4.7.'ye İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.8. Örnek 4.7.'ye İlişkin Enuygun Çözüm
Şekil 4.9. Örnek 4.8.'e İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.10. Kilbridge-Wester Hat Dengeleme Yöntemine İlişkin Akış Şeması
Şekil 4.11. Örnek 4.9.'a İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.12. Örnek 4.9.'a İlişkin Enuygun Çözüm
Şekil 4.13. Örnek 4.10'a İlişkin Öncelik Diyagramı ve Süreler
Şekil 4.14. Z Türü Gruplamaya Bir Örnek
Şekil 4.15. Örnek 4.11'e İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.16. Örnek 4.12.'ye İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.17. A ve B Modelleri İçin Öncelik Şeması

- Şekil 4.18. Örnek 4.15'e İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 4.19. Örnek 4.15.'e İlişkin Son Dengeleme Durumu
Şekil 4.20. İşlem Serimi
Şekil 5.1. İlgili Montaj İşlemi İçin Öncelik Diyagramı
Şekil 5.2. Paralel İstasyon Kullanımıyla İş İstasyonu Konfigürasyonu
Şekil 5.3. Engeniş Küme Kuralı Algoritması İçin Mantık Akış Diyagramı
Şekil 5.4. Birinci Adım
Şekil 5.5. İkinci Adım
Şekil 5.6. Üçüncü Adım
Şekil 5.7. Dördüncü Adım
Şekil 5.8. Beşinci Adım
Şekil 5.9. Altıncı Adım
Şekil 5.10. Yedinci Adım
Şekil 5.11. Sekizinci Adım
Şekil 5.12. Dokuzuncu Adım
Şekil 5.13. Onuncu Adım
Şekil 5.14. İşçiler Arasındaki İş Üzgülemesi
Şekil 5.15. İşçilerin Öncelik Diyagramı
Şekil 5.16. Standart Süre-Gerçek Performans İlişkisi
Şekil 5.17. Üretim Programı ve Envanter Düzeyi Programı
Şekil 5.18. Verilmiş Bir Operasyon Koşulları Altında Beş Mâliyet Etmeninin Görünüşü
Şekil 5.19. Konuyla İlgili Montaj Sistemi.
Şekil 5.20. İki Taşıyıcı İstasyon İle Bağlı, İki İş İstasyonu ve İki Kontrol İstasyonunda Oluşan Bir Montaj Hattı
Şekil 5.21. Bir Otomatize Kontrol Sisteminin Sunumu
Şekil 5.22. Öncelik İlişkileri ve Görev Süreleri
Şekil 5.23. Montaj Sistemlerinin Bir Sınıflandırması
Şekil 5.24. Montaj Sisteminin Alt Sistemleri ve Bileşenlerini Değerlendirme Şeması
Şekil 5.25. Montaj Sisteminin Yaşam Çemberi Mâliyetinin Mâliyet Analizi Yapısı Şeması
Şekil 6.1. Çözüm Yöntemine İlişkin Akış Diyagramı
Şekil 6.2. 1. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 6.3. 2. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 6.4. 3. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 6.5. 1. Modelin Dengeleme Sonucu
Şekil 6.6. 2. Modelin Dengeleme Sonucu
Şekil 6.7. 3. Modelin Dengeleme Sonucu
Şekil 7.1. 1. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 7.2. 2. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 7.3. 3. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 7.4. 4. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 7.5. 5. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 7.6. 6. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 7.7. 7. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 7.8. 8. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 7.9. 9. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı
Şekil 7.10. 10. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.	Akış Hatları Sınıflandırması
Tablo 3.1.	Şekil 3.3'deki Öncelik Diyagramına İlişkin Öncelik Matrisi
Tablo 3.2.	4 Montaj Sistemi Konfigürasyonu İçin Olası İş Transfer Sistemleri
Tablo 3.3.	Örnek 2.2. İçin Gerekli Bilgiler
Tablo 4.1.	İş Öğelerine İlişkin Konum Ağırlıklarının Ölçümü
Tablo 4.2.	İş Öğelerinin İstasyonlara Özgülenmesi
Tablo 4.3.	Öncelik Matrisinin Oluşturulması
Tablo 4.4.	İkinci Öncelik Matrisi
Tablo 4.5.	Üçüncü Öncelik Matrisi
Tablo 4.6.	İstasyonlar ve Özgülenen İşler
Tablo 4.7.	Örnek 4.4. İle İlgili P ve F Matrisleri
Tablo 4.8.	Birinci Sonuç Tablosu
Tablo 4.9.	İkinci Sonuç Tablosu
Tablo 4.10.	Üçüncü Sonuç Tablosu
Tablo 4.11.	Örnek 4.5. İle İlgili P ve F Matrisleri
Tablo 4.12.	Örnek 4.5.'in Çözümü
Tablo 4.13.	Örnek 4.6. İle İlgili Veriler
Tablo 4.14.	Örnek 4.6.'nın Bir Çözümü
Tablo 4.15.	Örnek 4.7'ye İlişkin Çözüm
Tablo 4.16.	Problem Verilerinin Sınıflandırılması
Tablo 4.17.	İşlem Özgülemeleri-1
Tablo 4.18.	İşlem Özgülemeleri-2
Tablo 4.19.	İşlem Özgülemeleri-3
Tablo 4.20.	İşlem Özgülemeleri-4
Tablo 4.21.	Öncelik Matrisi
Tablo 4.22.	Olası İstasyonlar İçin Oluşturulan Tablo
Tablo 4.23.	İlk Olası Çözüm
Tablo 4.24.	İkinci Olası Çözüm Arama Aşaması
Tablo 4.25.	İkinci Olası Çözüm
Tablo 4.26.	Örnek 4.10.'un Çözümü
Tablo 4.27.	Örnek 4.12. İçin İkili Öncelik Matrisleri
Tablo 4.28.	F'deki Sıraların Birikimli Toplamları
Tablo 4.29.	P'deki Kritik Öğelerin Sırasındaki Tüm Ortalama Öğeler Süreleri
Tablo 4.30.	Örnek 4.12.'nin, C = 21 İçin Çözümü
Tablo 4.31.	İki Modelli Hat Dengeleme Probleminin Veri Tablosu
Tablo 4.32.	İki Modelli Hat Dengeleme
Tablo 4.33.	Örnek 4.15'e İlişkin Çözüm Aşamaları
Tablo 5.1.	İş Öğeleri, Süreleri ve Öncül İşleri
Tablo 5.2.	İş Öğeleri ve Paralel İstasyon Kullanımıyla Özgüldendiği İstasyonlar
Tablo 5.3.	Seçenek Montaj Hattı Tasarımları İçin İstasyon Süreleri (Dakika)

Tablo 5.4.	İlk Ünitenin Kestirilmiş Süresi ve Kestirilmiş Öğrenme Oranları
Tablo 5.5.	Çeşitli Montaj Hatları İçin Ortalama Ünite Süresi, Üretim Yapma Uzunluğu ve Toplam Gerekli İşçi Süresi
Tablo 5.6.	Örnek 5.5. İçin Problemin Özellikleri
Tablo 5.7.	Örnek 5.5.'in İki Farklı Durum İçin Çözümü
Tablo 6.1.	İşleri Gerçekleştirme Mâliyetleri (P.B.)
Tablo 6.2.	Örneğe İlişkin Birikimli İşlem Süreleri
Tablo 6.3.	5 İstasyonlu Durum İçin Yeniden Dengeleme
Tablo 6.4.	5 İstasyonlu Durum İçin Son Dengeleme
Tablo 6.5.	7 İstasyonlu Durum İçin Yeniden Dengeleme
Tablo 6.6.	7 İstasyonlu Durum İçin Son Dengeleme
Tablo 6.7.	Karar Vericiye Sunulan Çözüm Kümesi
Tablo 7.1.	İşlemler, Süreleri ve Yapıldıkları Makinalar
Tablo 7.2.	İşleri Gerçekleştirme Mâliyetleri (P.B.)
Tablo 7.3.	1. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.4.	2. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.5.	3. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.6.	4. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.7.	5. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.8.	6. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.9.	7. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.10.	8. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.11.	9. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.12.	10. Modelin Dengeleme Çözümü
Tablo 7.13.	Probleme İlişkin Birikimli İşlem Süreleri (Model 1,2,3 ve 4 için)
Tablo 7.14.	Probleme İlişkin Birikimli İşlem Süreleri (Model 5,6,7 ve 8 için)
Tablo 7.15.	Probleme İlişkin Birikimli İşlem Süreleri (Model 9 ve 10 için)
Tablo 7.16.	21 İstasyonlu Durum İçin Yeniden Dengeleme Sonucunda Genel Olarak İstasyonlarda Yapılabilecek İşler
Tablo 7.17.	22 İstasyonlu Durum İçin Yeniden Dengeleme Sonucunda Genel Olarak İstasyonlarda Yapılabilecek İşler
Tablo 7.18.	23 İstasyonlu Durum İçin Yeniden Dengeleme Sonucunda Genel Olarak İstasyonlarda Yapılabilecek İşler
Tablo 7.19.	21 İstasyonlu Durum İçin Son Dengeleme Sonucunda Genel Olarak İstasyonlarda Yapılabilecek İşler
Tablo 7.20.	22 İstasyonlu Durum İçin Son Dengeleme Sonucunda Genel Olarak İstasyonlarda Yapılabilecek İşler
Tablo 7.21.	23 İstasyonlu Durum İçin Son Dengeleme Sonucunda Genel Olarak İstasyonlarda Yapılabilecek İşler
Tablo 7.22.	21 İstasyon Seçeneği İçin Toplam Mâliyetler
Tablo 7.23.	22 İstasyon Seçeneği İçin Toplam Mâliyetler
Tablo 7.24.	23 İstasyon Seçeneği İçin Toplam Mâliyetler
Tablo 7.25.	Karar Vericiye Sunulan Çözüm Kümesi

SUMMARY

ASSEMBLY LINE BALANCING

Introduction

An assembly system performs a set of distinct minimum rational work elements for the assembly of a product or products and consists of a set of work stations linked together by a transport mechanism and a detailed specification of how the assembly of the product flows from one station to another. A minimum rational work element (task, hereafter) is the smallest indivisible work element and a work station (station, hereafter) a location along the flow line where the tasks are processed. A task is 'smallest and indivisible' in the sense that it cannot be divided between two or more stations without conflict, and that is separable from other activities, that is it can be performed independently. The time required for the completion of a task is termed the task processing time (process time, hereafter). A station consists of human or robotic operators and/or machinery, equipment and gadgets.

The series of stations and the transport mechanism, usually a conveyor belt, is referred to as the assembly line. The conveyor belt moves at each interval of T time units, known as the cycle time, that is a manufacturing item is fed to the first station of the line at a predetermined constant feed rate $1/T$. The production rate is therefore $1/T$ units per time unit. Since the item is available to a station for T time units only, the total time required to perform all the tasks assigned to a station should not exceed T , if the line is to operate smoothly with no delays or interruptions. One of the key issues in the design of an assembly system, therefore, is specification of the tasks to be performed at each individual station. This can not be done arbitrarily because, in addition to the cycle-time restriction, there exist technological sequencing requirements, known as precedence relations, that is the processing of a task may not start until the processing of all its immediate predecessors has been completed. The precedence relations are traditionally represented schematically by a precedence network/diagram. Each node of such a network corresponds to a distinct task and, if task i is an immediate predecessor of task j , that is if the processing of task j cannot start until task i is completed this relation is represented by a directed arc (i,j) , joining node i to node j . The set of precedence relations is simply a partial ordering of the tasks.

To fully utilize the resources, the collection of tasks assigned to a particular station must be chosen so that the idle time at that station is minimal. The assembly line is said to be balanced

if the sum of the idle times of all the stations along the line is as low as possible. For a fixed cycle time, this can be attained by minimizing the number of stations, since the cycle time and the process times are given constants (Salveson 1955). If the tasks can be grouped so that all the station times are exactly equal, the line is said to have perfect balance and production can be expected to flow smoothly. In most practical situations, however, perfect balance is very difficult to achieve. When the station times are unequal, the slowest station, the bottleneck station, determines the overall effective production rate of the line.

The problem is first defined and a mixed-integer programming formulation presented, this problem is then related to other well known problems and its solvability in its exact form discussed. A new and computationally efficient heuristic method is then presented. Finally, computational experience with the test problems is summarized and some possible refinements are discussed.

The simple assembly line balancing problem

Problem definition

In the simplest form of assembly line balancing, only two types of constraint are considered: cycle time constraint (the sum of the process times of the individual tasks assigned to any station cannot exceed the given cycle time) and precedence constraints (precedence relations due to technological or design requirements of the product must be observed). Process times are here assumed to be known with certainty (to be deterministic) and all stations considered to be identically equipped and manned (that is any task can be processed at any one of those stations). Furthermore, the total line is considered to be serial, with no feeder or parallel subassembly lines.

Given a finite number of tasks and their process times, a partial ordering of the tasks and a fixed cycle time, the simple assembly line balancing problem (SALBP) is one of assigning the tasks to the stations along the assembly line in such a manner that the cycle time and the precedence constraints are satisfied, while the total idle time at the stations is minimized. Implicit here are the occurrence requirements (every task must be assigned to some station) and the non-divisibility requirements (no task can be split between two or more stations). Furthermore, as first shown by Salveson the total idle time is minimized when the number of stations along the line is minimized, because the total time to process all the tasks and the cycle time are both constant. Thus, total idle time is simply a linear function of the number of the stations used.

SALBP is also known as the single-model deterministic line balancing problem 'single-model' in the sense that the system is designed for the assembly/production of only one model/make of a unique product and 'deterministic' in the sense that the task process times are known with certainty and, the cycle time are given and fixed constants. It is also known as the type-1 assembly line balancing problem, and the variation in which the number of the stations is fixed to minimize, the cycle time is referred to as the type-2 assembly line balancing problem.

The simple case described clearly does not represent all the complications of an assembly system and, numerous variations of SALBP have been defined in the literature. These will be referred to as the general assembly line balancing problem (GALBP), whether they are deterministic or stochastic. These versions incorporate other complications found in assembly systems such as mixed-models. (Thomopoulos 1967), zoning requirements, must-do-tasks, balance delay, parallel stations, processing alternatives and other extensions.

Formulation of SALBP as a mixed-integer program

SALBP was first formulated as a mathematical program by Bowman. In the Bowman model, as modified by White, presented here: I denotes the task set, $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, m\}$, and t_i the process time of task i , where $i \in I = \{1, 2, \dots, m\}$. Also $P(i)$ are {immediate predecessors of task i } and the cycle time is denoted by T . The decision variable is defined as follows: let $x_{ij} = 1$ if task i is assigned to station j and $x_{ij} = 0$ if it is not, where $j = 1, 2, \dots, n$, and $n \leq m$. The following 0-1 program represents SALBP.

Program P

Minimize

$$Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_j x_{ij} \quad (1)$$

subject to the following constraints:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m t_i x_{ij} \leq T \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_{ik} \leq \sum_{j=1}^k x_{hj} \quad \forall i \in I, \forall k \in J \text{ and } \forall h \in P(i) \quad (4)$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad \forall i \in I \text{ and } \forall j \in J \quad (5)$$

where c_j is the penalty associated with using work station j such that

$$c_{j+1} \geq M c_j \quad \forall j \in J - \{n\} \quad (6)$$

and M is a sufficiently large positive integer.

The objective function (1) represents the "cost" of using the stations and is, therefore, to be minimized. Relation (6) defines such a premium on using an additional station when all the

taks can be accommodated without it, that the minimization of the objective function (1) will result in the minimum number of stations. Constraint (2), known as the "occurrence constraint" guarantees that every taks is assigned to a station and the "cycle-time" constraint (3) guarantees that the total process time for all the tasks assigned to each station is, at most, the prespecified cycle time. Finally, constraint (4) represents the precedence relations: if $x_{ik} = 1$, that is if task i is assigned to station k , then, each immediate predecessor h of task i must be assigned to a station j such that $j \leq k$, so that task h may be completed before the processing of task i starts. If, on the other hand, $x_{ik} = 0$, the immediate predecessor h of i may or may not be assigned to the first k stations. Constraint (5), of course, guarantees that each variable can assume values of 0 or 1 only (that is a task cannot be split among two or more stations).

An improved version of program P is given by Patterson and Albracht and an alternative formulation as a general integer programming problem has been proposed by Talbot and Patterson. If n^* is the optimal number of stations needed, then:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m t_i \leq n^* \leq m \\ & (7) \end{aligned}$$

The equality cases in relation (7) are referred to as the theoretical minimum and maximum number of stations needed, denoted by $n_{\min}$ and $n_{\max}$ respectively. Using similar concepts, Patterson and Albracht define, for each task i , the "earliest" and "latest stations" that task i can be assigned to, based on the precedence relations. This manipulation, together with the fact that one of the tasks with no follower(s) in the precedence diagram must be assigned to the last station of the line, resulted in a new formulation by Patterson and Albracht, which significantly reduced the size of the Bowman and White formulations. Furthermore, in the objective function only the stations $n_{\min}, n_{\min}+1, \dots, n_{\max}$ need be considered, since, by definition, at least $n_{\min}$ stations are known to be needed. Similar simplifications were also reported by Thangavelu and Shetty.

SALBP and other related problems

SALBP is a sequencing/scheduling problem, complicated by the sequencing decisions being subject to both "precedence" and "resource" constraints, for an excellent discussion of these types of problems. SALBP is closely related to other scheduling/sequencing problems: for instance, if, in program P, instead of the precedence constraints (6), the immediate predecessors of each task must be assigned to an earlier station, the problem becomes a single resource constrained scheduling problem.

If there are no precedence relations (when the partial order is empty), the problem is known as the bin-packing problem. Hence, in the bin-packing problem, a given collection of items (tasks) is to be packed into a minimum number of bins (stations), each with identical finite capacities (cycle times). A well-known problem closely related to the bin-packing problem, and hence to SALBP, is the knapsack problem where there is only one bin (knapsack) and

only a subset of the given collection of items can be packed into that bin. Items for packing are to be chosen while optimizing some criterion.

Finally, there is the well known partition problem in which a given collection of objects has to be partitioned into a number of disjoint subsets while optimizing some prespecified criterion. If, as before, I_j , $j \in J$, is the subset of tasks assigned to station j in SALBP, then $l_1, l_2, \dots, l_n$ is a partition of 1. Hence, SALBP is a reduction of the bin-packing problem.



BÖLÜM 1 GİRİŞ

Endüstri devrimi, işbölümü ve uzmanlaşmanın olmadığı, üretimin karmaşık bir şekilde ve düzensizce yapıldığı bir dönemde gerçekleşmiştir. Endüstri devrimi ile verimliliğin önemi anlaşılmaya başlanmıştır.

Endüstri devriminden 1900'lü yılların başlarına kadar üretim hatlarının kullanımına gerek duyulmamıştır. İlk olarak Amerika'da Ford firması tarafından Highland ve River Rouge firmalarında kullanılan, işlerin rasyonelleşmesi, etkin malzeme aktarımı ve ikâme edilebilen parçaların üretilmesi gibi önemli yenilikler getiren üretim hatları bugünkü şeklini almıştır.

Üretim hatları kendi içinde montaj ve transfer hatları olmak üzere ikiye ayrılır. Montaj hatları insanı, transfer hatları ise otomatik parça taşıyıcıları daha çok kullanır.

Montaj hattı sistemlerinin kuruluşundaki amaç, istem miktarı çok yüksek olan ürünlerin en kısa sürede, verimli bir şekilde, ucuz ve istenen kalitede üretilmesidir. Burada verimlilik, özellikle zaman yönünden büyük önem taşımaktadır. Montaj hatları, temelde birbiri ardına dizilmiş, içlerinde bir veya daha çok iş ögesinin yapıldığı iş istasyonlarından oluşurlar. Bu hatta başından veya içinden giren ham madde veya yarıürünler, bu hat boyunca işlenir ve ürün olarak hattan ayrılırlar. Montajı yapılacak olan ürünün kitle isteminin bulunması gerekliliği ve ürün yapısının da montaj hattında üretilmeye uygun olması zorunluğu, montaj hatlarının önemli özellikleridir.

Montaj hatlarının, zaman, yer, konum vb. kısıtlar altında verimli ve düzenli bir şekilde çalışabilmesi için, hattaki istasyonların çalışma sürelerinin en verimli şekilde dengelenmesi gerekir. Hat dengeleme için birçok sezgisel yöntem geliştirilmiş, matematik programlama tekniklerinden yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra benzetim

teknikleri ile montaj hattı dengeleme çalışmalarında somut sonuçlar bulunmuş ve büyük aşamalar sağlanmıştır. Artık tek ve çok modellenli hatlardan başka, karmaşık modellenli montaj hatlarının kullanımı yönünde de çalışmalar başlatılmıştır.

Bu çalışma 6 temel bölümden oluşmaktadır. Bundan sonraki bölümde genel olarak üretim ve üretim tipleri açıklanmış, üretim hatları konusunda genel bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde montaj hatları ve hat dengeleme konusuna girilmiş, dengelemede temel kavramlar açıklanmış, hat dengelemeyi etkileyen temel etmen ve kısıtlardan söz edilmiş, montaj sistemleri sınıflandırılmış ve otomatize montaj sistemleri, geniş olarak belirtilmiştir. Dördüncü bölümde, 1950-1980 yılları arasında geliştirilen sezgisel ve matematiksel hat dengeleme yöntemleri örnekler ile açıklanmıştır. Beşinci bölümde 1980'li yıllarda montaj hattı dengeleme konusundaki yeni yaklaşımlara değinilmiştir. Altıncı bölümde yeni bir yöntem tanıtılmıştır. Yedinci bölümde ise bir tekstil kuruluşunda yapılan hat dengeleme çalışması sunulmuştur.

BÖLÜM 2 ÜRETİM VE ÜRETİM HATTI KAVRAMLARI

2.1. ÜRETİM [Uzmen (1990)]

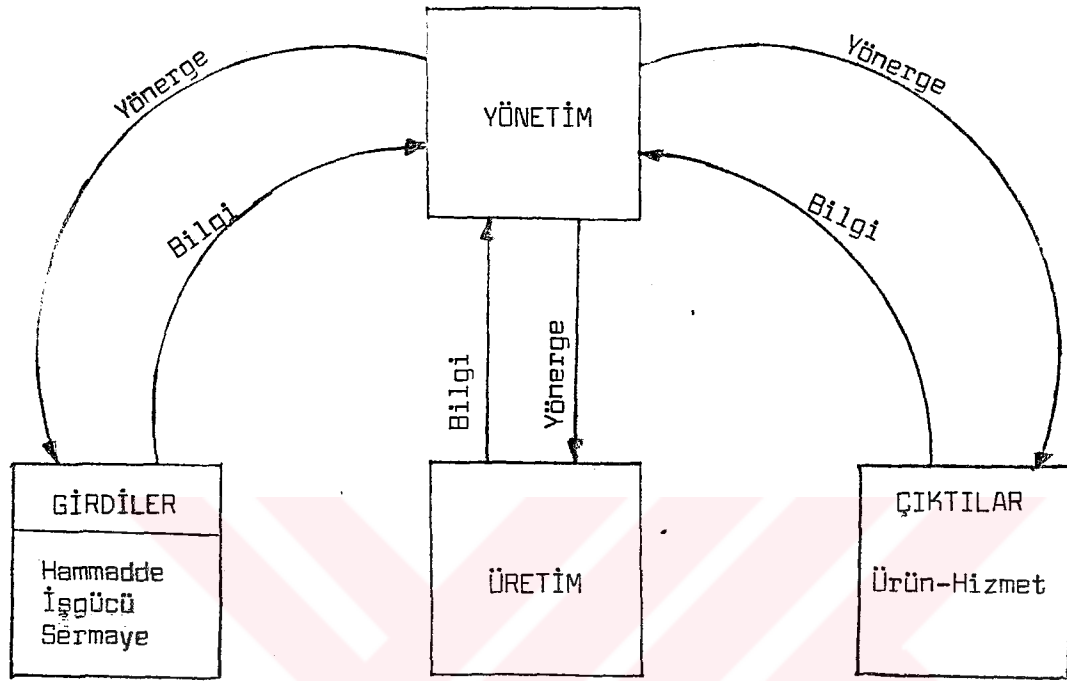
Tanım olarak üretim, ekonomistler ve mühendisler tarafından ayrı biçimlerde ortaya atılır. Ekonomistler Üretimi, "yarar yaratmak" şeklinde tanımlarlar. Mühendisler ise, fiziksel bir varlık üzerinde, onun değerini arttıracak bir değişiklik yapmayı veya hammadde ya da yarıürünleri, kullanabilir bir ürüne dönüştürmeyi üretim sayarlar. Sonuç olarak üretim; temel amacı topluma değer yaratmak olan ve insan gereksinimlerinin, doğa tarafından tam olarak karşılanmaması sonucu ortaya çıkan ve insanlar tarafından geliştirilen bir etkinliktir.

Üretim sonucunda ortaya, ürün ve/veya hizmet çıkarılır. Üretimin amacına ulaşabilmesi için, üretim etmenleri ve kaynaklarının istenen özelliklerde birleştirilmesi ve kullanılması gerekir. Üretim kaynakları; toprak veya hammadde kaynakları, işçilik veya insangücü kaynakları ve sermaye adı verilen üç ana bölümden oluşur. Ama insan gereksinimlerinin sonsuz ve kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle, gelişen teknoloji, üretim sistemlerinin karmaşıklaşması ve üretim kaynaklarının verimli kullanılması gereksiniminin bir sonucu olarak yönetim ögesi de üretim kaynaklarına katılmıştır.

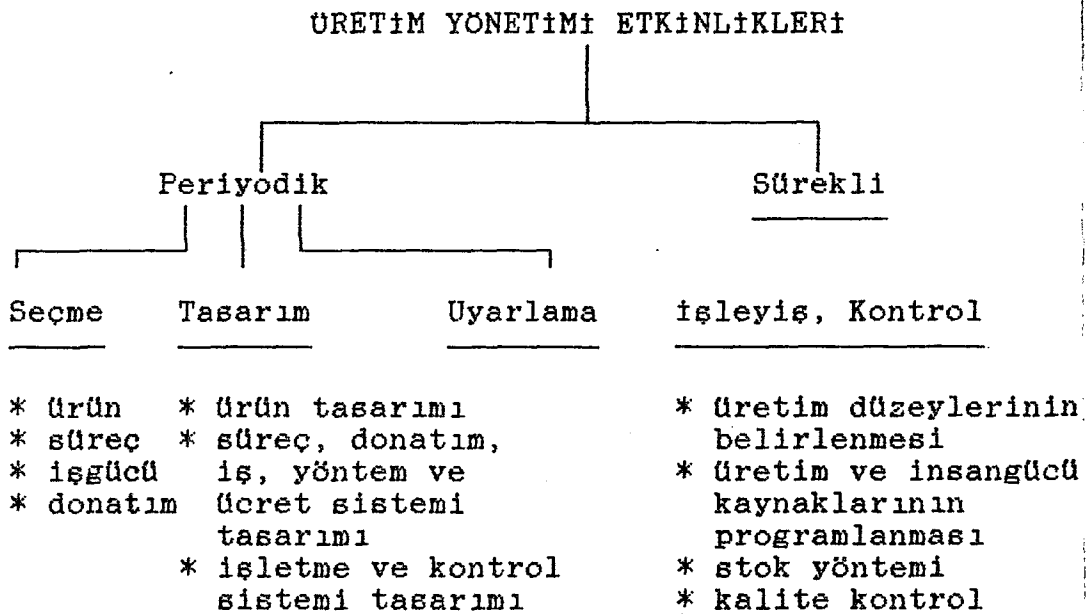
Genelde bir üretim sistemi (Şekil 2.1); kaynakların, ürün veya hizmete dönüştürülmesi için gerekli tüm dönüşüm süreçlerini içerir. Bu sistemlerin tasarlanması, yönetimi ve kontrolü, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.

Bir üretim işletmesine girdi olarak katılan başlıca üretim kaynakları; hammadde, işçilik ve sermayedir. Üretim ile bu girdiler, ürün veya hizmet durumuna dönüştürülür. Yönetim etmeni ise, bu etkinliklerin düzenlenmesini ve yürütülmesini sağlar. Amacı, bir işletmenin elinde bulunan malzeme, makine ve insangücü kaynaklarının, istenen kalite ve sürede, endüyük maliyette biraraya getirilmesi yâni

miktar, kalite, zaman ve maliyet parametrelerinin enuygun şekilde kullanımını sağlamaktır.



Şekil 2.1. Genel Bir Üretim Sistemi



Şekil 2.2. Üretim Yönetimi Etkinlikleri

Üretim tasarlaması ve kontrolü, genel olarak bir üretim yönetimi etkinliğidir. Bu etkinlikte, üretilecek ürünü belirlemek, üretim için donatım gereksinimini saptamak ve ürünlerin, istenen kalite ve maliyette, istenen sürede, doğru zamanlarda ve istenen sayılarda oluşumunu sağlayacak çizelgeleme, programlama çalışmalarını yapmak, ana öğelerdir. Özetle, üretim tasarlaması ve kontrolü, üretimden sorumlu yöneticilerin, kısa zamanda ve yüksek verimde hedefe ulaşması için yol gösteren önemli bir üretim aracıdır.

Engenel anlamda üretim sistemlerinin tasarımı ile ilgili etkinlikleri içeren ve üretim etkinliklerinin sınırlarını belirleyen bir üretim işlevi olarak tanımlanan üretim tasarlama ve kontrol çalışmalarında amaç, gereken mal ve hizmetlerin oluşturulması için gerekli kaynakları bulmak, varlığını garanti altına almak, kaynak kayıplarını endüyük düzeye indirmek, istenen miktarda ürünü, istenen süre ve kalitede, eniyi ve enucuz yöntemlerle üretmek yoluyla enyüksek verimliliği sağlamaktır.

2.2. ÜRETİM TİPLERİ [Mater (1990)]

2.2.1. Sipariş Tipi Üretim Sistemi

Üretim sistemleri içinde ençok kullanılanı ve eneski olanıdır. Atölye tipi üretim sistemi olarak da adlandırılan bu sistemde daha çok, genel amaçlı (Üniversal) takım tezgâhları kullanılır. Tezgâhların yerleştirilmesi, işlevsel düzenleme olarak adlandırılan, aynı işlemleri tezgâhların gruplanarak belirli alanlarda toplanmasıyla sağlanır. Bu nedenle bu üretim sistemi bir bakıma, "işleme göre yerleştirme" ye de örnek oluşturur. Bazı durumlarda tezgâhlardan, karma gruplar da oluşturulabilir. Sisteme giren farklı siparişler, seçenek makinalardan boş olanlarında veya boş yoksa, makinalar arkasında kuyruğa alınmak yoluyla üretime sokulur.

Sipariş tipi üretim sisteminde makinalar için sözkonusu olan bu etkinlik esnekliği, yüksek makina süresi verimlerine ulaşılmasını sağlar (Yeterli yükleme). Ama bu tip üretim, iş akışının karmaşık olmasına neden olmaktadır. Karmaşık iş akışı ise, uzun üretim süresi, büyük süreğ içi stokları, kayıp sipariş ve kötü kalite şeklinde üretime yansır.

Sonuç olarak; sipariş tipi atölye sisteminin geleneksel yerleşim düzeni olan işlevsel düzenlemede karşılaşılan sorunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

1- Parçaların çoğu, tüm üretim etkinliklerini tamamlamak için, birden fazla bölümü dolaşmak zorundadır. Böylece bölüm formeni, tüm parçanın üretiminden sorunlu olmamaktadır. Bu da dolaylı olarak kötü kalite ve daha uzun üretim süresi ile sonuçlanır.

2- Atölyede, bir anda çeşitli parçalar ele alındığından, bir önceki etkinliği bitmiş bir parça, bir sonraki etkinlik için, bitişik bir makineye hemen yüklenememektedir. Yani parça için bekleme süreleri oluşmaktadır.

3- Parçaları, üretimin çeşitli aşamalarında tanımlamak zor olmaktadır. Bu yüzden parçalar, etkinlikler arasında, belirli ara depolarda stoklanır. Bu ise aynı zamanda, ek bir malzeme taşıması gerektirir.

4- Çok sayıdaki parçanın, işlevsel esasa göre düzenlenmiş çok sayıdaki makineye rotalandırılması, pratik olarak etkin bir üretim tasarlama ve kontrol sistemi kurulmasını engeller. Bu da uzun üretim süreleri ve teslim gecikmelerine yol açar.

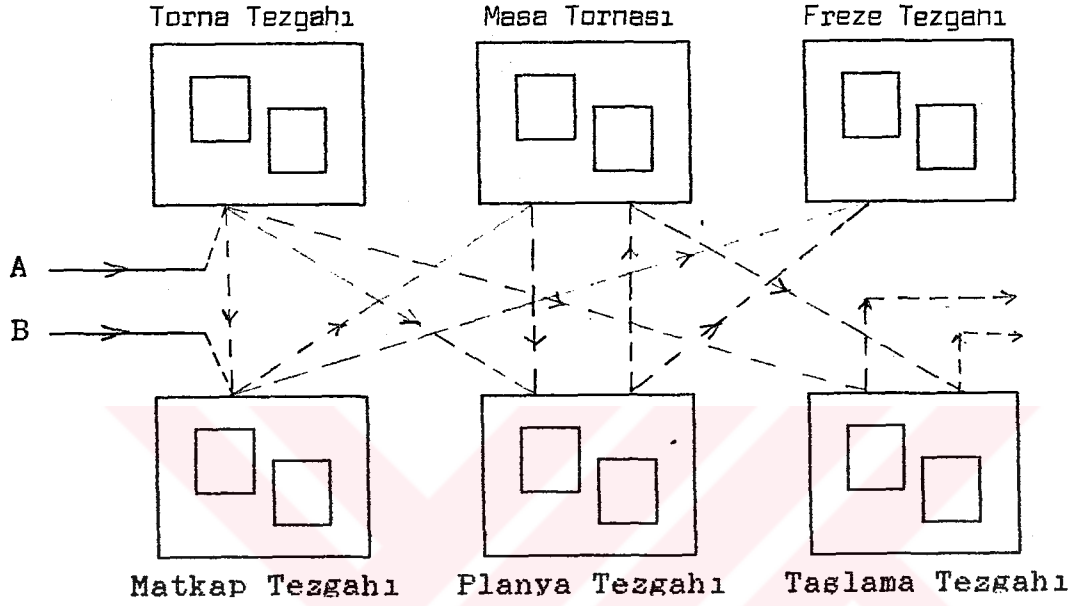
5- Bir makinenin çok çeşitli işler için yüklenmesi, toplam hazırlık sürelerinin yüksek olmasına neden olmaktadır.

6- Uzun hazırlık süreleri, parçaların daha büyük partiler durumunda üretimini zorlar. Bu ise, daha büyük süreç içi stok maliyetine neden olmaktadır.

7- Uzun tasarlama periyotlarında çeşitli nedenlerden dolayı, güvenlik stokları birden tükenebilir. Tükenen parçaların yeniden üretilmeleri, uzun makina hazırlık süreleri yüzünden gecikir.

8- İşlemciler de, çok çeşitli parçaları işlemek zorunda kaldıklarından, verimli çalışmaları olası olamaz.

Sipariş tipi üretim sistemine bir örnek, Şekil 2.3.'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Sipariş Tipi Üretim Sistemi

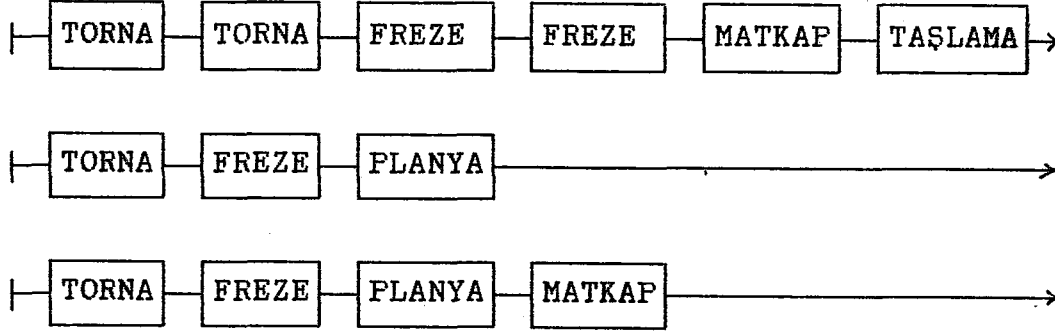
2.2.2. Akış Tipi Üretim Sistemi

Ürünlerin standart ve çok miktarda üretilmesinin gerekli olduğu sürekli istem durumlarında, akış tipi atölye sistemine geçilmesi, üretim için ekonomik olmaktadır. Bu sistemde, sisteme giren birimler, daha özel donatılar aracılığıyla, ardışık olarak aynı sıradaki etkinlikler ile üretilir. Böylece, istenen amaca uygun dönüşüm işlemi gerçekleşir.

Belirli işlemlere özgülenen (tahsis edilen) makineler, genellikle özel veya otomatik tezgâhlar ve yardımcı donatıları ile, bir hat boyunca sıralanırlar. Bir taraftan ham veya yarıürün olarak alınan malzemeler, hat sonunda işlemleri tamamlanmış veya ürün durumuna gelmiş olarak alınır. Üretim sırasında her makina işlemi için belirli bir süre ayrılmıştır. Bu nedenle, duraklama ve ara bekleme süreleri enaza indirilmiştir. Hat üretiminde boş beklemler, gecikmeler

ve ara depolardaki yığılmalar; işlem süreleri arasındaki farklardan dolayı oluşur. Bu farkları gidermek için, "Üretim hattı dengelemesi" yapılır.

Akış tipi üretim sistemine bir örnek, Şekil 2.4.'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Akış Tipi Üretim Sistemi

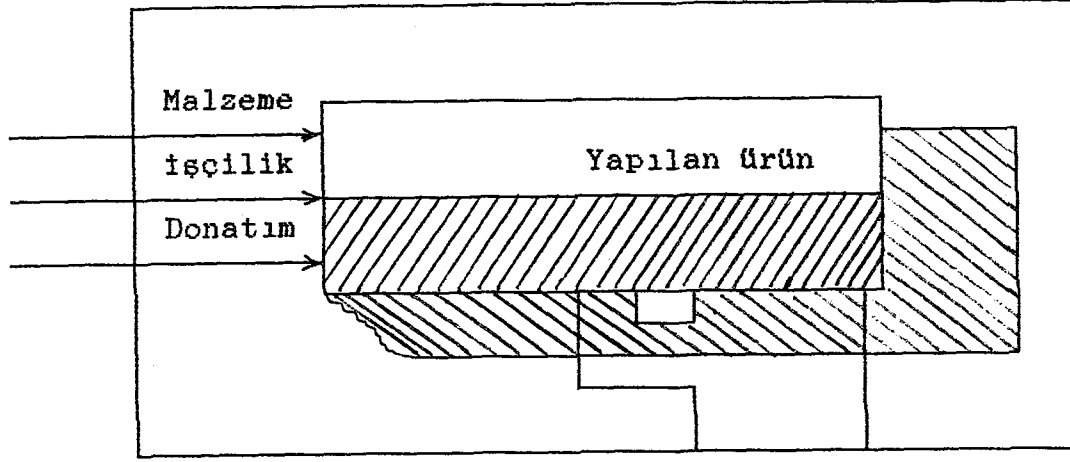
2.2.3. Proje Tipi Üretim Sistemi

Proje tipi üretim sistemi genellikle büyük, hareketsiz bir ürün veya hizmetin oluşturulmasına yöneliktir. Böyle bir ürünün üretimi söz konusu olduğunda; malzeme veya parça, sabit bir yerde kalır; takımlar, makineler, işçi ve diğer malzemeler, bu proje bölgesine gelerek, amaca uygun işlem ve montaj işlerine katılır. Uçak ve ev yapımları, bu sisteme örnek olarak verilebilir. Bu tip üretim sistemine bir örnek, Şekil 2.5.'de verilmiştir.

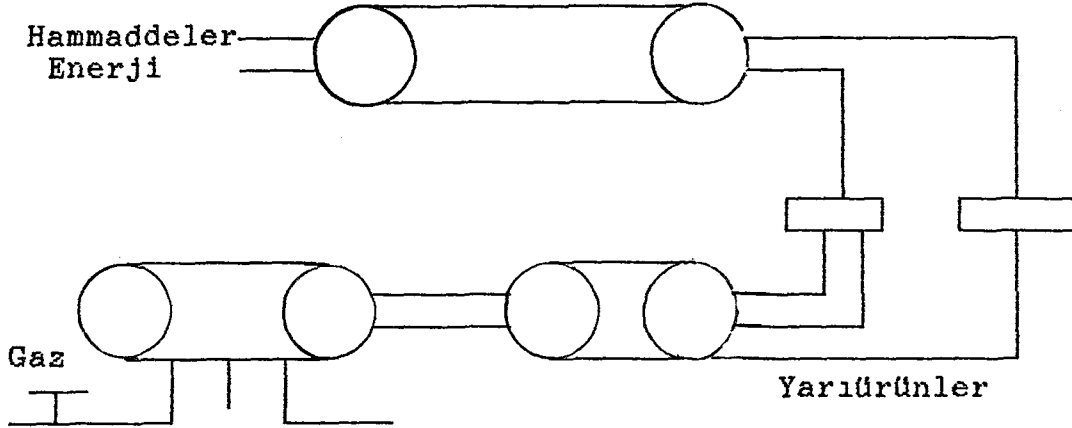
2.2.4. Sürekli Proses Üretim Sistemi

Bu tip üretim sistemine genellikle, kimyasal ürünlerin üretiminde rastlanır. Ürünler genellikle gaz veya sıvı hammadde (Birdi) ile bitmiş ürün (Çıktı) arasında ilişki kuran bir serî işlem veya etkinlikler aracılığıyla sürekli olarak akarlar. Bir petrol rafinerisine gelen ham petrolün, sürekli işleme alınarak, birtakım yan ürünlerine ayrıştırılması, sürekli bir süreçtir. Bu sistem, üretim sistemlerinin bir ideal durumunu temsil eder. Üretim hızı yüksek, akış

hızı oldukça düzgündür. Bu tip üretim sistemine bir örnek, Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.5. Proje Tipi Üretim Sistemi



Şekil 2.6. Sürekli Proses Üretim Sistemi

2.3. ÜRETİM HATLARI

2.3.1. Genel Olarak Üretim Hatları

Akış tipi üretim (Seri Üretim) olarak adlandırdığımız üretim tipi kendi içinde;

- a) Sürekli seri üretim,
- b) Kesikli seri üretim

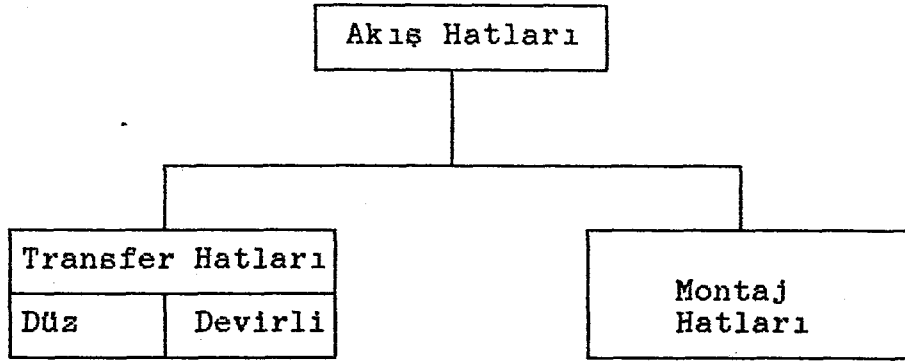
akış hatları olmak üzere ikiye ayrılır. Kesikli seri üretim akış hattı ise kendi içinde;

- a) Transfer hattı.
- b) Montaj hattı olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 2.7.).

Şimdi bu hat tiplerini kısaca açıklayalım:

a- Transfer Hatları: Transfer makinaları olarak da bilinirler. Büyük ve karmaşık makinalardan oluşan üretim sistemleridir. Bu hatlar düz (in-line) veya devirli (rotary) tiplerde olabilir. Genel tanım şöyle verilebilir: Transfer donatımı ile birbirine bağlanmış otomatik imalat makina serilerinin oluşturduğu üretim hatları, transfer hatları olarak adlandırılırlar. Bu hatlar, önceleri metal -veya malzeme- kesme ve işleme işlerinde kullanılmışlardır. Ancak son zamanlarda montaj tipi transfer hatları da geliştirilmiştir. Eski transfer hatlarında ürün veya malzemelerin bir yerden bir yere geçirilmesi, işgücü ile sağlanmaktaydı. Bugün ise otomatik hareket ve transfer yöntemleri kullanılmaktadır. Bu otomatik transfer, çeşitli otomatik makinalarla birlikte, transfer hatlarının enbelirgin karakteristiğidir.

b- Montaj Hatları: Bu hatların enbelirgin özelliği, malzemelerin hat boyunca işgücünden yararlanılarak transfer edilmeleri ve parça üzerindeki işlemlerin de yine bir hat boyunca sıralanmalarıdır.



Özellikler:

- . Malzemenin bir hat boyunca otomatik transferi
- . Parçaların otomatik olarak işlenmesi
- . Hat boyunca malzemenin çoğunlukla işgücüne dayalı bir şekilde işlenmesi ve transferi

Şekil 2.7. Akış Hatlarının Sınıflandırılması ve Özellikleri

2.3.2. Akış Hatlarının Ürünün Özelliklerine Göre Sınıflandırılması
[Acar, Eştaş (1986)]

Transfer hatları ve montaj hatları kendi içinde de altgruplara ayrılırlar. Altgruplar ise değişik üretim hattı tiplerini içerirler.

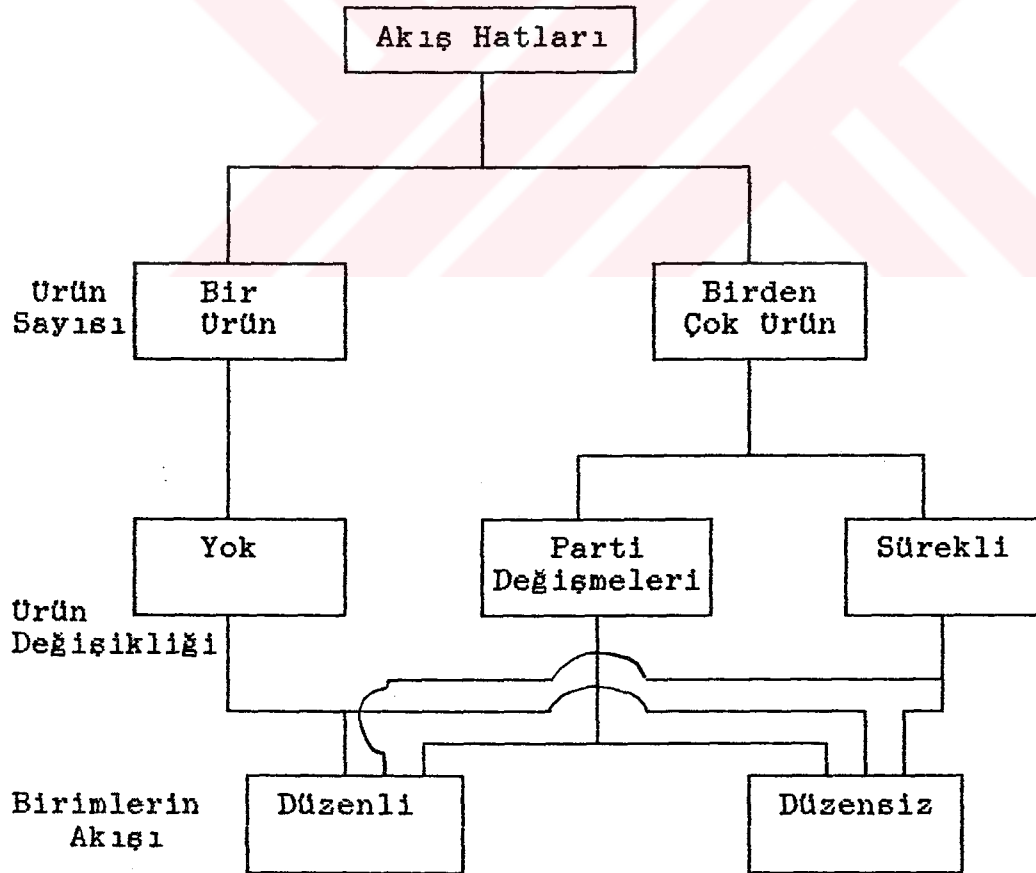
Üretim hatlarının tüm gruplarında, bir veya daha çok tip ürün üretmek olasıdır. Tek tip ürünün söz konusu olduğu durumlarda hattın "hazırlanması", diğer bir deyişle tezgâh hazırlama, yeniden iş dağıtımı veya takım değiştirme gibi sorunlarla karşılaşmaz. Birden çok ürün tipinin üretildiği hatlarda ise, oldukça karmaşık sorunlarla karşılaşılır. Bu gibi durumlarda şu iki seçenek bulunmaktadır:

(1) İki veya daha çok ürünün ayrı yığınlarda üretilmesi; çok ürünlü sistem olarak nitelendirilen bu durumda, partiler arasında akış hattının yeniden düzenlenmesi gereksinimi ortaya çıkar.

(2) İki veya daha çok ürünün aynı anda hat üzerinde üretilmesi; karışık ürünlü sistem olarak nitelendirilen bu durumda ise oldukça karmaşık tasarım sorunlarıyla karşılaşmak olasıdır.

Hangi strateji seçilirse seçilsin, eğer hat üzerinde birden çok ürün üretiliyorsa, bu ürünlerin iş yüklerinin benzer olması zorunludur. Bu benzerlik ne kadar büyük olursa, çok ürünlü ve karışık ürünlü sistemlerin 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 ardarda aynı hat üzerinde üretilmeleri söz konusu olur. Buna karşılık, transfer hatlarında bu esneklik yoktur. Genellikle transfer hatlarında tek modellenli veya büyük parti-çok modellenli üretim sistemleri görülür.

Akış hatları için iki farklı sınıflandırma Şekil 2.8. ve Tablo 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Akış Hatları Sınıflandırması

Tablo 2.1. Akış Hatları Sınıflandırması

Akış Hattı Tanımı		Ürün Sayısı	Ürün Değişimi	Birimlerin Akışı	Tezgah Hazırlama ve İş Dağıtımı
Grup	Alt Grup				
Transfer Hattı	Tek ürün	1	Yok	Düzenli	Değişiklik gerekmez
	Çok ürün	> 1	Parti değişimi	Yığın-larda düzenli	Tezgah hazırlama ve/veya parti değişiminde,yeni iş dağıtımı gereklidir
Montaj Hattı	Tek ürün	1	Yok	Düzen-siz (*)	Değişiklik gerekmez
	Çok ürün	> 1	Parti değişimi	Düzen-siz (*)	Tezgah hazırlama ve/veya parti değişiminde,yeni iş dağıtımı gereklidir
	Karışık ürün	> 1	Sürekli(**)	Düzen-siz	Tezgah hazırlama ve/veya yeniden iş dağıtımı gereklidir (***)

- (*) Değişken istasyon süreleri nedeniyle bu, montaj hatlarının belirgin bir özelliğidir.
- (**) Herhangi bir zamanda, hat üzerinde, birkaç ürün tipinin bir karışımı bulunur.
- (***) Diğer bir yöntemde, "grup teknolojisinde" olduğu gibi ekipman ve donatım, belirli bir üretim için sabit yerlerde tutulabilirler.

2.3.3. Hat Dengeleme Maliyeti İşlevi

Hat dengeleme maliyeti işlevi, şöyle gösterilir:

$$T(n, C) = k_1 (nC - \sum t_i) + k_2 (C - C^*) + k_3 (n - n^*)$$

Kullanılma- Düşük Fazla
mayan Sığa + Verimlilik + İnsangücü
Maliyeti Maliyeti Maliyeti

Bu işlevde kullanılan terimler, şu şekilde tanımlanır:

$T(n, C)$: İş istasyonu sayısı (n) ve çevrim süresine (C) göre toplam mâliyeti

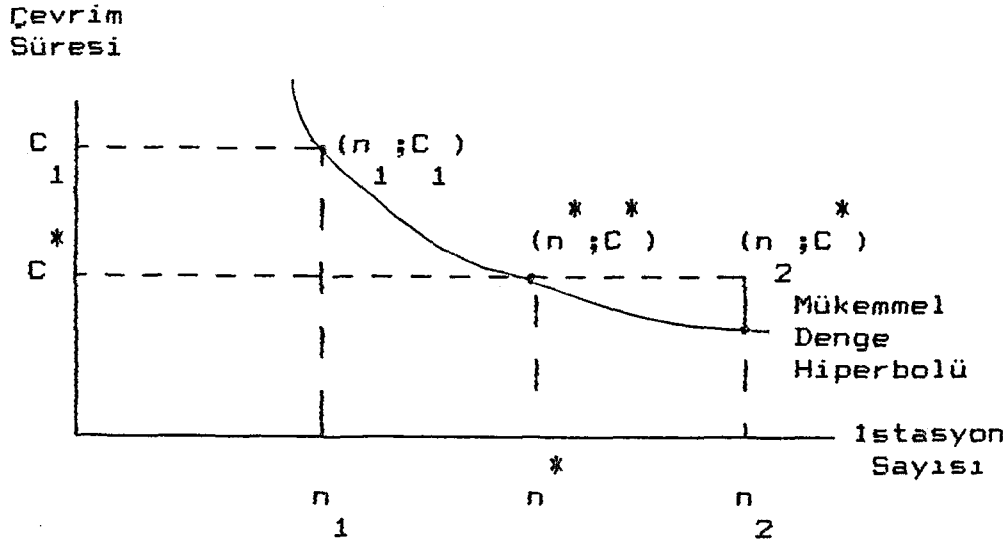
k_1, k_2, k_3 : Mâliyet katsayıları

n^* : Enuygun istasyon sayısı (Tamsayı olmayabilir)

C^* : Enuygun çevrim süresi (Tamsayı olmayabilir)

Bu maliyet ilişkileri, Şekil 2.9'da verilen mükemmel denge hiperbolünde incelendiğinde, bulunan enuygun çevrim süresi C^* değerine göre n^* kadar istasyon gerektiği görülmektedir. n_2 değerinin, n^* 'dan büyük ilk tamsayı olduğunu varsayarsak, $[n_2 C^* > \sum t_i]$ olur ve düşük sığa kullanımı ortaya çıkar. Diğer taraftan, $[n_1 = n_2 - 1]$ olarak istasyon sayısı bulunur ise, bunun uygulanması olanaksızdır. Çünkü $[\sum t_i > n_1 C^*]$ olur. Diğer bir deyişle, toplam gerekli süre, toplam ayrılan süreden büyük olur. Bu durumda uygun çözüm, n_1 sayıda istasyon ve C_1 çevrim süresi kullanımıdır. Ama bu durumda, düşük verimlilik maliyeti olan

$[\frac{1}{C^*} - \frac{1}{C_1}]$ sözkonusudur.



Sekil 2.9. İstasyon Sayısı ve Çevrim Süresi ilişkileri

Bu incelemeden de görüldüğü gibi, montaj hattı tasarımı ve dengelemesi probleminin çözümü, değişik iş istasyonu sayısı ve çevrim sürelerinin karşılaştırılmasıyla bulunur.

2.3.4. Üretim Hatlarının Dengelenmesinin Amaçları [Baskak (1988)]

- 1- Enbüyük insan gücü kullanımını sağlamak.
- 2- Enbüyük makina sığası (Kapasitesi) kullanımını sağlamak.
- 3- Oldukça düzgün bir malzeme akışını sağlamak.
- 4- İşlem için en az miktarda malzeme kullanımını sağlamak.
- 5- İşlem için en az süre kullanımını sağlamak.

2.3.5. Üretim Hatlarını Dengeleme Yolları [Baskak (1988)]

1- Sabit bir üretim hızı, bazı durumlarda hattın tüm üretim hızının, uygun herhangi bir iş istasyonunun üretim hızına eşitlenmesiyle sağlanabilir (Bununla beraber burada, iş istasyonlarının üretim hızlarının eşit veya birbirlerinin katları olması gerekir).

2- Bazı montaj ve fabrikasyon işlemleri ayrıştırılabilir veya sıralarında değişiklik yapılabilir. İşlemlerin elemanlarına ayrılması ve yeniden gruplanmasıyla, verilen bir zaman aralığında bitirilen standart bir işlem ortaya çıkarılabilir. Standart bir işlem, bir işçiye veya işlemi toplu olarak yapan bir grup işçiye özgülenebilir. Üretimde dengeli bir sığayı sağlamak için belirli sayıda standart işlemin gerçekleştirilmesi gerekir.

3- Zaman açısından denge, bazen işçinin hat boyunca hareket ettirilmesiyle sağlanır. Bu durumda, işi tamamlamak için gerekli süre işçiye özgülenmiş olur. Bu iş üzerinde çalışan işçi, aynı anda işini bitirmiş diğer işçilerden yardım görebilir. İşçiye; işi tamamlaması için gerekli süreyi vermek amacıyla, işin 2. ve 3. parçasına, değişik işçiler özgülenebilir. Bu durumda işçi, montajı, hat üzerindeki iki veya daha çok istasyon boyunca yürüyerek tamamlar. İş tamamlandığında işçi, başka bir çevrimi başlatmak üzere, ayrıldığı ilk istasyona döner.

4- Üretim hattında dengenin sağlanmasına engel olan yavaş ve ya darboğaz iş istasyonları, işlem analizleri ve hareket etüdleri yoluyla hızlandırılabilirler. Verilen bir istasyonun ayrıntılı bir işlem analizi; özel takımların tasarımı, işçilerin dikkatli seçimi ve yetiştirilmesi, otomatik besleme araçlarının geliştirilmesi, özel malzeme taşıma sistemlerinin tasarımı, teşvikli ücret sistemlerinin kullanılması gibi çeşitli yollarla, üretimin artırılmasına öncülük edebilir.

5- Bir yarıürün stoğu oluşturmak ve çalışma sığasında dengeyi sağlamak için yavaş iş istasyonları, birkaç saat fazla çalıştırılabilir. Ama bu uygulama, daha geniş stok alanları ve işlem içi büyük bir envanter ortaya çıkardığından, dengeleme çalışmalarının amacını tam olarak gerçekleyemez.

BÖLÜM 3 HAT Dengeleme ve Montaj Hatları

3.1. Hat Dengeleme Kavramı

Endüstrileşme sürecinde, toplam işin öğelerine ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha seri ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden parçaların geçirilmesi yoluyla yapılır. Malzemelerin akış hattı boyunca işgücü veya donatımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin, aralarındaki öncelik ilişkileri gibi kısıtlar gözönüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturdukları istasyonların yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme "montaj hattı" adı verilir. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler, ürün durumuna getirilecek yarıürün önlerinden geçerken, kendilerine ilişkin iş öğeleriyle ilgili bir veya birkaç işlemi yaparlar. Bu işlem sonucunda, hatta giren parça ve yarıürünler, gereken tüm işler yapılmış şekilde, hattın sonundan ürün olarak çıkar.

Bir veya birkaç ürün için yapılacak montaj hattı üretimi tasarlandığında, üretim hattındaki iş istasyonlarına ilişkin işlem sürelerinin dengelenmesi problemi ortaya çıkar. Bundaki amaç, kurulan montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için; üretim süresi içinde her bir montajcıya, montaj hattında çok az veya hiç boş süre bırakılmayacak şekilde işlemlerin istasyonlara dağıtılması, yani varolan kısıtlar altında, işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olması nedeniyle, iş istasyonları arasındaki işlem süresi farkları toplamının enküçük olmasıdır. Problemin bu noktasında, sürekli üretim yapan sistemlerin yerleştirme düzeninin kurulmasında, hat dengeleme problemi ortaya çıkar.

Ürün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp zamanları enaza indirecek şekilde atanması olayına,

bir başka tanımla iş öğelerinin, iş duraklarına özgülenmesine, "montaj hattı dengeleme" veya daha basit olarak "hat dengeleme" adı verilir.

Üretim hızının arttırılması, sağlıklı bir tasarlama yapılması ve işletmenin ekonomik sorunlarına çözüm getirmeye yönelik olmasından dolayı, montaj hattı dengeleme konusu, endüstri dünyasında büyük önem taşır.

Görüldüğü gibi hat dengeleme problemleri, üretim hatlarının tasarımında ve işletmesinde her an ortaya çıkabilen bir konudur. Gerçekte hat dengeleme problemleri, çeşitli sızgelerde ve üretim hızlarında çalışıldığında, hatta oluşabilecek ve istasyonların verimliliğini etkileyecek başlıca etkenlerden olan âtıl kaynak kullanımını enalt düzeyde tutmak için enuygun çözümün atanmasında ortaya çıkmıştır.

Yukarıda genel olarak açıklanan hat dengeleme konusu, gerçekte, üretimi yapan işletmeciler için çok önemli bir konudur. Kaliteli ve yüksek hızlı bir üretim düzeyi tutturmak, gerçekte hat dengeleme çalışmalarının detaylı ve iyi bir şekilde yapılması ile sağlanır.

Günümüzde ise üretim miktarları, rekâbet arttığından ve piyasa koşulları zorlaşmaya başladığından, artık üretim hatlarını tasarlamak ve bu hatlara, oluşan çeşitli dalgalanmalar karşısında yeterli esnekliği verebilmek için girilen çalışmalar, bilgisayarlar desteği ile geliştirilen simülasyon programları ile oldukça kolay olmaktadır. [Uzmen (1990)]

Üretimde, tezgâhlar ve çağdaş montaj âletleri kullanıldığı takdirde, güreceli olarak kısa bir sürede daha çok üretim sağlanmaktadır. Ürün şeması veya montaj hatlarının kullanılması ile bir kez üretim veya montaj hatlarına özgüleme yapılmasıyla, büyük hacimdeki mallar, verimli bir şekilde üretilebilir.

A.B.D.'nde 50 yıldır, gelişmiş montaj uygulanmasına rağmen, montaj fabrikalarındaki hat dengesi, 1955 yılına kadar önemli bir

sorun olarak görülmemiştir. Türkiye'de, montaj alanında yapılan bir inceleme göstermiştir ki, yüksek üretim sığalı fabrikalarda bile; montaj işine dengeleme uygulanmamakta ve bilinmemektedir.

Montaj hatlarını dengeleme fikri ilk kez, 1954'de, Benjamin Bryton'ın master tezinde ortaya atılmıştır. Bryton, çalışma istasyonlarının sayısının sabit olduğu düşüncesiyle, iş öğelerinin bu birimler arasında gidip gelmeleriyle, denge geçikmelerini enaza indirmeye ve istasyon sürelerini, hepsinde ortak bir süre içinde birleştirmeye çalışmıştır.

Aynı ilke daha sonra Moddie ve Young [Moddie, Young. (1964)] tarafından, bir bilgisayar çalışmasında kullanılmıştır. Bu çalışma programları, denge geçikmelerinin enaza nasıl indirileceğini araştır-
maz, ama belirtilen sayıdaki çalışma istasyonları için bir çözüm sağlamaktadır.

Salveson'un [Salveson (1955)] araştırması; montaj hattı denge-
lenmesi konusunda yayınlanmış ilk belgedir. Salveson tarafından ge-
liştirilen yöntem, ilk bakışta çok basit görünmekte ise de, çalışma
öğelerinin sayısı arttığında, karmaşık ve sıkıcıdır. Çünkü yöntem,
çalışma öğelerinin olası tüm bileşimleri üzerine kurulmuştur. Yöntem
pratik sorunlara uygulanamaz. Salveson ayrıca, kendisinin de belirt-
tiği gibi "çok büyük ve pratik sorunlar için hesaplanması olanaksız"
diye nitelediği bir matrisi gerektiren bir doğrusal programlama tek-
niği de geliştirmiştir.

1956'da James Jackson [Jackson (1956)] , çalışma istasyonla-
rında tüm uygulanabilecek özgülemelerin değerlendirilmesine dayanan
bir yöntem geliştirdi. Jackson'ın verdiği kuralları kullanarak, se-
çilmiş çevrim süresi gözönüne alınarak, olası istasyon ayrılmaları
arasından seçme yapılır. Ensonunda, enaz sayıda istasyon kullanıl-
masını sağlayan ayırma geçilir.

Daha sonraları, Josephine, Mitchelle, Burgeson ve Daum; Jack-
son'ın yöntemini geliştirmek için yeni algoritmalar ve hesaplama yol-
ları geliştirdiler. Sıralamaya dayalı diğer bir yöntem, Thomas

Hoffman tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde, daha önce kararlaştırılan çevrim süresini aşmamak koşuluyla tüm ayrılmalar sıralanır ve istenilene göre eniyisi seçilir.

E.H. Bowman, [Bowman (1960)] , montaj hatlarının dengelenmesi için, iki ayrı doğrusal program çözümü geliştirmiştir. Her iki yöntem de, normal ölçülerde bir problemin, oldukça ayrıntılı hesaplamalarını yapmaktadır. 8 çalışma ögesi olan basit bir problem için yöntem, 112 değişkenli, 135 sınırlı denkleme gereksinime duyar. Bowman'ın yönteminin, pratik değerinden çok akademik değeri vardır.

Elle yapılan dengelemede pratik olan ilk yöntem, Helgeson ve Birnie tarafından geliştirilen [Helgeson, Birnie (1961)] yöntemdir. Yöntem, "konuma göre sıralanmış ağırlıklama tekniği" diye adlandırılır. Bu yöntemde her çalışma alanına bir ağırlık verilir. Ve çalışma istasyonlarına iş ayırma, konum ağırlıklarına göre yapılır.

Helgeson ve Birnie'nin yöntemi dışındaki algoritma ve yöntemler, elle hesaplama için kullanılmazlar. Bu yöntemler için hazırlanan bilgisayar programları, endüstriyel sorunların çözümünde, ekonomik ve etkili bulunmamıştır. Bulgusal diye bilinen yöntemler, daha önce özetlediğimiz yöntemlere göre daha basittirler, anlaşılmaları kolaydır. İlk bulgusal yöntemler; Kilbridge ve Wester, ve Tonge tarafından geliştirilenlerdir.

Kilbridge ve Wester tarafından geliştirilen [Kilbridge, Wester (1961)] bulgusal yöntem, çok az yaratıcılık ve temel aritmetik bilgisi gerektiren basit bir yöntemdir. Bu yöntem, bilgisayar kullanımını gerektirmez. Montaj hattını dengelemede, elle hesaplanabilir bir çözüm yöntemidir. Bunun yanında, Kilbridge ve Wester tarafından geliştirilen, bilgisayar yardımı ile büyük boyutlu problemlerin çözümünde oldukça iyi sonuçlar veren diğer bir bulgusal yöntem de vardır.

Tonge'un bulgusal yöntemi [Tonge (1961)] , hat dengeleme sorununu üç aşamada çözmeye çalışır. Birinci aşamada, önceden yapılan şemada yanyana gelen ögeler, bileşik işler yapmak üzere kümelendirilir. İkinci aşamada, yeni oluşturulmuş bileşik iş yapan ögeler,

çalışma istasyonlarına ayrılırlar. Üçüncü aşamada ise, görev öğeleri düzgün bir iş dağıtımı gerçekleşinceye kadar, istasyondan istasyona transfer edilir.

Montaj hatları, ilk olarak A.B.D.'nde Ford Firması tarafından kullanılmıştır. 1980'lerin başlarında Henry Ford'un, Highland ve River Rouge firmalarında, oldukça önemli yenilikler uygulamaya konmuştur. İşlerin rasyonelleştirilmesi, etkin malzeme taşıma ve ikâme edilebilen parçaların üretimi buna örnektir. Üretim akış yöntemlerinde ve teknolojiye oluşan gelişmelerden dolayı, montaj hatları günümüzdeki şeklini almıştır [Murathan (1986)]..

3.2. MONTAJ HATLARINI DENGELERENİN AMAÇLARI

Montaj hatları, kitle üretiminin önemli bir altsistemidir. Bu tip sistemler ayrıntıda farklı olmakla beraber, temelde, birbiri ardına dizilmiş iş istasyonlarından oluşur. Hammadde ve yarıürün parçalar, hat içine, hattın başlangıcından veya ara istasyonlardan girerler. Giren parçalar, bir iş istasyonundan diğerine geçerek, en son istasyondan hattı, tamamlanmış olarak terkederler [Uzmen (1990)].

Bir montaj hattının kurulmasında ulaşılması gereken amaçlar aşağıdaki gibidir :

- 1- Düzenli bir malzeme akışını sağlamak.
- 2- İnsan gücü kullanımını en üst düzeye ulaştırmak.
- 3- Makina sığalarını en üst düzeyde kullanmak.
- 4- İşlemler için en az süreyi kullanmak.
- 5- İşlemler için en az miktarda malzeme kullanmak.
- 6- Boş zamanları veya dengeleme kayıplarını en küçüklemek.
- 7- İş istasyonu sayısını en küçüklemek.
- 8- Denge kayıplarını, iş istasyonları arasında düzgün şekilde dağıtmak.
- 9- Varolan tüm kısıtları, sınırları zorlamadan sağlamak.
- 10- Hat dengeleme maliyetini en az düzeyde tutmak.

Montaj hattı dengelemenin amaçları birbirleriyle geliştiklerinden, hepsini birden enüst düzeye ulaştırmak, olası olmayabilir. Dengelemede ana amaç, bu gelişmelerin gözönüne alınarak enuygun çözüme ulaşılmasıdır. Bu yapılırken, montaj mâliyetinin de enküçük olması sağlanmalıdır. Dengeleme işleminde hesaba katılan etmenler içinde, mâliyet etkisi olan tek değişken, işgücüdür.

3.3. İŞGÜCÜ YÜKÜNÜN DENGELENMESİNDE BAŞVURULABİLECEK ÇARELER

[Uzmen (1990)]

1- İki veya daha fazla tezgâhta bir işçi çalıştırılabilir (Otomatik işlem süresi uzun olan iki veya daha fazla tezgâh için).

2- İki kısa işlem süresi, diğerleri kadar veya daha az ise, bunlar bir işçiye verilebilir.

3- İşçinin yükü arttırılabilir.

4- İşçiler, çalışma hızlarına göre dizilebilir.

3.4. MONTAJ HATTI DENGEMEYİ ETKİLEYEN TEMEL ETMENLER VE KISITLAR

[Uzmen (1990)]

3.4.1. Temel Etmenler

1- Mühendislik spesifikasyonları.

2- İşin yapılmasında izlenen yöntem (Bazı montaj işlerinde verilen belirli bir teknolojik sıra, işin daha kolay ve daha hızlı yapılmasını sağlayabilir).

3- Kullanılan aygıt ve makineler (Bazı aletlerin, montaj hattının birden çok yerinde kullanılmasına gerek duyulabilir; böyle durumlarda, aynı âlet setini, birden fazla işlemcinin kullanabileceği bir şekilde, bazı istasyonları ardarda yerleştirmek gerekebilir).

3.4.2. Montaj Hattı Dengelemede Kısıtlar

3.4.2.1. Temel Kısıtlar

1- Çevrim süresini; verilmiş net üretim hedefi, brüt çalışma süresi ve tolerans yüzdesi (Yâni kontrol edilemeyen nedenlerle kaybedilen süreler ve önceden tasarlanmış duruş süreleri toplamının, brüt çalışma süresinin yüzdesi olarak ifâdesi) birlikte belirlerler. Bir istasyona özgülenen etkinliklerin süreleri toplamı, çevrim süresini aşamaz.

2- Öncelik ilişkileri, montajın içerdği etkinliklerin kendi aralarında sözkonusudur. Yâni bir etkinliğin başlayabilmesi için, diğer etkinlik veya etkinliklerin kesinlikle bitirilmiş olması gerekebilir. İstasyonlara yapılan etkinlik özgülemelerinin, bu öncelik ilişkilerine aykırı olmamaları zorunludur.

3.4.2.2. Yan Kısıtlar

1) Konum Kısıtı

Konumsal kısıtlamalar, montajı yapılan nesnenin konumu ile, işlemcilerin banttaki konumu arasındaki ilişkiyi ifâde etmekte kullanılan bir kavramdır.

Konumsal kısıtlamalarla daha çok, büyük ölçekli ürünlerin montajında karşılaşılır. Ön ve arka konum kısıtı, işlerin, bantın iki yanından birinde yapılması gerektiğinde ortaya çıkar. Bu tip işler, hattın karşısına geçmek güç olacağından, anında iki işçi tarafından yapılırlar. Montaj hattı dengelemenin amaçları da gözönüne alınacak olursa, bantın önünde ve arkasında yapılacak işlerin, birbirlerinden ayrılmasının gerekli olduğu söylenebilir.

Alt-üst konum kısıtı ise, montajı yapılacak ürünün, belirli istasyonlarda ters çevrilmesi; işin, ürünün alt kısmında yapılması veya ürünün, hattın belirli bir yerinde, işlemcinin başının üstüne yükseltilerek yapılması durumunda ortaya çıkar. Her istasyonda, yükseltme

ve ters çevirme işlemlerini yapacak donatım bulunmadığından, bulunabilse bile bu işleri yapmak ekonomik olmayacağından, ürünün altında yapılan işlerin bir veya birkaç istasyonda toplanması daha verimli ve gerçekçi bir davranış biçimi olacaktır.

2) Sabit Donatım Kısıtı

Makinalar, test araçları gibi sabit donatımlar, montaj hatlarının bütünleşik parçalarıdır ve değiştirilemez istasyonları oluştururlar. Bu tip istasyonlardaki işler kesinlikle yapılmalıdır. Sabit donatım kısıtı, iş öğelerinin değiştirilebilirliğini azaltır.

3) İstasyon Yüğü

Montaj hattında bazı istasyonların yüklerinin, çevrim süresinin % 100'ünden az olması yeğlenebilir. Özellikle ilk istasyon veya istasyonlarda, hattın başında olabilecek aksamaların, tüm hatta etkisini azaltabilmek için, bu yapılabilir.

4) Aynı İstasyona Atanması İstenen İşler

Bu özelliğe sahip işlerin, aynı veya birbirlerini izleyen istasyonlara özgülenmesi gereklidir. Böyle durumlarda bir etkinlik alt grubu, tek bir etkinlik gibi düşünülebilir. Örneğin, özel alet kullanımını gerektiren iki etkinliğin aynı işçi tarafından yapılması, ikinci bir alet gereksinmesini ortadan kaldıracağı için istenilen bir durumdur.

5) Aynı İstasyona Atanması İstenmeyen Etkinlikler

Bu özelliğe sahip bir etkinlik, diğer bazı etkinlik veya etkinliklerle, aynı istasyona özgülenemez. Örneğin, aşırı fiziksel güç uygulamasını gerektiren iki etkinliğin, iş yükü açısından ayrı istasyonlara özgülenmeleri istenebilir. Benzer şekilde, birden fazla iş öğesi, teknolojik olarak istenmediği için aynı işlemciye atanmazlar veya en azından bir aracı (Tampon) istasyon ile birbirlerinden ayrılırlar. Titreşimli bir çalışma ile hassas ölçme gerektiren bir çalışmanın ayrılması gibi.

3.5. MONTAJ SÜRECİ [Groover (1987)]

Montaj; iki veya daha fazla ayrı parçanın, yeni bir süreci gerçekleştirmek üzere biraraya getirilmesini içerir. Yeni oluşum; bir altmontaj, bir montaj veya bir diğer .sd. alabilir. Bileşenlerin montajını gerçekleştirmek için kullanılan süreçler, üç ana sınıfa ayrılabilir :

- 1- Mekanik bağlantı.
- 2- Katılma yöntemleri.
- 3- Yapıştırıcı bağlantı.

3.5.1. Mekanik Bağlantı

Bileşenleri birarada tutmak için bir mekanik hareketi yapmak amacıyla çok çeşitli teknikleri içerir.

3.5.1.1. Sıralanmış Bağlantılar

Bunlar; vidalar, somunlar, civatalar ve diğerleridir. Bunlar endüstride yaygın olarak kullanılırlar. Ve eğer gerekiyorsa, -tamir, bakım, ayarlama vb. için- montajın ayrılmasına izin vermesi gibi bir avantaja sahiptir. Bu tip bağlantılar, montaj işçileri tarafından düzenlice kullanılır. Ama robotlar ve otomatize edilmiş sistemler için kullanımı çok zordur.

3.5.1.2. Perçinler, Kıvrımlama ve Diğer Yöntemler

Bağlayıcı veya montajı yapılması gereken bileşenlerden birinin; birleşmiş parçaları ayırmak için mekanik olarak şeklinin bozulmasını gerektiren bir yöntemdir.

3.5.1.3. Pres Geçmeler

Bu montaj yönteminde, birleştirilmesi gereken iki parça arasında bir karışım geçme vardır. Örneğin şaft çapının delik çapından biraz büyük olduğu durumda bir şaft, bir delik içine geçirilir. İki parçayı birleştirmek için şaft, yüksek basınç altında, delik içine preslenmelidir. Parçalar bir kez geçirilirse kolay kolay ayrılamaz.

3.5.1.4. Kopma Geçmeler

Bu yöntem; yalnızca montaj sırasında oluşan, birleşmesi gereken iki parçanın geçici karışımını içerir. Bu parçaların biri veya her ikisi, karışımın üstesinden gelmek için birlikte preslendikleri zaman elastik olarak deforme olurlar ve kopmalarına izin verilir. Bir kez birlikte kopma geçme, iki parçanın ayrılmasını engeller. Alıkoymalar, C-halkaları ve kopma halkaları, bu sınıflandırmadaki bilgisayar aksamı örnekleridir. Birleşmiş parçalar bazen, bu bilgisayarı aksamı bağlantıları için olan gereksinme dışında, kopma bağlantıları ile montaj için tasarımılanabilir.

3.5.1.5. Dikiş

Bu, yumuşak ve ince malzemeleri (Kumaş, elbise, deri ve ince esnek plastikler gibi) birleştirmek için kullanılır.

3.5.2. Katılma Yöntemleri

Bu terim, genellikle kaynak, lehim ve piriçleme süreçleri için kullanılır. Bu süreçlerde eriyik metal, iki veya daha fazla bileşeni birlikte eritmek için kullanılır.

Kaynak süreci; yaygın özelliği, erime ve kaynamanın, katılan metal parçalarının içinde oluşması olan çeşitli katılma tekniklerini içerir. Bazı kaynak etkinliklerinde doldurucu metal, kaynak metaller arasındaki katılma hareketini ilerletmek için eklenir. Endüstride montaj için kullanılan bazı kaynak süreçleri şunlardır : Direnç

kaynağı, ark kaynağı, sürtünme kaynağı, lazer ışını kaynağı ve elektron ışın kaynağı.

Pirinçleme ve lehim; katılma süreçleri için erişim duruma geçen bir doldurucu metali kullanan süreçlerdir. Ama metal bileşenleri kendi başlarına erimezler. Pirinçleme ve lehim arasındaki ayrım, genellikle, süreç içinde kullanılan doldurucu metalin erime noktası ile tanımlanır. Pirinçlemede, doldurucunun erime noktası, 450°C 'ın üzerindedir ve lehimlemede bu nokta, 450°C 'ın altındadır. Çünkü pirinçlemede ve lehimde, kaynak metallerin erimesi yoktur. Bu süreçler, kaynaktaki bir montaj bağlantısı kadar güçlü bir bağlantı yaratamazlar.

3.5.3. Yapıştırıcı Bağlantı

Bu bağlantı, bileşenlerin birlikte katılması için bir yapıştırıcı malzemenin kullanımını içerir. Bugün endüstride bir montaj teknolojisi olarak yapıştırıcıların kullanımı, hızlı bir şekilde artmaktadır. Yeni uygulamalarda, hoşnut olmak için yeni yapıştırıcılar geliştirilmektedir. Yapıştırıcılar iki tipte olabilir: Termoplastikler ve ısı ile sertleşenler. Termoplastik yapıştırıcıların uygulanması kolaydır ama yüksek ısıli uygulamalara dayanmazlar. Isı ile sertleşen yapıştırıcıların kullanımı (Örneğin epoxy); kimyasal sertleştirici ve/veya ısı ile neden olunan bir kimyasal tepkimeyi içerir. Bu montaj süreci bu nedenle, termoplastik yapışkanlar ile olandan daha karmaşıktır ama sonuç bağlantıları genellikle daha kuvvetlidir ve servisteki yüksek sıcaklıklara dayanmayı başarabilir.

3.6. MONTAJ HATTI DENGEMEDE TEMEL KAVRAMLAR

3.6.1. İş Ögesi

İşler, temel hareketlerden veya iş parçeciklerinden oluşur. İş ögeleri; toplam işin, uygun ve pratik enküçük alt parçasıdır ve bu iş parçeciklerinin bir veya birkaçı tarafından oluşturulurlar. İş ögesi; Üretim süreci içinde, toplam iş içeriğinin mantıksal olarak

bölünmüş bir parçasıdır. Diğer bir görüşe göre iş ögesi; montajcılar arasında gereksiz karışıklıklara neden olmadan, iki veya daha fazla işçi arasında paylaştırılması olanaksız en küçük iş birimidir. Yâni toplam işin kaç aşamada tamamlanacağını ve bunların hangi aşamalar olacağını belirleyen, işi yeterli ve anlamlı enazlara bölme sonucu ortaya çıkan birimler ve yapılacak işlemlerdir. Örneğin bir parçaya beş tane delik açmak için beş farklı iş ögesi tanımlanabilir. Ama montaj hattının dengelenmesi sözkonusu olunca, mantıksal iş ögesi, beş deliği birden açmayı içeren iş grubu olarak tanımlanmalıdır.

3.6.2. İş İstasyonu

Montaj hattı üzerinde verilen bir işin, işçi ve/veya işçiler tarafından yapıldığı alandır. Her istasyonda, bir işçinin, bir işlem için gerekli araçlarla çalıştığı varsayılır. Genellikle iş istasyonu, bir montajcı tarafından doldurulan yer olarak düşünülür. Bir montaj hattı için; en küçük istasyon sayısının 1 olduğu ve istasyon sayısı dengeleme çalışması sırasında saptanan en büyük istasyon sayısını aşmamak gerektiği kısıtları vardır.

3.6.3. Toplam İş Süresi

Montaj hattı üzerinde üretilecek bir ürünün montajı için gerekli olan süre veya, işi oluşturan tüm iş ögelerinin standart süreleri toplamıdır.

3.6.4. İş İstasyonu Süresi

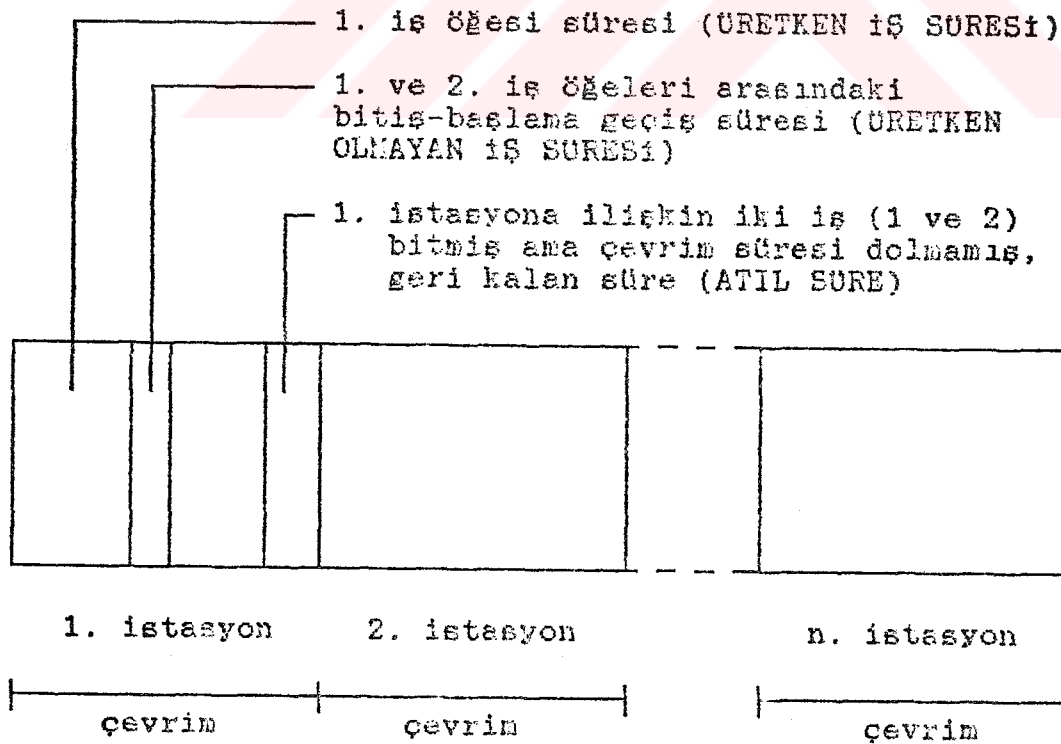
Bir iş istasyonunda tamamlanması gerekli olan iş ögelerinin standart süreleri toplamıdır. Yâni, istasyona gelen bir parça üzerinde, o istasyonda yapılması gereken ilk iş ögesinin başlangıç anı ile son iş ögesinin bitiş anı arasındaki süre farkıdır. Bir iş istasyonu süresi, en büyük iş ögesi süresinden küçük, çevrim süresinden büyük olamaz.

3.6.5. Çevrim Süresi

Çevrim süresi, montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği enbüyük süre veya bir iş istasyonundaki işçinin, o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için gerekli süre olarak tanımlanabilir.

Çevrim süresi, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki işçinin, işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği süredir. Çevrim süresini seçmekteki ana düşünce, gerek duyulan üretim hızıdır.

Bir istasyonda, ardışık öğeler üzerinde iş tamamlama ve başlatma arasında bir süre geçer. Ayrıca o istasyondaki tüm işlerin bitmesine rağmen çevrim süresi dolmamış olabilir. Bu nedenle çevrim süresi, üç alt süreye ayrılabilir : Üretken iş süresi, üretken olmayan iş süresi, atıl süre. Bunlar, Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. n istasyonlu Bir Montaj Hattında Çevrim Süresinin Alt Süreleri

Kuramsal olarak çevrim süresi, gerçekleşmesi istenen ürün çıkışından hesaplanabilir :

T : Eldeki toplam süre

N : Yapılması istenen ürün sayısı

C : Çevrim süresi

olmak üzere $C = \frac{T}{N}$ ' dir.

3.6.6. Enkçük İş İstasyonu Sayısı

T ve N'nin yanında, toplam iş süresi veya her bir iş ögesinin süresi (t_i) biliniyorsa, enkçük iş istasyonu sayısı (n_{enk}) da hesaplanabilir.

$$n_{enk} = \frac{N \sum t_i}{T} = \frac{\sum t_i}{C} \quad (\sum t_i : \text{İş ögelerinin süreleri toplamı})$$

3.6.7. Ortalama İş İstasyonu Süresi

$\bar{c}$: Ortalama iş istasyonu süresi

n : iş istasyonu sayısı

olmak üzere

$$\bar{c} = \frac{\sum t_i}{n} \text{ ' dir. } [n > n_{enk} , C > \bar{c}]$$

3.6.8. Denge Kaybı

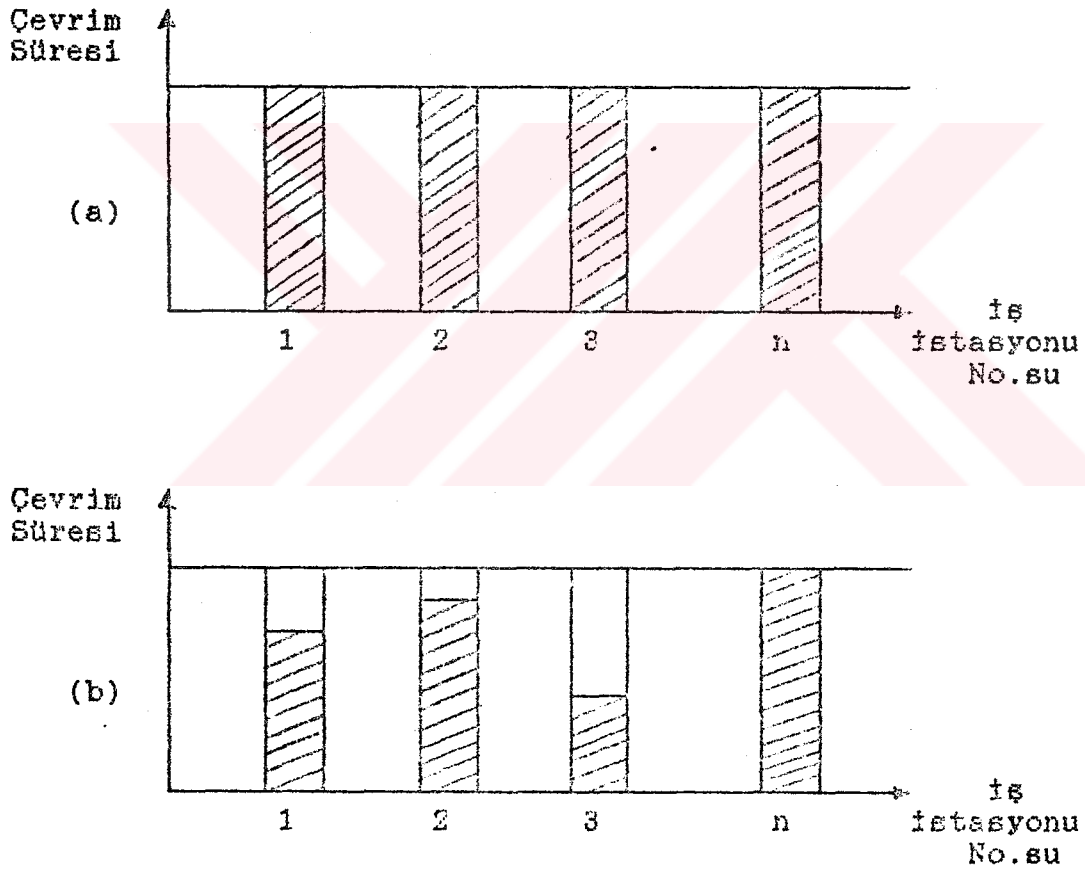
Denge kaybı; işlemler veya istasyonlar arasındaki dengesiz dağılımı gösteren bir ölçektir. Dengeleme kaybı (D), şu şekilde bulunur :

$$D (\%) = \frac{C - \bar{c}}{C} \cdot 100 = \frac{nC - \sum t_i}{nC} \cdot 100$$

Bu değerin 0 olması ideal bir durumdur.

Dengeleme kaybı, her istasyonda, birim üretim için ayrılan toplam süreyle gerekli süre arasındaki farkın, montaj süresine oranıdır. Ve çoğunlukla sıfırdan büyük bir değerdir.

Şekil 3.2'de dengelenmemiş ve tam dengelenmiş hat durumları gösterilmiştir.

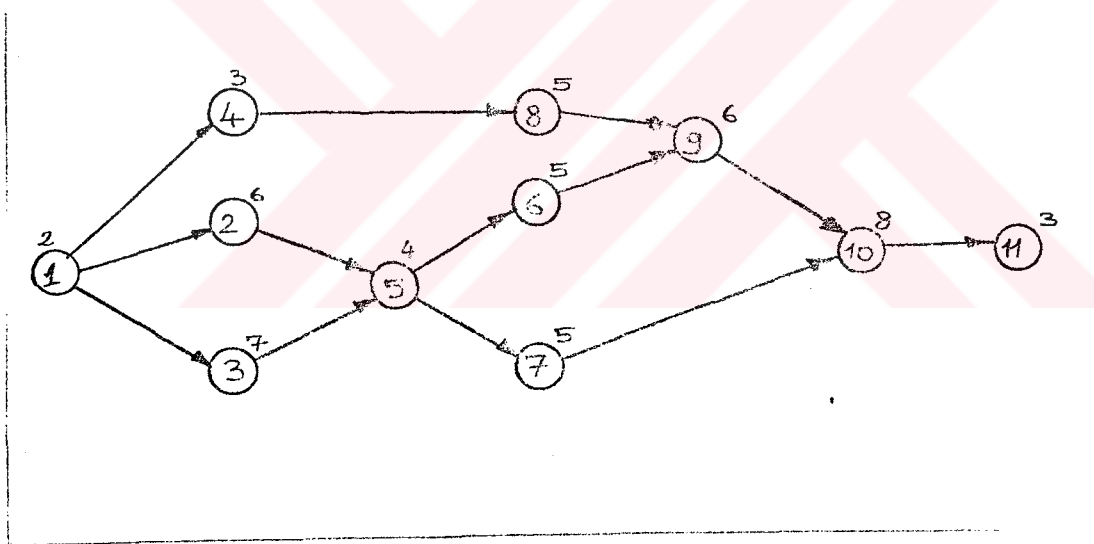


Şekil 3.2. n istasyonlu Bir Montaj Hattında
a) Tam Denge
b) Tam Kurulamamış Denge

3.6.9. Teknolojik Öncelik Diyagramı

Montajın teknik özelliklerinden dolayı, bazı iş öğelerinin zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü, öncelik ilişkileri adı altında toplanır. Bu ilişkiler genellikle bir grafik ile gösterilir. Bu grafik gösterim, analitik hat dengeleme sistemlerinde öncelik ilişkilerinin belirtilmesinde çok yaygın olarak kullanılan öncelik diyagramıdır.

Bu diyagram; bir okla birbirine bağlanmış iki iş öğesinden okun çıktığı yönde bulunanın, okun ucunda bulunan iş öğesinden daha önce işleme alınacağını gösterir. Çemberlerin içindeki numaralar iş öğesi numaralarını, çemberlerin sağ üst tarafındaki sayılar ise, iş öğesi işlem sürelerini gösterir. Şekil 3.3'de bir montaj hattına ilişkin teknolojik öncelik diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.3. 11 Öğeli Bir Öncelik Diyagramı

3.6.10. Öncelik Matrisi

Öncelik diyagramının matris durumuna dönüştürülmüş şeklidir. Bu matriste, aralarında doğrudan doğruya öncelik ilişkisi bulunan iş öğeleri için, matriste önde gelen öğe numaralı satırda, izleyen öğe numaralı sütunun kesiştiği noktaya "1" değeri verilir. Diğer noktalara ise "0" konur.

Tablo 3.1. Sekil 3.3.'deki Öncelik Diyagramına
İlişkin Öncelik Matrisi

İş Ögesi No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.6.11. Düzgünlük İndeksi

Montaj hattındaki iş istasyonlarının işlem sürelerinin düzgünlüğünü gösterir. Bir bakıma, işlerin istasyonlar arasında düzgün, orantılı dağıtılıp dağıtılmadığını kontrol eder. Düzgünlük indeksinin küçük olması, hat üzerinde iyi bir dengenin sağlanmış olduğunu gösterir. DI düzgünlük indeksi olmak üzere;

$$DI (\%) = \frac{\sqrt{\sum (t_{enb} - t_i)^2}}{n \times C} \times 100$$

formülüyle hesaplanır. Burada t_{enb} , enbüyük istasyon süresidir.

3.6.12. Hat Etkinliği

İstasyonlardaki toplam etkin sürenin, montaj süresine oranıdır. HE hat etkinliği, ES_i i.istasyonun etkin süresi olmak üzere;

$$HE (\%) = \frac{\sum ES_i}{n \cdot C} \times 100$$

Bu ölçek, montaj hatları için önemlidir. Montaj hattındaki toplam işgücünün ne kadarlık bir yüzdesinin kullanıldığını gösterir.

3.6.13. Kuramsal Etkinlik

Hattın, belirli bir çevrim süresinden hareketle, enaz istasyon sayısıyla kurulması durumundaki etkinliğidir. Hat verimliliğinin üst sınırıdır ve iş öğelerinde yapılabilecek düzenlemelerle üst düzeye çıkarılabilir. KE kuramsal etkinlik olmak üzere

$$KE (\%) = \frac{\sum ES_i}{n_{enk} \cdot C} \times 100$$

3.6.14. Güvenlik Düzeyi

İstasyonlara özgülünen çevrim süresinde, işlemlerin tamamlanabilme olasılığının düzeyidir.

3.6.15. Ürün Karışımı

Çok modellenli hatlarda, modellerin hangi oranlarda üretileceğinin belirteçidir.

3.7. MONTAJ SİSTEMLERİ [Groover (1987)]

Bölüm 3.5.'de tanımlanan montaj süreçlerini başarmak için endüstride kullanılan çeşitli yöntemler vardır:

- 1) İnsanlı (Manual) tek istasyon montajı.
- 2) İnsanlı montaj hatları.
- 3) Otomatize montaj sistemi.

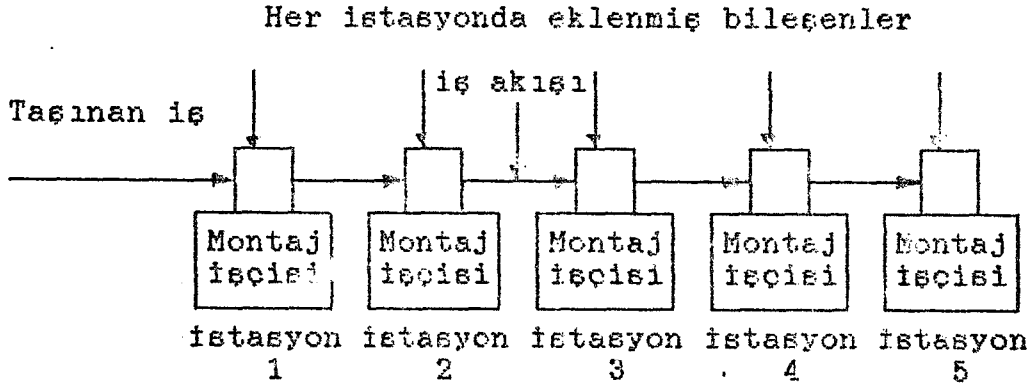
İnsanlı tek istasyon montajı yöntemi; montaj işinin, ürün veya ürünün bazı temel alt montajları üzerinde yapıldığı bir tek iş yerinde gerçekleşir. Bu yöntem genellikle, karışık, küçük miktarlarda ve bâzen bir tipten bir tane üretildiği ürünler üzerinde kullanılır. İş yerinde bir veya daha çok işçi kullanılır (Ürünün ve gereken üretim hızının büyüklüğüne bağlı olarak). Geleneksel mühendislik ürünleri (yüksek fırınlar, endüstriyel donatım, hava aracı, gemiler ve prototip modeller) ürün üzerindeki montaj işini yapmak için, tek insanlı istasyon kullanır.

İnsanlı montaj hatları; montaj hattı boyunca istasyondan istasyona geçirilen ürün olarak başarılan montaj işleri şeklinde, çok sayıda iş istasyonundan oluşur. Her iş istasyonunda, ürün üzerinde toplam montaj işinin bir kısmını yapmak için bir veya daha çok işçi işlem görür (Varolan altmontajlara bir veya daha çok bileşen eklenmesiyle). Ürün son istasyona ulaştığında iş bitirilmiştir.

Otomatize montaj sistemleri, iş istasyonlarında, insandan çok otomatize yöntemleri kullanır.

3.7.1. İnsanlı Montaj Hatları

Bu tip montaj hatları veya daha genel deyişle insanlı akış hatları, yapılması gerekli işin, küçük görevlere (iş bölümlerine) bölünebileceği ve görevlerin, hat üzerindeki iş istasyonlarına özgüleneceği yüksek üretim durumlarında kullanılır. Bu tip montaj hatları kullanımının anahtar avantajlarından biri iş özelleştirmedir. Her işçiye, bir sınırlı iş grubunun, düzgünce yapılması için verilmesiyle o işçi, o görevler için bir anlamda ustalaşır ve o işleri daha hızlı ve daha kaliteli yapabilir. Bu tip bir montaj hattının genel şekil, Şekil 3.4.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.4. insanlı (Manuel) Bir Montaj Hattının Diyagramı

3.7.2. İş İstasyonları Arasında İş Transferi

İşlemci iş istasyonları arasındaki hat üzerinde, işleri taşımaya 2 temel yolu vardır: Mekanik olmayan hatlar ve hareketli bant hatları.

3.7.2.1. Mekanik Olmayan Hatlar

Bu düzenlemede, işlemci iş istasyonları arasındaki parçaları taşımak için kayış veya bant kullanılmaz. Onun yerine parçalar, istasyondan istasyona elle geçirilir. Birçok sorun, bu etkinlik modunda görülür.

. İstasyonlarda iş bekleme: İşlemci işini tamamlamıştır ama önceki istasyondan gelecek parçalar için beklemelidir.

. İstasyonların tıkanması: İşlemci işini tamamlamıştır ama bıraktığı parçayı bir sonraki istasyona geçirmeden önce, bir sonraki işleminin görevini tamamlamasını beklemelidir.

Bu sorunların sonucu olarak, mekanik olmayan bir hat üzerindeki iş akışı düzensizdir. Çevrim süresi değişir ve bu, tüm düzensizliğe yansır. İş istasyonları arasındaki parçalara ilişkin güvenlik stokları üretim akışını düzeltmek için kullanılır.

3.7.2.2. Hareketli Bant Hatları

Bu akış hatları, iş istasyonları arasındaki altmontajları hareket ettirmek için bir hareketli bant (Örneğin bir hareketli kayış, taşıyıcı, zemin zinciri) kullanılır. Taşıma sistemi; sürekli, aralıklı veya eşzamanlı olmayan şekilde olabilir. Sürekli taşıma; aralıklı taşıma daha yaygın olmaya başlamasına rağmen, insanlı montaj hatlarında daha yaygındır. Düzenli hareketli bant ile, aşağıdaki sorunlar ortaya çıkabilir:

- . İş bekleme, mekanik olmayan hatlarda olduğu gibi oluşabilir.
- . Bâzen tamamlanmamış işler olabilir (İşlemci, sıradaki parçayı bitirmeyi beceremediği zaman) ve sonraki parça bant üzerinde sağdan taşınır. Böylece tıkanma olmaz.

Vine güvenlik stokları, bu sorunların üstesinden gelmek için kullanılabilir. Ayrıca istasyon aşmalarına bazen izin verilir (İşçinin işini tamamlaması için, istasyonun normal sınırlarının ötesinde hareket edilmesine izin verildiği yerlerde).

Hareketli bant hattında, hattın üretim hızının üzerinde yüksek bir kontrol düzeyini sağlamak olasıdır. Bu, besleme oranı aracılığıyla yapılır. Besleme oranı; hareketli kayış üzerinde iş parçaları arasındaki zaman aralıklarının avrik değerine karşılık gelir. f_p ; bu besleme oranını göstermek üzere, zaman başına iş parçaları olarak ölçülür ve iki etmene bağlıdır: Bantın hareketiyle oluşan hız ve bant boyunca iş parçalarının aralığı. V_b bant hızı (feet/dakika veya m/sn şeklinde) ve S_p hareketli bant üzerindeki parçaların aralığı (feet/iş parçası, m/iş parçası) olsun. Bu durumda besleme oranı şu şekilde saptanır:

$$f_p = \frac{V_b}{S_p}$$

Hattın besleme oranını kontrol etmek için hem iş parçaları, hat üzerine düzenli aralıklarda konur. Hat boyunca parçaların akışıyla işlemci, her parça üzerinde çalışmaya başlaması gereken periyot boyunca

belli bir süreye sahip olur. Diğer durumda parça, istasyonu geçecek şekilde akacaktır. Bu zaman periyodu, tolerans süresi (T_t) olarak adlandırılır. Bu, bant hızı ve iş istasyonunun uzunluğu ile saptanır. Bu uzunluk L_s ile gösterilir ve iş istasyonunda işlemcinin zamanmasıyla geniş anlamda saptanır. Bu nedenle tolerans süresi şöyle tanımlanır:

$$T_t = \frac{L_s}{V_c}$$

Örneğin, hareketli bantlı ve insanlı bir akış hattında, istenen üretim hızının 60 Ünite/saat olduğunu varsayarsak bu, 1 parça/dakika'lık bir besleme oranı gereksinimini işaret eder. Bu da 0.5 m/dak'lık bir bant hızı ve 0.5 m'lik parça aralığı ile başarılır (V_c ve S_p 'nin diğer karışımları, yine aynı besleme oranını sağlayacaktır). Eğer her iş istasyonunun uzunluğu 1.5 m. olsaydı, her iş parçası için işlemcilere uygun tolerans süresi 3 dk. olacaktı. İşçi işlem zamanı değişirliğini ödünlemek (Telâfi etmek) için genellikle, tolerans süresini büyük yapmak istenir.

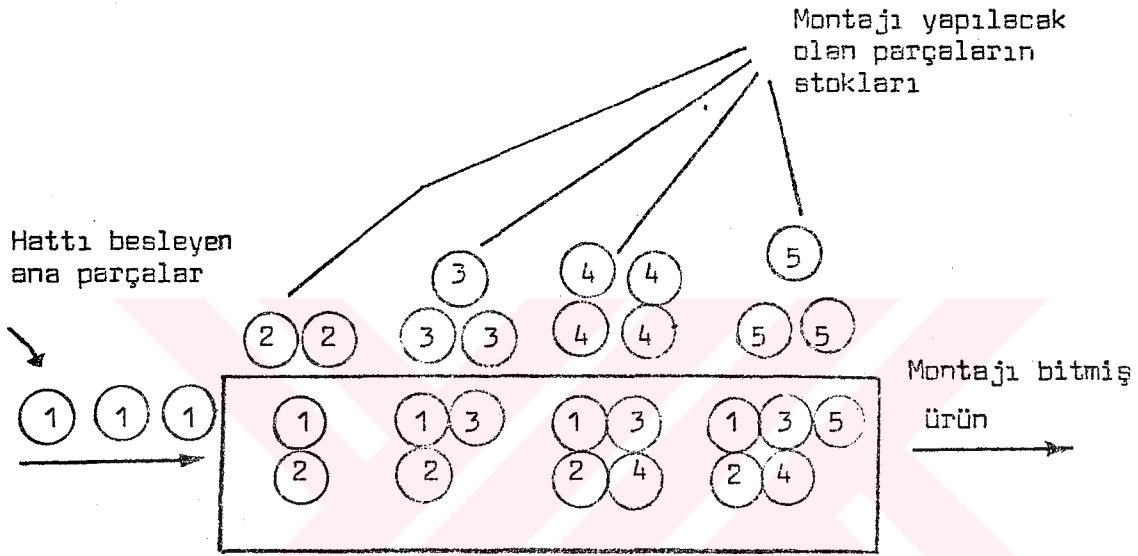
3.7.3. Model Değişiklikleri

Hem mekanik olmayan hatlarda, hem de bant hatlarında, işlerin istasyonlara özgülenmesi istenir; böyle ki amaç, iş istasyonlarındaki süreç veya montaj sürelerini eşitlemektir. Sorun bâzen, aynı üretim hattının, Üretimin bir tipinden daha çoğunu yapabileceği gerçeğiyle karmaşılaşır. Bu karmaşıklık; üç akış hattı durumunun -ve bu nedenle üç farklı tip hat dengeleme probleminin- tanımlamasını ortaya çıkarır.

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 birçok farklı modeli üretmek için mi kullanılacaktır, eğer öyleyse bunlar hat üzerinde nasıl tasarlanacaktır? Bu soruları yanıtlamak için tanımlanabilecek üç durum vardır:

3.7.3.1. Tek Modelli Hatlar

Bunlar, tek bir model veya ürünün üretimine özgülenmiş özel hatlardır. Bu tip hatların tasarımı oldukça basittir. Ürün için istem oranı; o ürünün üretimine özgülenmiş sürenin % 100'ü için yeterince büyüktür.



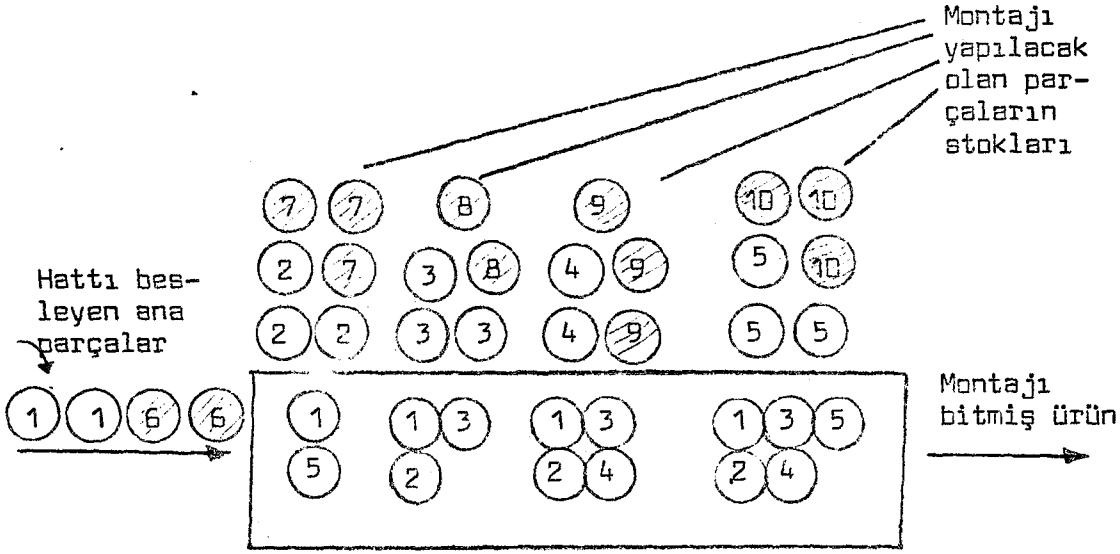
Şekil 3.5. Tek Modelli Bir Montaj Hattı

3.7.3.2. Çok Modelli Hatlar

Bu tür hatlarda farklı ürünler veya aynı ürünün iki veya daha çok benzer tipi, ayrı yığınlar durumunda üretilir. Her model, bu hat üzerinde ayrı bir yığın oluşturur. Ürünler veya modeller, genellikle işlem veya montaj etkinliklerinin benzer bir sırasını gerektirirler. Bu nedenden dolayı, değişik modellerin üretimi için aynı hat kullanılabilir. Çok modellenli montaj hatları, eğer yığınlar büyük ise tek modellenli montaj hatlarına, küçük ise karmaşık modellenli montaj hatlarına benzerlik gösterirler.

3.7.3.3. Karışık Modelli Hatlar

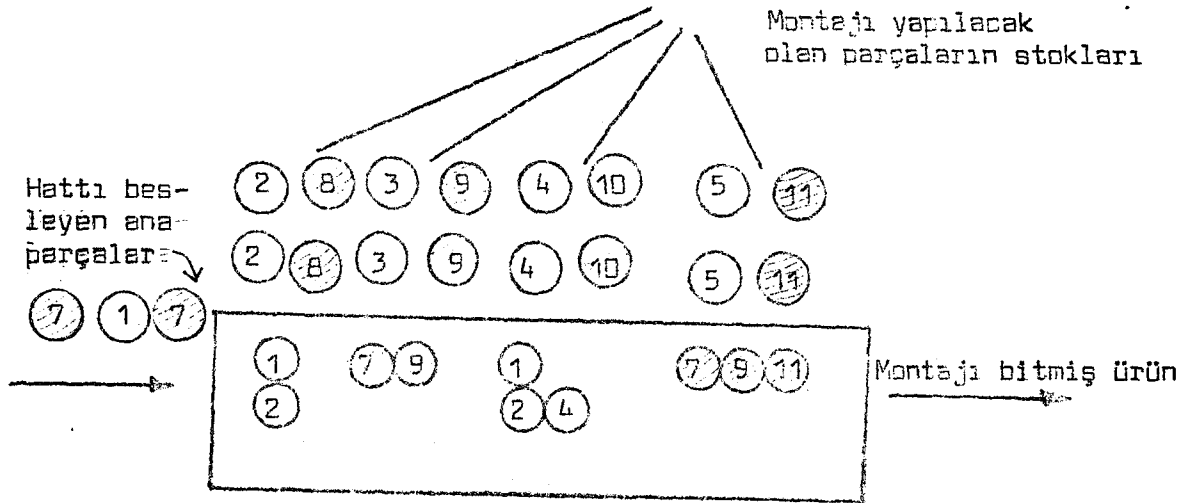
İki veya daha fazla benzer ürünün veya bir ürünün değişik modellerinin, aynı anda ve karışık olarak üretildiği montaj hatlarıdır.



Şekil 3.6. Çok Modelli Bir Montaj Hattı

Bu tür üretimde, kuremsal olarak büyük miktarlarda bitmiş ürün stoklarına gereksinim olmayıp, çok modellenli hatların tersine, tüketicinin istekleri, sürekli bir şekilde yapılan üretimle karşılanır. Otomobil ve kamyon montaj hatları, bu duruma örnek olarak verilebilir.

Karışık modellenli hatlarda gözlenen temel olumsuzluk, modellerin özelliğinden kaynaklanan, ayrı iş parçalarının; eşit olmayan iş akışlarına, boş istasyon sürelerine ve yarı bitmiş ürün stoklarına neden olmasıdır. Bu tip montaj hatlarında oldukça karmaşık tasarım ve işlem sorunları söz konusudur. Bu tip hatların genel görünüşü Şekil 3.7. de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Karışık Modelli Bir Montaj Hattı

3.7.3.4. Model Değişikliklerinin Karşılaştırılması

Genelde Üç durum, hem insanlı akış hatlarında, hem de otomatize akış hatlarında uygulanabilir. Bununla birlikte pratikte, insan işlecilerin esnekliği, son iki durumu, insanlı montaj hattında daha uygunlaştırır.

Geleceğin otomatize 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 özgülünmesinin başarılması, her Üç durum için de bir sorundur. Bunun zorluk derecesi sırasıyla tek modelli, çok modelli ve karışık modelli hatlar için gittikçe artar.

3.7.4. Montaj Hatlarının Yerleşimi

Donatımın 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, rastsal, değişik açılı, U-şekilli ve zig-zag gibi değişik biçimlerde tasarlanabilir.

Basit ve sistematik olması, kolayca yerleşim yapılabilmesi, servis verme olanaklarının kolaylıkla sağlanabilmesi, konveyör sistemlerinin uygulanabilirliğinin artması ve maliyetlerinin düşmesi, ayrıca köşelerde meydana gelebilecek transfer zorluklarının ortadan kalkması gibi nedenlerle, montaj ve üretim hatlarının yerleşiminde düz hatlar yeğlenir. Ama aşağıda belirtilen bazı özel durumlarda, değişik şekillerde montaj hatlarının kullanımı sözkonusu olabilir:

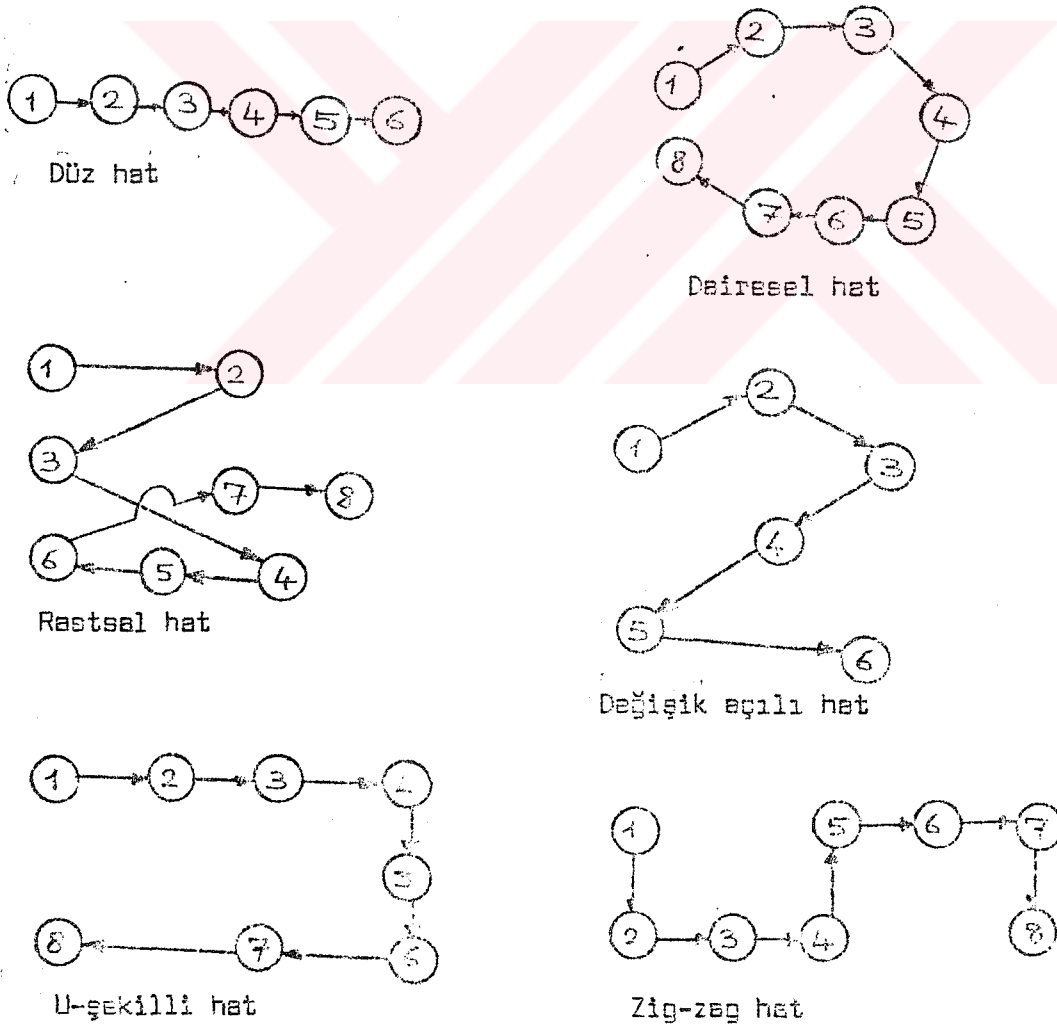
1) Hattın boyu çok uzun ise, varolan yere sığmıyorsa veya düz hat olarak yerleştirme yapıldığında boşta kalacak alanın boyutları büyükse, U-şekilli veya dairesel hat kullanılır.

2) Elektrik ve basınçlı hava gibi tesisat bağlantıları, birden fazla istasyona aynı kaynaktan yapılıyorsa, U-şekilli veya yılanvâri hatlar kullanılır.

3) Varolan alan uygun değilse ve çok bitişik düzenlemeler gerektiriyorsa, düz hat dışında kalan uygun bir hat şekli seçilir.

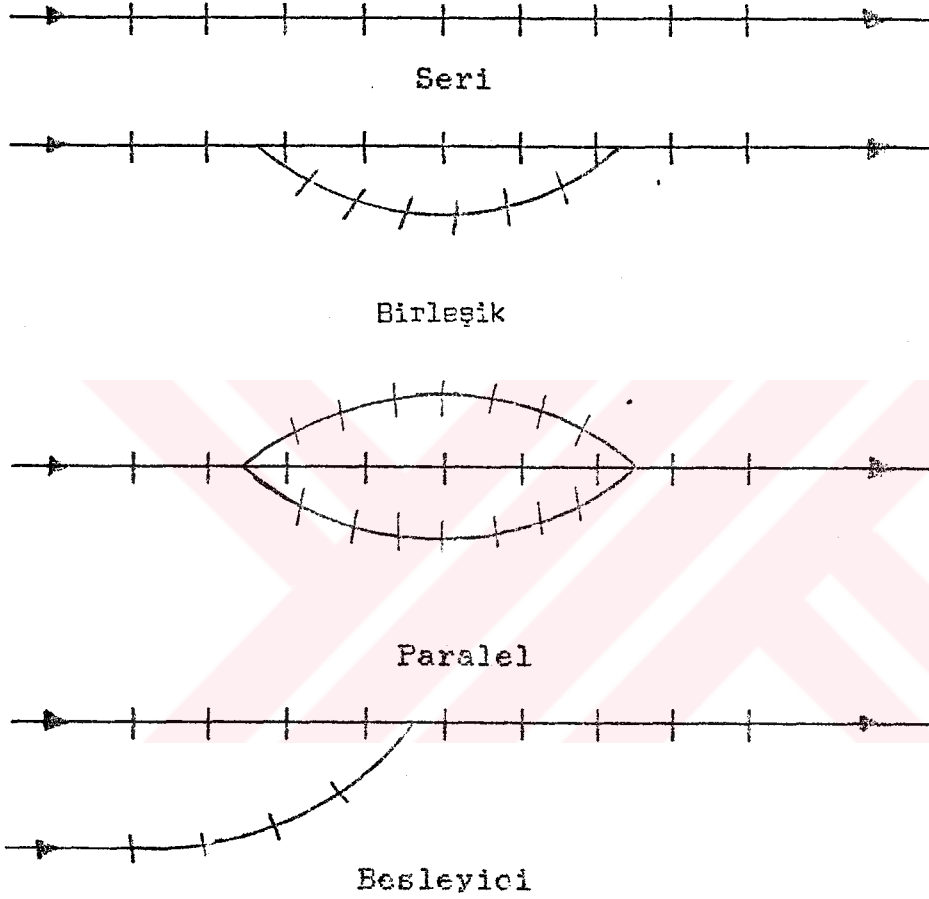
4) Maliyeti yüksek olan bir makineye, birbirinden ayrı iki etkinlik yaptırılması gerekiyorsa, U-şekilli hatlar seçilir.

5) Bir işlemci, değişik işlem sıralarındaki ve aynı hat üzerindeki makinelerden, birden çoğu ile çalışıyorsa, yılanvâri veya U-şekilli hat kullanılır.



Şekil 3.8. Fiziksel Montaj Hattı Tipleri

Fiziksel montaj hatlarından başka ayrıca işlevsel (fonksiyonel) montaj hatları vardır. Bunlar da dört değişik biçimde olabilir: Seri, birleşik, paralel ve besleyici montaj hattı tipleri.



Şekil 3.9. İşlevsel Montaj Hattı Tipleri

3.7.5. İnsanlı Esnek Montaj Hatları

Bir insanlı montaj hattının iyi tanımlanmış bir adımı, üretim oranını enbüyükleyen görüş noktası değerine sahiptir. Bununla birlikte montaj hattı üzerindeki işçiler sık sık, senki çok geliştirildiklerini duyumsarlar. Yüksek üretim akış hatları üzerinde; işçilerin şikayetleri, düşük kalitede işçilik, hat donatımının sabotaja uğraması ve diğer bazı sorunlar vardır. Bu sorunlardan kurtulup ferahlamak için, montaj hatlarında bir yeni kavram geliştirilmiştir.

Buna göre iş adımları, tek tek her istasyondaki işçiler ile geniş olarak kontrol edilir (Sabit bir hızda güç verilmiş hareketli banta göre daha iyi olacak şekilde).

İsveç'teki Volvo firması, bu yeni kavramın ve kullanımının öncülüğünü yapmıştır. Volvo, otomobilin temel bileşenlerini ve/veya altmontajlarını tutan bağımsız iş taşıyıcılarının kullanımına güvenir ve bunları hat boyunca, insanlı montaj iş istasyonlarına taşır. Sistemdeki iş taşıyıcıları, "otomatize rehber araçlar" olarak adlandırılır ve bunlar, fabrika içindeki değişik istasyonlara rotalanan rehber yolları izlemek için tasarlanırlar.

Bağımsız olarak işlem gören iş taşıyıcıları; paralel yollar, istasyonlar arasında parça kuyrukları ve geleneksel bir iç hat montaj sistemi üzerinde tipik olarak bulunmayan diğer özellikler ile şekillendirilmesi istenen montaj sistemine izin verirler. Buna ek olarak, bu insanlı montaj hatları, yüksek bir esneklikte, üretimde çeşitliliğe yetenekli ve ayrı iş istasyonlarında montaj çevrim sürelerindeki değişikliklere yanıt verir şekilde tasarlanabilir. Daha önce bu tip bir montaj sistemini, karışık modelli hat olarak betimlemiştik.

Burada tanımlanan esnek montaj sistemi tipi, genellikle, üretilmesi gerekli birçok ayrı modelin olduğu durumlarda kullanılır. Modellerdeki değişkenlikler, içeren iş içeriği süreleri içinde belirlenen ayrılıklar şeklinde sonuçlanır. Verilmiş herhangi bir istasyondaki iş çevrim süresi, model tipine bağlı olarak 4 ve 10 dk. arasında değişebilir. Üretim çıktısı, paralel benzer istasyonların sayısı ile saptanır. Hazırlanmış bir istasyon, ileride gereksinilecek bileşenler ile iş taşıyıcısına yüklemek için, paralel montaj istasyonlarının bir yığınınından önce sık sık kullanılır. Bu, ayrı istasyonlara giden bir dizi sıralı taşıyıcıya, esneklik için izin verir (Sıralama amacıyla). Tüm modeller için ayrıntılı bilgisayar aksamı parçaları, genellikle iş istasyonlarında stoklanır. Sistemin tipik bir etkinliği, verilmiş bir istasyon için işçi yeteneği ve çabasından ve model ayrılıklarından oluşan zaman değişirlikleri için izin verir. Geleneksel akış hattında olduğu gibi sabit bir oranda ilerlemiş hareketli

altmontajın yerine, şu anda yapılmakta olan belirli bir model için gereken iş öğelerini başarmak için gerekli süreyi kullanır. İş tamamlandığında, iş taşıyıcısı, işçi tarafından, bir sonraki montaj etkinliğinin izlenmesi için serbest bırakılır.

Bu esnek montaj sisteminin yararları, geleneksel montaj hattı ile karşılaştırıldığında, daha büyük işçi hoşnutluğu, daha yüksek kalitede ürün, model değişikliklerinin uzlaşımı için artmış yetenek ve tüm üretim hattını durdurmak için olandan daha çok süre gerektiren problemlerle başa çıkmada daha büyük yetenek sahibi olmasıdır.

3.8. OTOMATİZE MONTAJ SİSTEMLERİ [Groover (1987)]

3.8.1. Otomatize Montaj Terimi

Otomatize montaj teriminden, bir montaj hattı veya hücresindeki çeşitli işlevleri gerçekleştirmek için, mekanize ve otomatize aygıtların kullanımı amacıyla yararlanılır. Yakın yıllarda, montaj otomasyonu teknolojisinde çok büyük ilerleme sağlanmıştır. Bu ilerlemenin bir kısmı, robotler alanında etkili oldu. Endüstriyel robotlar bâzen, otomatize montaj sistemlerinde, bileşenler olarak kullanılır. Otomatize montaj, otomasyonun ayrı bir alanıdır. İnsanlı montaj yöntemleri, gelecek birçok yılda şüphesiz kullanılacak olmasına rağmen, otomatize yöntemlerin kullanımıyla, verimlilik kazançları için önemli fırsatlar ortaya çıkacaktır.

3.8.2. Otomatize Montaj İçin Tasarım

Otomatize montaj için engellerden biri, bir ürünün montajını yapmak için tek uygun kullanım aracının insan olduğu zamanlarda geliştirilen, geleneksel montaj yöntemleridir. Bugün endüstride yaygın olarak kullanılan mekanik bağlantıların çoğu, insanın özel anatomik ve duyuşsal yeteneklerini gereksinmektedir. Örneğin, parçalı şekilde montelenmiş kabin üzerinde iki levha metal parçasını bağlamak için bir vidanın, bir kilit rondelasının ve bir vida somununun kullanımını düşünün. Bu tip bir etkinlik, ya bir montaj istasyonunda veya montaj

Hattında, insanlı olarak, tipik şekilde başarılır. Kabin; işleminin yetiştirilmesi için uygun bir konumda bağlanması amacıyla, iki levha metal parçasıyla iş istasyonuna yerleştirilir. İşlemci vidayı, kilit rondelasını ve vida somununu kaldırır. Bir yolunu bulup bunları, 2 parçanın karşıt tarafları üzerinde bir konuma getirir, kilit rondelasını yerleştirir ve sonra vida somununu, vida üzerine koyar. Rastlansal olarak vida somununun yivleri, başlangıçta vida yivleri üzerinde saptanmış olabilir. Bu durumda işlemci, vidayı yavaşça eğmek zorunda kalır ve süreci yeniden başlatır (Yivlerin birbirine geçtiğinden emin olmak için, iyi gelişmiş bir dokunma duyusundan yararlanarak). Bir kez, vida ve vida somunu parmaklarla bağlanır. İşlemci bağlayıcıya bağlamak amacıyla uygun tornavidaya uzanır.

Bu tip insanlı etkinlik, ürünlerin montajını yapmak için, endüstride yıllardır yaygın olarak ve başarılı şekilde uygulanmaktadır. Gerekli bilgisayar aksamı pahalı değildir ve levha metal, birbirine uyan açık delikleri elde etmek için düzenli olarak delinir, böylece yöntem, alan servisi yapılmasına olanak verir. Başlangıç bağlantısını başarmak için gerekli montaj istasyonundaki insangücü, çok pahalı olmaya başlamıştır. İnsangücünün yüksek maliyeti, otomasyona doğru bir bakış ile montaj teknolojisinin yeniden incelenmesi sonucunu doğurur. Bununla birlikte, yukarıda tanımlanan montaj etkinliğini otomatize etmek çok zor olabilir. Öncelikle, ortalanması gereken vida- nın içindeki deliklerin konumları her vida için ayrıdır ve işlemci için bu konuma ulaşılması zor olabilir. ,ikincisi, iki levha metal parça arasındaki vida delikleri, çok mükemmel olarak birleştirilemez (İşlemciye, 2 parçayı daha iyi bir birleştirme için yeni konuma getirme zorunluluğu gerektirmesinden dolayı). Üçüncüsü; işlemci, bağ- lama etkinliğini yapmak için 3 ayrı bilgisayar aksamı parçasını (Vi- da, rondela, somun) el çabukluğuyla birleştirmek zorundadır. Dördün- cü, somunun vida üzerinde düzgünce harekete başladığından emin olmak için iyi bir dokunma duyusu gereklidir. Bu dört sorunun her biri, etkinliğin otomasyonunu zorlaştırır. Dört sorunun tümünün birarada çözülmesi olanaksızdır. Sonuç olarak, montaj otomasyonu konusundaki girişimler, bir ürünün değişik bileşenlerini birarada bağlamak için tasarımcıyla belirlenen yöntemlerin sınanmasına yol açmıştır.

Yukarıdaki örnekten çıkarılacak ilk ve engemel ders, açıkça, insanlı montaj için geleneksel olarak kullanılan yöntemlerin; otomatize montaj için eniyi yöntemler olmalarının gerekmediğidir. İnsanlar, eli ençabuk ve enakıllı makinalardır. İş istasyonu içinde ayrı konumlara taşınma yeteneğine, iş çevrimi sırasında yeni durumlara ve kestirilmemiş sorunlara uyabilme yeteneğine, eşzamanlı olarak çok yönlü nesnelerin elle yönetimini ve eşgüdümünü (Koordinasyonunu) yapma yeteneğine, iş yapılmasında duyuların geniş bir aralığının kullanılması yeteneğine sahiptirler. Başarılması gereken montaj otomasyonu için, bu insan yeteneklerinin tümünü gereksinmeyen ürün tasarımı sırasında, bağlama prosedürleri düzenlenmeli ve tanımlanmalıdır.

İzleyen başlıklar, otomatize montajı kolaylaştırmak için ürün tasarımı için de uygulanabilecek öğütler ve ilkelerdir.

3.8.2.1. Gerekli Montaj Miktarının Azaltımı

Bu ilke; daha önce ürün içindeki ayrı bileşenlerle tamamlanan aynı parça içindeki birleştirme işlevleri ile tasarım sırasında anlaşılabilir. Levha metal parçaları için bedel olmak üzere, plastik kalıplı parçaların kullanımı, bu ilkeye bir örnektir. Bir plastik parça üzerine kalıplanmış daha karışık bir geometri, birçok metal parça ile yer değiştirebilir. Plastik parça daha maliyetli görünmesine rağmen, montaj süresinden tasarruflar, belki birçok durumda yer değiştirmeyi avantajlı duruma getirmektedir.

3.8.2.2. Modüler Tasarım Kullanımı

Otomatize montajda, tek otomatize sistemle yapılan ayrı montaj adımlarının sayısının erttirilmesi, sistemin toplam çapıkme süresinde bir artmaya neden olacaktır. Bu etkiyi azaltmak için Riley, ürün tasarımının modüler olmasını önermiştir (Her modelin tek montaj sistemi üzerinde, montajı yapılması gereken ençok 12 veya 13 parçalık bir gereksinmesi olduğu düşüncesiyle). Ayrıca altmontaj, diğer bileşenlerin eklendiği bir temel parça çevresinde tasarımılanmalıdır.

3.8.2.3. Gerekli Bağlayıcıların Sayısının Azaltılması

Ayrı vidalar, somunlar ve benzer bağlayıcıların kullanımı yerine, kopma geçmeler ve benzer özelliklerin kullanımıyla bileşen tasarımı içinde bağlantı mekanizması tasarımının yapılmasıdır. Ayrıca, ürün modüllerinin tasarımı ve böylece her bileşenin ayrı ayrı bağlanmasıdan çok, birçok bileşenin eşzamanlı bağlanması öngörülmektedir.

3.8.2.4. Hemen Yönetilmesi Gereken Çoklu Bileşenler İçin Gereksinmeyi Azaltmak

Çoklu bileşenleri, aynı iş istasyonunda eşzamanlı olarak yönetmek ve bağlamaktan çok, ayrı istasyonlardaki etkinlikleri ayırmak, otomatize montaj makine tasarımında yeğlenen pratik bir çözümdür (Robot teknolojinin; robotlar, bir mekanize montaj sisteminde birden çok istasyonda, daha karmaşık montaj görevlerini gerçekleştirmek üzere programlanabileceğinden dolayı; bu pratik çözümün yeniden düşünülmesinin gerekmesine neden olduğu, altı çizilmesi gereken bir konudur).

3.8.2.5. Yolların Gerekli Rotalarını Sınırlamak

Bu ilke; varolan altmontaja eklenen yeni bileşenler içindeki rota sayısının enküçüklenmesi anlamına gelir. Eğer bileşenlerin tümü, üstten dikey olarak eklenebilirse, bu ideal durumdur. Açık olarak, altmontaj modülünün tasarımı, bunu saptamamıza yardımcı olur.

3.8.2.6. Bileşenlerde Yüksek Kalite Gereksinimi

Otomatize montaj sisteminin yüksek performansı, her iş istasyonunda eklenen bileşenlerin sürekli iyi kalitesini gereksinir. Düşük kaliteli bileşenler, montaj ve besleme mekanizmalarında, otomatize sistem içinde geçişmelere neden olan sıkışmaları doğurur.

3.8.2.7. Sıçramaların Tamamlanması

Bu Riley'in; montaj iş kafasına sıçrayanlardan kurtulmak için güvenilir şekilde beslenebilen ve oryante edilebilen, verilmiş bir bileşen ile kolaylığı tanımlamak için kullandığı bir terimdir. Bir otomatize montaj sisteminin gelişimindeki temel mâliyetlerden biri, montaj etkinliği için doğru oryantasyonda bileşenlerin beslenmesi ay-
rımalarını tasarlamak amacıyla kullanılan mühendislik süresidir. Ürün tasarımcısı, parçaların besleme ve oryantasyon kolaylıklarını saptayan bileşenlerin oryantasyon özellikleri ve diğer geometrik görünüşlerini sağlamaktan sorumludur.

3.8.3. Otomatize Montaj Sistemi Tipleri

Ürün tasarımının otomatize montaj ile uygun olduğu varsayımı ile, otomatize montaj sistemlerinin konfigürasyonu ve etkinliğini karakterize eden birçok farklı yol vardır. Sistemi sınıflandırmak için bir yol, sistem içinde kullanılan iş transferi sistemi tipine göre yapılan sınıflandırmadır. Tipler, şunlardır:

- 1- Sürekli transfer sistemi.
- 2- Eşzamanlı transfer sistemi.
- 3- Eşzamanlı olmayan transfer sistemi.
- 4- Durağan temel parça sistemi.

Durağan temel parça sisteminde temel (Diğer bileşenlerin eklen-
diği) parça, durağan bir yere yerleştirilir. Montaj işi sırasında bu yerde kalır.

Otomatize montaj sistemlerini sınıflandırmanın bir diğer yolu, fiziksel konfigürasyonları ile yapılan sınıflandırmadır. Olası konfigürasyonlar şunlardır:

- 1- Kadran tipi montaj makinası.
- 2- Düz : montaj makinası.
- 3- Altıkerınca tipi montaj makinası.
- 4- Tek istasyon montaj makinası

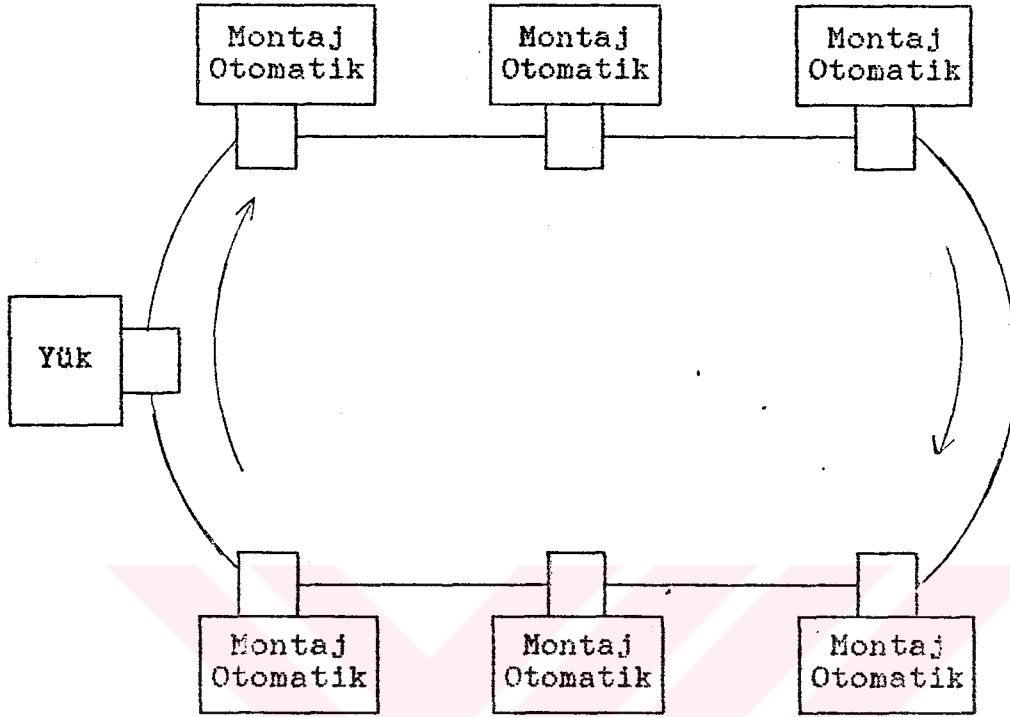
Kadran tipi montaj makinasının tipik bir uygulamasında temel parçalar, dairesel kadrana bağlanan sabit parçalar ve yuvalar üzerine yüklenir. Bileşenler; kadranın dış sınırı çevresine yerleştirilen çeşitli iş istasyonlarına eklenir ve/veya bağlanır. Kadran indekseleme (Dizinleme) makinası, bu sınıflandırmadaki en yaygın sistemdir. Bu; çevrimin, [işlem süresi + indekseleme süresi] toplamından oluştuğu eşzamanlı veya kesikli hareket ile işlem görür. Daha az yaygın olmasına rağmen, kadran tipi montaj makineleri bazen bir kesikli hareketten çok, bir sürekli hareketi kullanmak amacıyla tasarımılabilirler.

Düz montaj makinası, bir düz transfer sistemi boyunca yerleştirilen bir seri otomatik iş istasyonundan oluşur. Bu, insanlı montaj hattının otomatize tipidir. Sürekli, eşzamanlı veya eşzamanlı olmayan transfer sistemleri, düz konfigürasyon ile kullanılabilir.

Değişik tamamlanma aşamalarındaki altmontajlar, ayrı iş istasyonlarında eşzamanlı olarak yapılır. İstasyonlar arasında eşzamanlı iş transferi için ideal çevrim süresi; enyavaş istasyondaki etkinlik süresi ile, istasyonlar arasındaki transfer süresinin toplamıdır. % 100 verimle üretim oranı, ideal çevrim süresinin eşdeğeri'dir. İş istasyonlarındaki bileşenlerin sıklıkla ve diğer kötü işlevler nedeniyle, sistem % 100 verimle işleyemeyebilecektir.

Bir anlamda atlıkarınca tipi montaj sistemi (Şekil 3.10.); kadran tipi montaj sistemi ve düz sisteminin düz iş akışı ile sağlanan dairesel iş akışı arasında bir karışımı simgeler. Bu tip bir montaj sistemi, atlıkarınca çevresindeki işi hareket ettirmek için; sürekli, eşzamanlı ve eşzamanlı olmayan transfer mekanizmaları ile işlenebilir. Eşzamanlı iş transferli atlıkarınca konfigürasyonu, parçalı otomatize montaj sistemlerinde sık sık kullanılır.

Tek istasyonlu montaj makinasında montaj etkinlikleri tek bir yerde (Durağan temel parça sistemi) yapılır. Tipik etkinlik, çeşitli bileşenlerin temel parçaya eklendiği iş istasyonunda, temel parçanın yerleşimini içerir. Bileşenler, besleme mekanizmalarıyla istasyona taşınır ve bir veya daha çok iş kafası, değişik montaj ve bağlantı etkinliklerini gerçekleştirir. Tek istasyon hücresi bazen robotlu



Şekil 3.10. Bir Atlıkarınca Montaj Sisteminin Konfigürasyonu

montaj uygulamaları için konfigürasyon olarak seçilir. Parçalar tek istasyonda beslenir ve robot, temel parçaya ekleme yapar, bağlantı etkinliklerini gerçekleştirir.

Tablo 3.2., iş transfer sistemleri ve montaj sistem konfigürasyonlarının olası kombinezonlarının bir listesini sunmaktadır.

3.8.4. Parça Besleme Aygıtları

Yukarıda tanımlanan her bir konfigürasyon içinde, bileşenlerin montaja taşınması aracılığıyla iş kafesi tasarlanmalıdır. Bu bölümde, bu aygıtlar ve onların etkinliği tartışılacaktır:

Tablo 3.2. 4 Montaj Sistemi Konfigürasyonu için
Olası İş Transfer Sistemleri

Sistem Konfigürasyonu	Durağan Temel Parça	İş Transferi Sistemi		
		Sürekli	Eşzamanlı	Eşzamanlı Değil
Kadran tipi	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Düz tip	Hayır	Evet	Evet	Evet
Atlıkarınca	Hayır	Evet	Evet	Evet
Tek istasyon	Evet	Hayır	Hayır	Hayır

3.8.4.1. Parça Taşıma Sisteminin Öğeleri

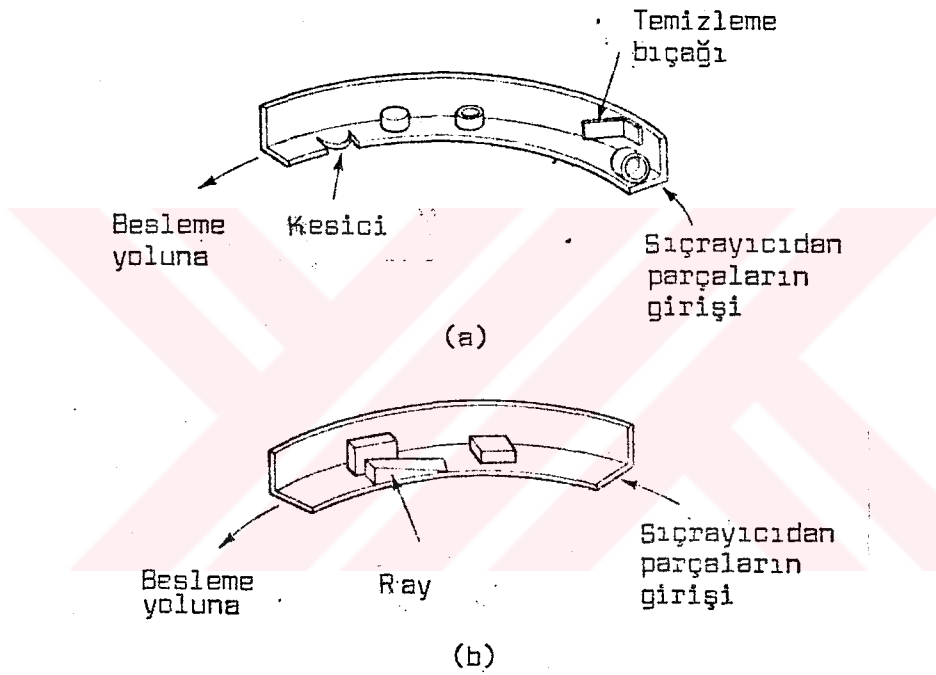
Bir otomatize montaj sistemi içinde bileşenleri iş kafasına taşıyan bilgisayar aksamı, izleyen tipik öğelerden oluşur :

1) Sıçrayıcı : Bu, iş istasyonunda yüklenen bileşenlerin içerici-sidir. Her bileşen tipi için ayrı bir sıçrayıcı kullanılır. Bileşenler genellikle döküm olarak sıçrayıcıya yüklenir. Bu, parçaların, sıçrayıcı içinde enbaştta, rastgele bir şekilde oryantasyonu anlamına gelir.

2) Parça Besleyicisi : Bu, bileşenleri herhangi bir anlamda sıçrayıcıdan, montaj iş kafasına taşımak için yerini değiştiren bir mekanizmadır. Sıçrayıcı ve parça besleyicisi sık sık, bir işleme mekanizması üzerinde birleştirilir. Titreşimli kap besleyicisi, sıçrayıcı-besleyici karışımı için çok yaygın bir örnektir.

3) Eleyici ve/veya Oryante Edici : Taşıyıcı sistemin bu öğeleri, montaj iş kafası için bileşenlerin uygun oryantasyonunu kurar.

Eleyici, bir filtre olarak görev yapan, nüfûz etmeleri için yalnızca doğru oryantasyonda olan parçalara izin veren bir aygıttır. Düzgün oryante edilmeyen bileşenler, sıçrayıcıya geri gönderilir. Bir oryante edici, içeri nüfûz etmek için düzgünce oryante edilmiş parçalara izin veren ama aynı zamanda, başlangıçta düzgünce oryante edilmeyen bileşenlerin yeniden oryantasyonunu sağlayan bir aygıttır. Eleyici ve oryante edici aygıtlar sık sık birleştirilir ve sıçrayıcı-besleyici sistem içine eklenir. Bazı eleyici ve oryante edici tasarımlar, Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Otomatize Montaj Sistemlerinde Bileşen Besleyicileri ile Kullanılan (a) Eleyici, (b) Oryante Edici Aygıtlar

4) Besleme Yolu: Taşıma sisteminin önceki ögeleri genellikle, montaj iş kafasından biraz uzağa yerleştirilir. Bir besleme yolu; bileşenleri, sıçrayıcı ve parça besleyiciden montaj iş kafasının bulunduğu yere aktarmak için kullanılır (Transfer sırasında parçaların uygun oryantasyonunu koruyarak). Besleme yollarının iki genel sınıflandırması vardır: Ağırlık ve güç. Ağırlık besleme yolu en yaygın olanıdır. Bu tip içinde sıçrayıcı ve parça besleyici, iş kafasının yükseltiminin biraz üzerinde bir yükseltme ile yerleştirilir. Ağırlık

kuvveti, bileşenleri iş kafasına taşımak için kullanılır. Güç besleme yolu; titretici hareket, hava basıncı veya montaj iş kafasına doğru besleme yolu boyunca hareket etmek için parçaları etkileyen diğer araçları kullanır.

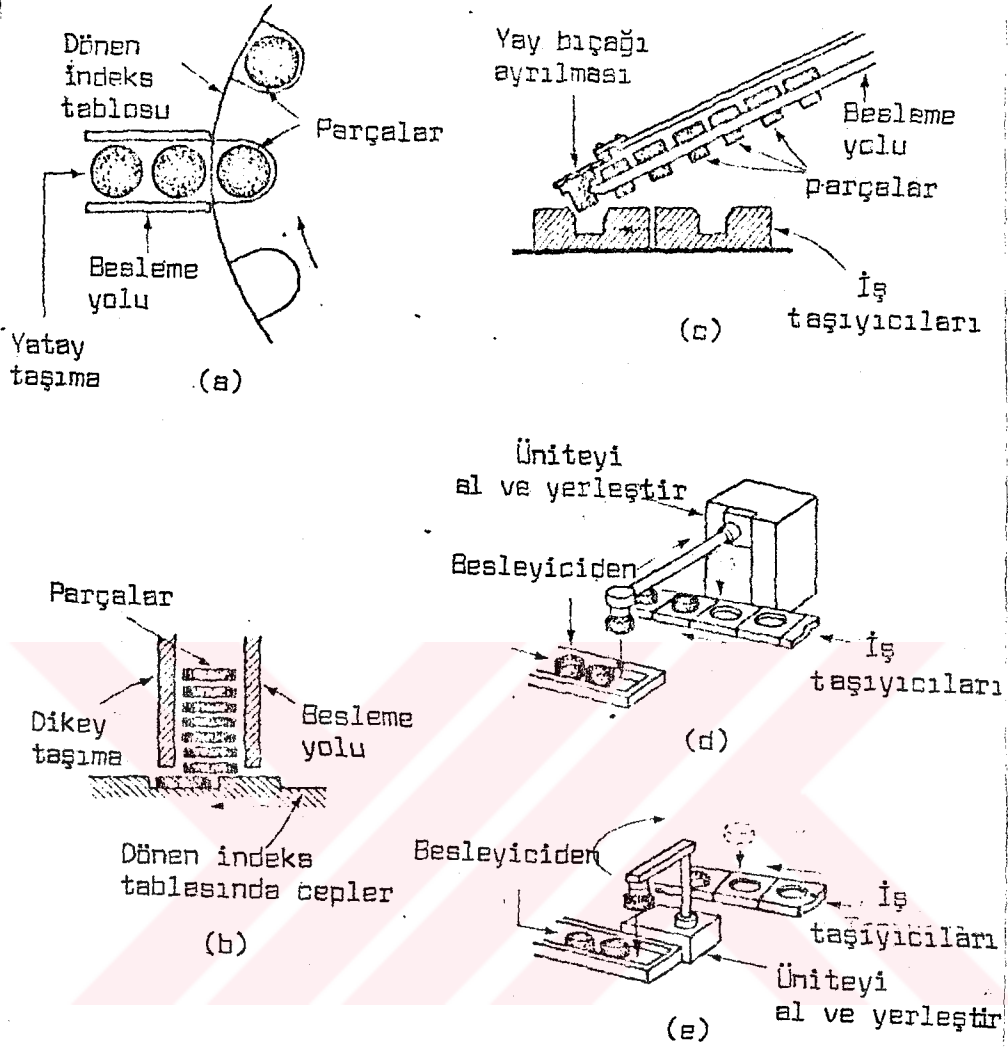
5) Maşalı Tertibat ve Yerleştirme Aygıtı: Maşalı tertibat aygıtının amacı, montaj iş kafasının çevrim süresi ile birbirine uygun zaman aralıklarında, bileşenleri besleme yolundan uzaklaştırmaktır. Yerleştirme aygıtı fiziksel olarak, iş kafası ile montaj etkinliği için iş istasyonundaki doğru yere, bileşeni yerleştirir. Bu öğeler bâzen, tek bir işleme mekanizması içinde birleştirilir. Diğer durumlarda bunlar iki ayrı aygıttır. Birçok maşalı tertibat ve yerleştirme aygıtı tipleri, Şekil 3.12'de resmedilmiştir.

Düzgün olarak oryante edici parçalar, sıçrayıcı içine geri beslenir. Bir parça oryante edicide, daha önce düzgünce oryante edilmiş parçalar oryante edilir ve besleme yoluna doğru ilerletilir.

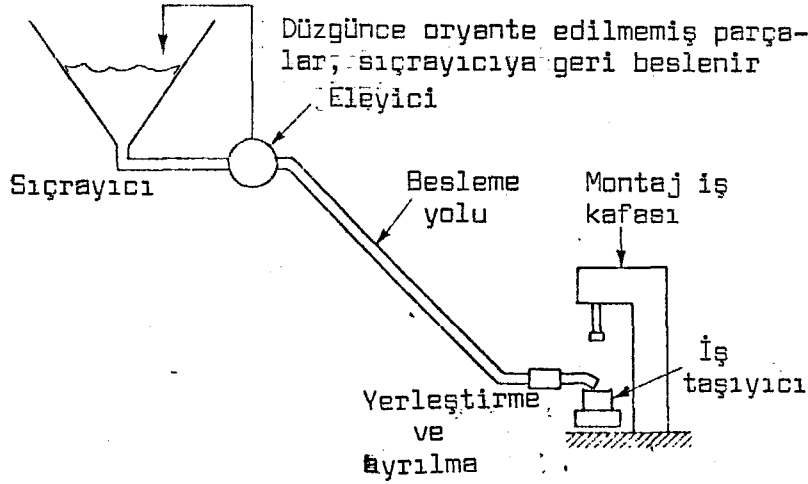
Parça taşıma sistemi öğeleri, Şekil 3.13'de şematik olarak gösterilmiştir. Parça besleme ve taşıma sistemleri teknolojisinde yeni gelişmelerden biri, programlanabilir parça besleyicisidir. Programlanabilir parça besleyicisi, ayrılıklar için ayarlamaları (Program değişikliği) yapmak amacıyla, yalnızca bir kaç dakika gereksinimiyle, değişik geometriye sahip bileşenleri beslemeye yeteneklidir. Çoğu parça besleyicisi, yüksek üretim montajı için sabit otomatize sistem olarak tasarlanır.

3.8.4.2. Taşıma Sistemi Etkinliğinin Sayısal Analizi

Parça besleme mekanizması, parçaları, sıçrayıcıdan, belirli bir oranda (f) kaldırma yeteneğine sahiptir. Bu parçaların başlangıçta rastsal olarak oryante edildiği varsayılır ve bu parçalar, doğru oryantasyonu kurmak için, eleyici veya oryante ediciye sunulmalıdır. Eleyici konusunda başlangıçta, parçaların belirli bir oranı doğru olarak oryante edilecektir. Bunların nüfûz etmesine izin verilecektir. Geriye kalan oran (Doğru olarak oryante edilmeyen kısım) sıçrayıcıya geri gönderilecektir. Bunlar oryante edicide yeniden oryante



Şekil 3.12. Otomatize Montaj Sistemlerinde Kullanılan Çeşitli Ayrılma ve Yerleştirme Aygıtları: Kadran indekleme tablosu üzerine parçaların yerleştirilmesi için a) yatay, b) dikey aygıtlar ; c) İş taşıyıcıları ile sabitleştirilen perçin şekilli parçaların ayrılması; d ve e) 2 tip, "al ve yerleştir" mekanizması



Şekil 3.13. Bir Montaj İş İstasyonunda Parça Taşıma Sisteminin Öğeleri

edilecektir. Bu işlem, parçaların % 100'ü, ideal olarak oryante edici aygıt içinden nüfûz edip geçene kadar sürdürülür. Birçok taşıma sistemi tasarımlarında, eleyicinin işlevleri ve oryante edici birleştirilir. θ ; eleyici-oryante edici sürecinden geçen ve besleme yolu içinde taşıma için doğru olarak oryante edilen bileşenlerin oranı olarak tanımlansın. Bu nedenle sıçrayıcıdan besleme yoluna giden bileşenlerin etkin taşıma oranı $f\theta$ olacaktır. Geri kalan oran $(1-\theta)$, sıçrayıcıya geri döndürülür. Açıkça, iş kafasına bileşenlerin taşıma oranı $f\theta$, montaj makinesinin çevrim oranından geri kalmamak için yeterli derecede olmalıdır.

$f\theta > R_c$ (Çevrim oranı) olduğu varsayımıyla, besleme yolu üzerindeki kuyruk büyüklüğünün sınırlaması kurulmalıdır. Bu genellikle, besleme yolunun üstüne yakın bir yere bir alıcı yerleştirilmesiyle başılır. Bu alıcı, besleme yolu kapalı olduğu zaman, besleme mekanizmasını kapatmak için kullanılır. Bu alıcı, "yüksek düzey alıcı" olarak anılır ve bunun yeri, besleme yolunun etkin uzunluğu olan L_{f2} yi tanımlar. Eğer besleme yolu içindeki bir bileşenin uzunluğu L_c ise, besleme yolu içinde tutulabilecek parçaların sayısı $n_{f2} = L_{f2}/L_c$ dir. Parçaların olası üstüste gelmemelerine izin vermek için, verilmiş bir bileşenin bulunduğu noktadan, kuyruktaki bir sonraki bileşenin yerini tutan bir noktaya kadar bileşenlerin uzunluğu ölçülmelidir. n_{f2} değeri, besleme yolunun sığasıdır.

Diğer alıcı, ilk alıcıdan biraz uzaktaki besleme yolu boyunca yerleştirilir ve besleme mekanizmasını tekrar çalıştırmak için kullanılır. Bu düşük düzeyli alıcının yerini L_{f1} olarak tanımlarsak, bu noktadaki besleme yolundaki bileşenlerin sayısı

$$n_{f1} = \frac{L_{f1}}{L_c} \text{ olur.}$$

Tampon olarak bulunan alandaki parçaların miktarı oranı, olurlu bir şekilde etkilenen yüksek düzey alıcı R_c oranında olduğunda azaltılacaktır. R_c burada; montaj makinasının kuramsal çevrim oranı olsun. Ortalama olarak parçaların miktarının, düşük düzey alıcının olumlu etkilendiği noktaya kadar yükseleceği oran $(f\theta - R_c)$ 'dir. Bununla birlikte artış oranı, besleyici-eleyici etkinliğin rassal yapısından dolayı düzgün olmayacaktır. Bununla birlikte, n_{f1} 'in değeri yeterince büyük yapılmalıdır. Bunun amacı, düşük düzeyli alıcı besleyici üzerinde çevrildikten sonra, bir stok çıkışı olasılığını açıkça elemektir.

ÖRNEK 3.1.

Verilmiş bir montaj iş kafası için çevrim süresi 0.2 dakika olsun. Parça besleyicisi, 20 bileşen/dk'lık bir besleme oranına sahiptir. Besleyici ile beslenen verilmiş bir bileşenin eleyici içinden geçme olasılığı $\theta=0.3$ olsun. Düşük düzeyli alıcının yerini tutan besleme yolundaki parçaların sayısı $n_{f1}=6$ 'dır. Besleme yolu kapasitesi ise $n_{f2}=18$ parçadır.

a) Besleme yolu üzerinde n_{f2} 'den n_{f1} 'e giden parçaların temini için ne kadar süre geçeceğini bulunuz.

b) n_{f1} 'den n_{f2} 'ye giden parçaların sağlanması için, ortalama olarak ne kadar süre geçeceğini bulunuz.

ÇÖZÜM 3.1.

a) Besleme yolundaki parçaların azalma oranı, n_{f2} 'den başlayarak $R_c = 1/0,2 = 5$ parça/dk. olacaktır. Bunu bitirmek için geçecek süre

$$\frac{18-6}{5} = 2.4 \text{ dk.'dır.}$$

b) Besleme yolundaki parçaların artışı oranı, bir kez düşük düzeyli alıcıya ulaşıldığında $f\theta - R_c = (20)(0.3) - 5 = 1$ parça/dk.'dır. n_{f1} 'den n_{f2} 'ye geliş için geçen süre

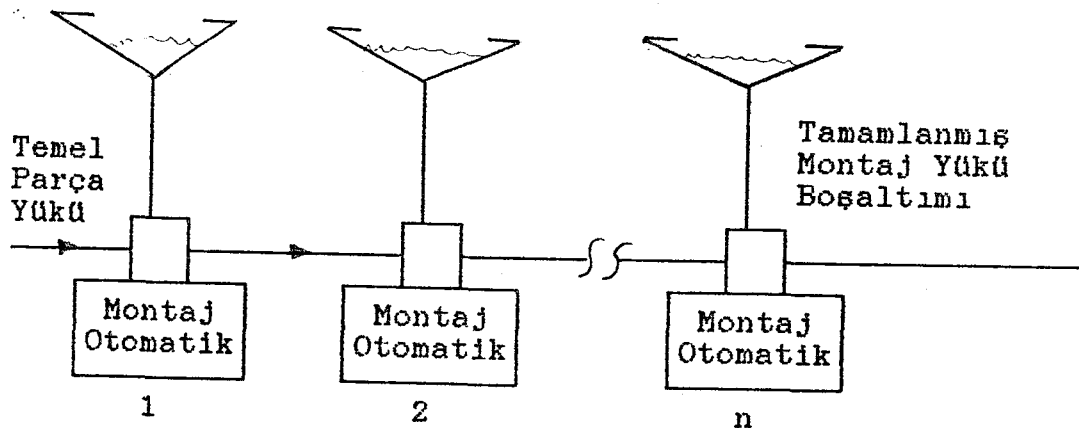
$$\frac{18-6}{1} = 12 \text{ dk.'dır.}$$

3.8.5. Çok İstasyonlu Montaj Makinalarının Analizi

Bu kısımda , çok sayıda iş istasyonuna sahip olan ve bir eşzamanlı transfer sistemini kullanan otomatize montaj makinalarının etkinliği ve performansını inceleyeceğiz. Bu tipler; kadran indeksli makina, çok sayıda düz montaj sistemleri ve belli bazı atlıkarınca sistemleridir. Performans ölçüleri şunlardır: Üretim oranı, verimlilik etkinliği ve mâliyet.

Analizde bazı değişiklikler, montaj sistemi içindeki çeşitli iş istasyonlarına bileşenler eklenmekte olduğu gerçeğinin nedenini açıklamak amacıyla yapılmalıdır. Montaj sisteminin genel etkinliği, Şekil 3.14'de gösterilmiştir. Sistemin etkinliğini elinde tutan eşitliklerin gelişiminde biz, Boothruyd ve Redford tarafından önerilen genel yaklaşımı izleyeceğiz.

Bileşen sıçrayıcı-besleyicileri



Şekil 3.14. Çok istasyonlu Montaj Hattı

Bir montaj makinasının bir iş istasyonunda oluşan bir tipik etkinliğin, -bazı yöntemlerde- bir montaja eklenen veya katılan bir bileşen olduğunu varsayalım. Varolan montaj, bir temel parça ve önceki istasyonlarda montelenmiş bileşenlerden oluşur. Temel parça ya birinci iş istasyonunda veya daha sonra hat üzerine indirilir. Eklenen bileşenler temiz, düzgün büyüklükte ve şekilde, yüksek kaliteli ve düzenli olarak oryante edilmiş olmalıdır. Besleme mekanizması ve montaj iş kafası, bu özellikleri karşılamayan bir bileşene katılmak için girişimde bulunduğu zaman, istasyon sıkışabilir. Bu durum olduğunda, hata düzeltilene kadar tüm makinanın kapanması sonucunu verebilir. Bu nedenle, bir akış hattının etkinliğini kesen diğer mekanik ve elektriksel hatalara ek olarak kusurlu bileşenler sorunu, bir otomatik montaj makinasının etkinliğini özgül olarak kötü yönde etkiler. Bu, bizim bu kısımda sunacağımız problemdir.

3.8.5.1. Bir Şans Oyunu Olarak Montaj Makinası

Kusurlu parçalar, üretim yaşamının bir parçasıdır. Kusur, belirli bir kesirli kusur oranı q ile oluşur. Bir montaj iş istasyonunun etkinliğinde q , bir sonraki bileşenin kusurlu olması olasılığı olarak düşünülebilir. Bir kusurlu bileşeni besleme ve monte etme girişimi yapıldığında, kusur, istasyonun sıkışmasına neden olabilir veya olmayabilir. m ; bir kusurun, iş istasyonunun kötü işlevine ve tıkanmasına yol açma olasılığı olsun. q ve m değerleri ayrı istasyonlar için değişik olabileceklerinden biz, bu terimleri q_i ve m_i olarak göstereyim. $i=1, 2, \dots, n$ olmak üzere i , montaj makinası üzerindeki istasyon sayısı olsun.

Belirli bir i istasyonunda ne durumlar olacağını düşünersek, i istasyonunda; besleme mekanizması, bileşeni beslemek için girişimde bulunduğu ve montaj aygıtı, varolan montaja bunu katmak için girişimde bulunduğu oluşabilecek üç olası olay vardır:

- 1) Bileşen kusurludur ve bir istasyon sıkışmasına neden olur.
- 2) Bileşen kusurludur ama bir istasyon sıkışmasına neden olmaz.
- 3) Bileşen kusursuzdur.

İlk durumun olması olasılığı şöyle bulunur: İstasyon için kesirli kusurlu oranı q_i ile; bir kusurun, istasyonun durmasına neden olma olasılığı m_i çarpılır. Bir montaj makinası için

$$P_i = m_i \cdot q_i \quad (3.1)$$

Bu durumda yâni bileşenin kusurlu olduğu ve bir istasyon sıkışmasına neden olduğu durumda, kusurlu bileşenin kusurunun giderilmesine ve bir sonrakinin beslenmesine ve montelenmesine izin verilecektir. Bu bir sonraki bileşenin kusurlu olmadığını varsayıyoruz. İki ardıl kusurun olasılığı çok küçük olup q^2 'ye eşittir.

Bileşenin kusurlu olup, bir istasyon sıkışmasına neden olmadığı ikinci olası durum

$$(1 - m_i) \cdot q_i$$

olasılığıyla verilir. Bu sonuçla, kötü bir parça, varolan montaja, belki tüm montaj kusurlularının iade edilmesiyle katılır.

Üçüncü olasılık açıkça engok istenendir.

Bileşenin kusursuz olması olasılığı, iyi parçaların oranına eşittir:

$$1 - q_i$$

Bu üç olası durumun olasılıkları toplamı 1'e eşit olmalıdır:

$$m_i q_i + (1 - m_i) q_i + (1 - q_i) = 1 \quad (3.2)$$

$m_i = m$ ve $q_i = q$ olduğu özel durum için (3.2) eşitliği şu şekle indirgenir:

$$mq + (1 - m)q + (1 - q) = 1 \quad (3.3)$$

n istasyonlu bir montaj makinası üzerinde oluşabilecek olası sonuçların tüm düzenini saptamak için, (3.2) eşitliğindeki terimleri, tüm n istasyon için çarpabiliriz :

$$\prod_{i=1}^n [m_i q_i + (1-m_i) q_i + (1-q_i)] = 1 \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.3)'ün özel durumunda olduğu gibi, tüm m_i 'ler ve tüm q_i 'ler kendi aralarında birbirine eşit olsun. Eşitlik (3.4)'e bu durumu uygulayalım :

$$[mq + (1-m)q + (1-q)]^n = 1 \quad (3.5)$$

(3.4) veya (3.5) eşitliklerinin genişlemesi, montaj makinası üzerinde oluşabilecek olayların olası tüm sıralamaları için olasılıkları açıklamaktadır. Ne yazık ki, (3.4) eşitliğinin genişliği içindeki terimlerin sayısı, ikiden daha çok istasyonlu bir makina için çok büyük olmaktadır. İstasyon sayısı n olduğunda terimlerin tam sayısı 3^n olmaktadır. Bir sekiz istasyonlu hat için, terim sayısı 6561 olup her terim, montaj makinası üzerindeki olası 6561 sıralamanın her birinin olasılığını simgelemektedir.

3.8.5.2. Performans Ölçüleri

(3.2) ve (3.4) eşitlikleriyle sağlanan montaj makinası etkinliği kavramının kullanımı için her terimi hesaplama zorunluğunda değiliz. Bilmek isteyebileceğimiz performans karakteristiklerinden biri; bir veya daha çok kusurlu bileşen içeren montaj oranıdır. Eşitlik (3.2)'deki üç terimden ikisi, verilmiş bir istasyondaki iyi bileşenlere ek olarak sonuçlanan olayları simgeler. İlk terim $m_i q_i$ 'dir. Bu hat duruşunu gösterir ama aynı zamanda, montaja hiçbir kusurlu bileşenin eklenmediği anlamına gelir. Diğer terim $(1-q_i)$ 'dir. Bu da istasyona iyi bir bileşenin eklendiği anlamına gelir. Bu iki terimin toplamı, bir kusurlu bileşenin i istasyonuna eklenmeme olasılığını simgeler. Bu olasılıkların tüm istasyonlar için çarpımıyla, hattın çıkışındaki kabul edilebilir üretim oranını elde ederiz :

$$P_{ap} = \prod_{i=1}^n (1 - q_i + m_i q_i) \quad (3.6)$$

Eğer bu, kusurlu bileşeni olmayan montaj oranı ise, enazından bir kusurlu içeren montaj oranı şöyle verilir :

$$P_{ap} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i + m_i q_i) \quad (3.7)$$

Eşit m_i ve eşit q_i durumunda, bu iki eşitlik, sırasıyla şu duruma gelir :

$$P_{ap} = (1 - q + mq)^n \quad (3.8)$$

$$P_{ap} = 1 - (1 - q + mq)^n \quad (3.9)$$

Eşitlik (3.6) veya (3.8) ile sağlanan oranlar, montaj makinasının verimini verir. Makina performansının önemli bir ölçüsüdür. Eşitlik (3.7) veya (3.9) ile verilen bir veya daha çok kusurlu bileşeni içeren montaj oranları, makina etkinliğinin bir sorumluluğu olarak düşünülmelidir. Bu montajlar ya bir denetleme sürecinden ve olası onarımdan geçerek tanılanmalıdır (Teşhis edilmelidir) veya iyi montajlarla karıştırılmalıdır. Montajlar görev sırasında yerleştirildiğinde bu son olasılık, istenmeyen sıralamalara neden olabilecektir.

Bir montaj makinası için performans ölçüleri olarak iyi ve kötü montajların oranlarına ek olarak; makinanın üretim oranı, gecikme ve verim oranları ve üretilen ürün başına ortalama mâliyet ile de ilgileniyoruz.

Üretim oranını hesaplamak için öncelikle çevrim başına oluşan gecikme sıklığını (F) saptamalıyız. Eğer istasyon sıklığı, bir gecikme oluşumuna neden olursa, F, çevrim başına istasyon sıklıklarının umulan sayısının alınmasıyla bulunabilir. Eşitlik (3.1)'in kullanımıyla bu değer şöyle verilir.

$$F = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n m_i q_i \quad (3.10)$$

Eğer tüm P_i 'ler ve tüm m_i 'ler eşitse, eşitlik (3.10) şu şekle ulaşır :

$$F = nmq \quad (3.11)$$

Montaj başına ortalama üretim süresi bu nedenle şöyle verilir:

$$T_p = C + \sum_{i=1}^n m_i q_i T_d \quad (3.12)$$

C : İdeal çevrim süresi

T_d : Oluşum başına ortalama gecikme

Eşit m_i ve eşit q_i 'ler durumu için

$$T_p = C + nmq T_d \quad (3.13)$$

olur. Montaj başına ortalama üretim süresinden üretim oranına geçebiliriz :

$$R_p = \frac{1}{T_p}$$

Bununla birlikte, tüm istasyonlar için $m_i = 1$ olmadıkça, montaj üretiminin bir veya daha çok kusurlu bileşeni olan bazı üniteleri içereceği anımsanmalıdır. Buna göre, hiç kusur içermeyen montaj çıktısı oranını vermek üzere, üretim oranı doğrulanmalıdır. Bu kabul edilebilir ürün üretim oranı (R_{ap}) olarak adlandırılmaktadır.

$$R_{ap} = \frac{\sum_{i=1}^n (1 - q_i + m_i q_i)}{T_p} = \frac{P_{ap}}{T_p} \quad (3.14)$$

(3.6) eşitliğinden çok, (3.8) eşitliğinin kullanımıyla, m_i 'ler ve q_i 'ler birbirine eşit olduğu zaman, üretim oranının yerini tutan değeri elde edebiliriz :

$$R_{ap} = \frac{(1-q+mq)^n}{T_p} \quad (3.15)$$

Şimdi hat etkinliğini hesaplayalım:

$$E = \frac{C}{T_p} = \frac{C}{C+nmqT_d}$$

Gecikme oranı D, şöyle hesaplanır (Tüm m_i ve q_i 'lerin eşit olduğu düşünülerek) :

$$D = \frac{nmqT_d}{T_p} = \frac{nmqT_d}{C + nmqT_d}$$

İyi montajların verimi için hiçbir girişim, hat etkinliği E ve ya gecikme oranı D'yi doğrulamak amacıyla yapılmamıştır. E ve D'nin hesaplanmasında, üretilen ürünlerin kalitesi ve montaj makinesi etkinliği, ayrı ayrı sorunlardır.

$$C_{pc} = \frac{C_m + C_1 T_p + C_t}{(1-q+mq)^n} = \frac{C_m + C_1 T_p + C_t}{P_{ap}} \quad (3.16)$$

C_m ; ana parça ve montaj sistemine eklenen tüm bileşenlerin mâliyetlerini içerir. Eşitlik (3.16)'daki payda P_{ap} , montaj mâliyetini azaltmak eğilimindedir. Bu nedenle; tek tek bileşenlerin kalitesi kötüleştikçe, üretilen montaj başına ortalama mâliyetinde bir artış olacaktır. C_1 ; hattı işlemek için dakika başına mâliyettir. C_t ; iskarta çıkartılabilir bir âletin mâliyetidir. C_{pc} ise iş parçası başına mâliyettir.

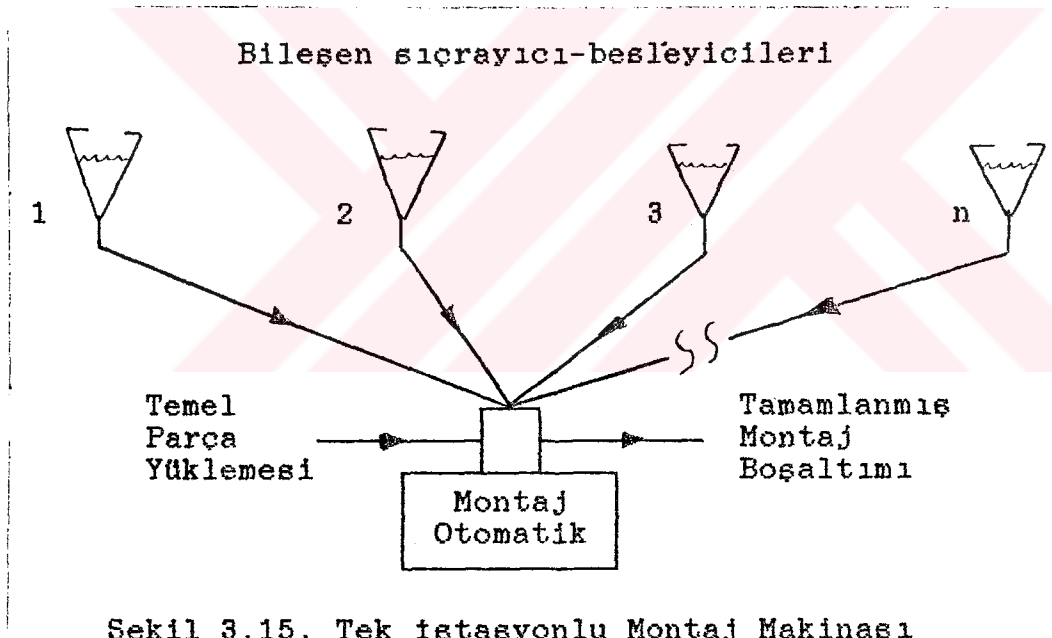
3.8.6. Tek İstasyonlu Bir Montaj Makinasının Analizi

Tek istasyonlu montaj makinesi, Şekil 3.15'deki gibi gösterilebilir. Montaj işinin yapılabilmesi için istasyona doğru beslenen

birçok bileşenli bir tek iş kafası varsayıyoruz. Makina üzerinde edimlenen ayrı montaj öğelerinin sayısını n ile gösterelim. Her öğe, bir öğe süresine (T_{ei}) sahip olacaktır: ($i= 1, 2, \dots, n$). Bir tek istasyonlu montaj makinası için ideal çevrim süresi, makina üzerinde edimlenen montaj etkinliklerinin ayrı ayrı öğe sürelerinin toplamı $[+]$ ana parçayı ilgili konuma yüklemek ve tamamlanmış montajın yükünü boşaltmak için işleme süresidir. Biz bu ideal çevrim süresini şöyle ifade edebiliriz:

$$C = T_h + \sum_{i=1}^n T_{ei} \quad (3.17)$$

Burada T_h , işleme süresidir.



Şekil 3.15. Tek istasyonlu Montaj Makinası

Birçok montaj öğesi; varolan altmontaja ek olarak bir bileşeni içerir. Bizim çok istasyonlu montaj sistemlerinin analizinde olduğu gibi, her bileşen tipi, belirli bir kesirli kusur oranı q_i 'ye sahiptir ve bir kusurlu bileşenin, iş istasyonunu sıkıştıрма olasılığı (m_i) vardır. Bir sıkışıklık oluşturduğunda montaj makinası durur ve sıkışıklığı giderip, sistemi yeniden başlatmak için, ortalama T_d 'lik bir süre geçer. Makina çevrim süresi içinde, sıkışıklıktan kaynaklanan gecikmenin dahil edilmesi sonucu:

$$T_p = C + \sum_{i=1}^n q_i m_i T_d \quad (3.18)$$

olur.

Bir bileşene ek olarak hiçbir şey içermeyen öğeler için $q_i=0$ ' dir. Bu durum, örneğin bir bağlantı etkinliği, önceki öğe sırasında eklenen bir bileşen üzerinde edimlendiği zaman oluşabilir.

Eklenecek tüm bileşenlerin eşit q ve eşit m değerleri aldığı özel durum için eşitlik (3.18.), şu duruma gelir: .

$$T_p = C + nmq T_d$$

Verimin (Hiç kusurlu bileşen içermeyen montaj oranı) saptanması, bir tek istasyonlu montaj makinası için, çok istasyonlu sistemlerde olduğu gibidir:

$$E = \frac{C}{T_p}$$

ÖRNEK 3.2.

Bir tek istasyonlu montaj makinası, 4 bileşeni, bir temel parça üzerine montelemek için, 5 iş öğesini edimlemektedir. Bu öğelerin her birinin kesirli kusur oranı ve eklenen bileşenlerin her biri için sıkışma olasılığı, Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Örnek 2.2. için Gerekli Bilgiler

Öge	Süre (s)	q	m
1	4	0.02	1.0
2	3	0.01	0.6
3	4	0.015	0.8
4	7	0.02	1.0
5	5	0	---

Ana parçayı yüklemek için gerekli süre 3 sn.dir ve tamamlanmış montajın yükünü boşaltmak için gerekli süre 4 sn.dir. $T_h=7$ sn.dir. Bir sıkışıklık olduğunda, bu sıkışıklığı giderip, makinayı yeniden çalıştırmak için gerekli süre, ortalama 1.5 dk.'dır. Montaj makinasının üretim oranını, verimini ve verim etkinliğini saptayınız.

ÇÖZÜM 3.2.

Montaj makinasının ideal çevrim süresi:

$$C = 7 + (4 + 3 + 4 + 7 + 5) = 30 \text{ s.} = 0.5 \text{ dk.}$$

Sıkışıklıklardan doğan ortalama gecikmenin de eklenmesiyle:

$$\begin{aligned} T_p &= 0.5 + (0.02 \times 1.0 + 0.01 \times 0.06 + 0.015 \times 0.8 + 0.02 \times 1.0) \cdot (1.5) \\ &= 0.5 + 0.087 \\ &= 0.587 \text{ dk.} \end{aligned}$$

olur.

Üretim oranı

$$R_p = \frac{60}{0.587} = 102.2 \text{ montaj/saat,}$$

İyi bir ürünün verimi

$$\begin{aligned} P_{ap} &= (1.0)(0.996)(0.997)(1.0) \\ &= 0.993 \end{aligned}$$

Verimlilik etkinliği

$$E = \frac{0.5}{0.587} = 0.8518 = 85.18 \% \text{ olur.}$$

Analizimize göre; montaj makinası çevrimindeki öğelerin sayısının artması, yüksek çevrim süresi içinde olacaktır. Bu nedenle, makinanın üretim oranı azalacaktır. Buna bağlı olarak, tek istasyon montaj makinasının uygulamaları genellikle, düşük hacimli ve düşük üretim oranlı durumlar olarak sınırlandırılmıştır. Yüksek üretim oranları için genellikle, çok istasyonlu montaj sistemleri gereklidir.

3.9. MONTAJ HATTI Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

3.9.1. Yönteme Göre Sınıflandırma

Montaj hatlarının dengelenmesinde kullanılan üç tür yöntem vardır. Bunlar; sezgisel yöntemler, analitik yöntemler ve benzetim teknikleridir.

3.9.1.1. Sezgisel (Bulgusal) Yöntemler

Bu yöntemler, belirli bir prosedürün izlenmesi ve belirli kabul veya kabullerin yapılması yoluyla, montaj hatlarının dengelenmesi konusunda yaklaşık çözüm verirler.

Şimdiye kadar geliştirilen, oldukça çok sayıda sezgisel yöntem vardır. Bu yöntemlerin çoğu, çevrim süresini sabit kabul ederek istasyon sayısını ve buna bağlı olarak dengeleme kaybını enazlamaya çalışır. Birkaç tanesi de istasyon sayısını sabit kabul ederek, uygun çevrim süresini saptamaya çalışır.

Bu yöntemlerin en çok kullanılanları; 1956'da J.R. Jackson tarafından geliştirilen "Aşamalı Sıralamayla Çözüm", 1961'de W.P. Helgeson ve D.P. Birnie tarafından geliştirilen "Derece Konumlu Ağırlık Tekniği", 1963'de A. Arcus tarafından geliştirilen "Comsoal Tekniği" ve 1961'de M.D. Kilbridge ve L. Wester tarafından geliştirilen "Sezgisel Hat Dengeleme Yöntemi" olup, bu yöntemlere gün geçtikçe yenileri eklenmektedir.

Sezgisel yöntemler, birbirlerinden çeşitli bakımlardan ayrılırlar. Örneğin Jackson, Kilbridge-Wester ve Salveson'un geliştirdiği yöntemlerde sezgiler ön plâna çıkarlar. Oysa diğer yöntemler, belirli prosedürleri uygulamayı gerektirir. Yine bazı yöntemler işlem sürelerini kullanırken, bazıları öncelik sıralarını gözönüne alarak ileriki işlem sürelerini de kullanırlar.

3.9.1.2. Analitik Yöntemler

"Matematiksel programlama yöntemleri" olarak da anılan bu yöntemler, enuygun sonucu verirler.

Bu tip yöntemlerin enönemli örneği, 1960'da E.H. Bowman tarafından geliştirilen, "Doğrusal Programlamayla Çözüm" olup, yeni modeller geliştirilmektedir. Bu yöntemlerde kısıt ve amaç denklemleri bulunur, özellikle işlem sayılarının arttığı durumlarda, çözüm bulma zorlaşmaktadır. Bu nedenle montaj hattı dengeleme problemlerine bulgusal yöntemlerle yaklaşılması daha yaygın bir durumdur.

3.9.1.3. Benzetim Teknikleri

Benzetim (Simülasyon) tekniği, yöneticinin bilgisayar kullanımı yoluyla karar vermesini kolaylaştırır. Enyaygın tanımı şu şekilde verilebilir :

Herhangi bir sistemin işleyişini anlamak veya bu sistemin işleyişi ile ilgili değişik stratejileri değerlendirmek için sistemin bilgisayar modelinin kurulması ve bu model ile deneyler yapılmasına "benzetim tekniği" denir.

Bu tekniğin uygulama alanları çok geniştir. Ekonomi, pazarlama, işletme, eğitim, politika, sosyal bilimler, davranış bilimleri, uluslararası ilişkiler, taşımacılık, enerji vb. konularda yapılan araştırmalarda benzetim tekniğinin uygulanması ile ilgili çok sayıda bildiri, kitap ve akademik tezler vardır. Bu tekniğin uygulanmasındaki enönemli gerekçeler şöyle sıralanabilir :

1) Gerçek yaşamda, herhangi bir sistemi veya işlem dizisini gözleme ya olanaksız veya çok masraflı olabilir.

2) Gözlemlenen sistem o kadar karmaşık olabilir ki, bu sistemi matematiksel denklemlerle tanımlama ve sistem işleyişi ile ilgili tahmine yardımcı analitik çözümleri elde etme olanaksız olabilir.

3) İrdelenen sistemin matematiksel modeli kurulabilse bile, modele çözüm getirmede gereken analitik teknikler yetersiz olabilir.

4) Sistemi tanımlayan matematik modellerin doğrulanmasına yönelik deneylerin yapılması ya olanaksız veya çok masraflı olabilir.

Bu üstünlüklerin yanı sıra, her teknikte olduğu gibi benzetim tekniğinin de bazı dezavantajları vardır. Bunlardan en önemlileri şunlardır :

1) Benzetim modellerinin kullanımı bilgisayar gerektirmektedir. Bilgisayar bulunmayan yerlerde bu modellerin kullanımı -çok küçük modeller hariç- olanaksızdır.

2) Modelin tasarımı ve kullanımı, zaman alıcı ve masraflıdır.

3) Her benzetim modeli diğerinden farklıdır. Bunun sonucu olarak model doğrulaması, çok dikkat isteyen ve zor bir iş olarak belirir.

4) Benzetim modelleriyle eniyi sonuçları bulmak çok zordur. Bu ise, benzetim modellerinin, çözülen modellerden çok, deneysel modeller olmalarından kaynaklanır. Diğer bir deyişle benzetim tekniği, seçeneklerin değerlendirilmesinde deha yaygın olarak kullanılır [Acar, Estaş (1986)].

Montaj hatlarında işlemler (İstasyonlar) arasındaki stok düzeylerinin belirlenmesi için çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Genelde, bu modellerin uygulamaya konulması, oldukça zordur. Çünkü, akış hatları dinamik sistemler olup, bunların gözlemlenmesi, karmaşık yapılarına uygun bir modelin kurulabilmesi ve bu modelin denenmesi ya çok masraflı veya -bazı durumlarda- olanaksız olabilmektedir.

Son yıllarda, benzetim tekniği, bu tür hatlarda ara stok düzeylerinin belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Matematiksel yöntemlerle eniyi çözüm bulunmasına karşın, bu tür modelleri gerçek sisteme uyarlayabilmek için o kadar çok varsayım ve

olasılık hesapları yapılmaktadır ki, bu nedenle benzetim tekniğinin çeşitli seçenekleri deneyerek bulunduğu yaklaşık çözüm, genellikle bu enuygun çözümden çok daha anlamlı ve kullanılabilir olmaktadır.

İleride de görüleceği gibi benzetim tekniği, paralel hatların kullanılmasında da yararlanılan bir tekniktir.

3.9.2. Probleme Göre Sınıflandırma

Montaj hattı dengeleme problemi, çeşitli tiplerde olabilir:

1- Amaç Sayısı : Tek veya çok amaçlı olabilir. Amaçlar; çevrim süresini enuygunlaştırmak, istasyon sayısını enazlamak, dengeleme maliyetini enküçükmek vb. olabilir.

2- İşlem Sürelerinin Karakteri : İşlem süreleri sabit (Deterministik) veya değişken (Stokastik) olarak düşünülebilir. Uygulamada değişken sürelerle karşılaşılmasına rağmen, klasik hat dengeleme yöntemlerinin çoğu sabit iş süresi kabulü ile geliştirilmiştir.

3- Ürün/Model Sayısı : Akış hatlarının tiplerine bağlı olarak montaj hatlarında ya bir ürün, ya bir ürünün birden çok modeli veya birden çok ürün üretilebilir.

4- Paralel Tezgâh Durumu : Montaj hatlarında paralel tezgâh kullanımı durumunda, işlerin özgülendiği bir istasyon için istasyon süresi, çevrim süresinden büyüktür. İstasyon süresinin, çevrim süresinin m katı olması durumunda, aynı işleri içeren m adet istasyon, paralel olarak düzenlenir. Bu durum, denge kaybına olumlu etkide bulunur.

5- İstasyondaki Adam Sayısı : Bir istasyona bir veya birden çok işçi özgülenebilir. Bir işçi özgülennesinin işlerin zamanında bitirilememesi, birden çok işçi özgülennesinin ise fazla masraflı olabilmesi gibi dezavantajlar vardır.

6- Hattın Durumu : Montaj hattı sabit veya hareketli olabilir.

7- İstasyon Durumu : İşlemler; insanlı (Manual), otomatik veya karma şekilde yapılabilir.

8- Kaynak Kısıtı : Malzeme, işgücü, makina, üretim alanı vb. kaynaklar kısıtlı olabilir.

9- Malzeme İkâmesi : İşlemler sırasında bir malzeme, bir başkasının yokluğu durumunda, onun yerine kullanılabilir.

10- Kusur Oranlarının Verilmesi Durumu : Yarıürün istasyonlarda işlenirken kusurlu parçalar ayıklanır. Bu durumdaki parçaların oranının, sınırlar içerisinde kalması istenebilir.

11- Özel Problemler : Öğrenme, mâliyet katılımı, özgülenen işlerin istasyon içinde sıralanması vb. gibi özel durumlar istenir.

BÖLÜM 4 MONTAJ HATTI Dengelemede Klasik Yöntemler

4.1. Çevrim Süresi Bilinip, İstasyon Sayısının Saptanması Durumunda Yöntemler

4.1.1. Jackson Yöntemi (Aşamalı Sıralamayla Çözüm)[Jackson (1956)]

Bu yöntemin, hat dengelemesi problemine getirdiği yaklaşım, çözüm ilerledikçe, küçük değerli seçeneklerin sistemli bir şekilde yokedilmesi temeline dayanır.

Yöntemin temel ilkesi; çevrim süresini aşmamak, öncelik koşullarına uymak ve tüm işlemlerin olası tüm kombinasyonlarını aşamalı olarak belirlemektir. Daha sonra, çözümü kolaylaştırmak için bazı özleştirmeler (Sâdeleştirmeler) yapılabilir :

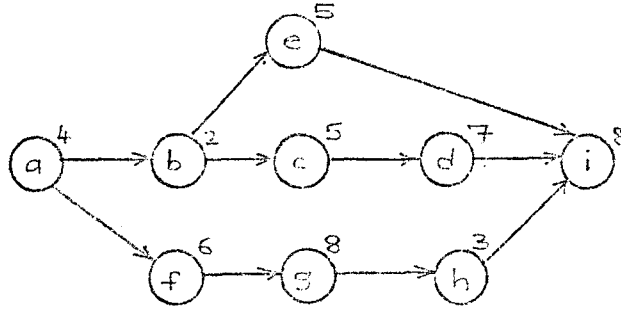
1- Aynı işlemleri, ayrı diziliş sırasıyla içeren birden çok küme varsa, bunlardan biri tutulup, diğerleri atılır.

2- Çok öğeli kümeler arasında yalnız birer öğeleri ayrı olanlar varsa ve bu ayrı öğeler, hemen ilerideki aynı komşu noktaya bağlanıyorsa, bu ayrı öğelerden, daha küçük sürelisini içeren küme atılır.

3- Aynı aşamada bir küme, diğer bir kümenin içerdiği tüm işleri ve bunun yanında, daha çok sayıda işlemi içeriyorsa, az sayıda işlemli küme atılır.

Bu şekilde işlemler sürdürülür. Aşamalar ilerledikçe, kümelerin öğe sayıları artar. Bir aşamada, tüm işlemleri içeren ilk kombinasyona rastlandığında, eniyi çözüme ulaşılmış demektir. Ama bu aşamada, birden çok eniyi çözüm bulunabilir.

Bu yöntemin bir uygulaması, Örnek 4.1'de yapılmıştır.



Şekil 4.1. Örnek 4.1. ile İlgili Öncelik Diyagramı

Şekil 4.1.'de öncelik diyagramı verilen şebeke için çevrim süresi $C = 10$ dk.'dır.

Bu sistem için Jackson Yöntemi'ne göre, hat dengesini enuygunlaştıran iş ögesi özgüllemelerini yapalım.

Öncelikle kullanmamız gereken enaz istasyon sayısını bulmamız gereklidir. Bunun için de k_{enk} ve k_{olasi} adını verdiğimiz iki değeri bulmamız gerekmektedir.

$$k_{enk} \text{ (Enküçük istasyon sayısı)} = \frac{\sum t_i}{C} = \frac{48}{10} = 4,8 \approx 5$$

$$k_{olasi} \text{ (Olasi istasyon sayısı)} = \left(\frac{C}{2} \right) \text{ 'den daha büyük işlem süreli iş sayısı} \\ = 4$$

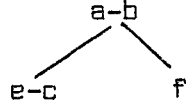
$$k_{enez} \text{ (Enaz istasyon sayısı)} = \text{Enb} (k_{enk}, k_{olasi}) \\ = \text{Enb} (5, 4) \\ = 5$$

Şimdi belirtilen aşamalardan geçerek sonucu ulaşalım :

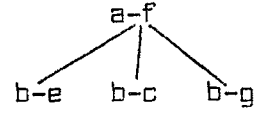
Aşama

Olası Kümeler

1

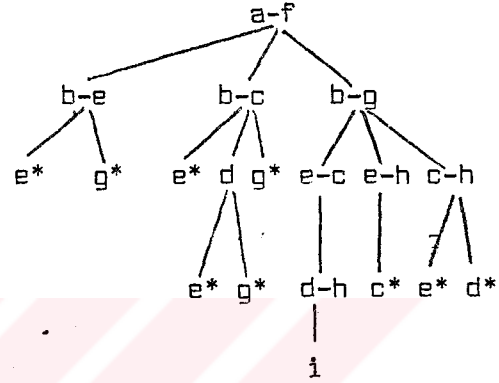
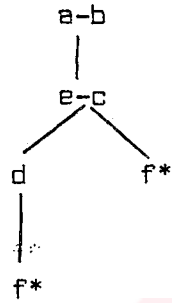


2



(af)(bc), (ab)(f)'yi içeriyor. Bu nedenle (ab)(f) çözümden çıkarılır. Geri kalan istasyonlarla yöntem sürdürülür.

3



4

5

* ile işaretlenmiş olan durumlar, aynı aşamadaki diğer bir seçenek tarafından içerildiği için çözümden çıkarılmaktadır.

Sonuç olarak (a-f)(b-g)(e-c)(d-h)(i); tek ve enuygun çözümdür.

istasyon No	1	2	3	4	5
istasyon	a-f	b-g	c-e	d-h	i
Boş süreler	0	0	0	0	2
istasyon süresi	10	10	10	10	8

Şekil 4.2. Örnek 4.1.'e ilişkin Enuygun Çözüm

Bu özgüllemeler sonrasında denge kaybını bulalım:

$$D(\%) = \frac{nC - \sum t}{nC} = \frac{5 \cdot 10 - 48}{5 \cdot 10} = \%4$$

Görüldüğü gibi, enaz 5 istasyon kısıtına uyulmuş ve oldukça küçük bir denge kaybını başaran bir dengeleme yapılmıştır.

4.1.2. Helgeson-Birnie Yöntemi (Derece Konumlu Ağırlık Tekniği)

[Helgeson, Birnie (1967)]

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 ondan sonra gelen işlemleri yapmak için gerekli sürelerin toplamıdır),

2) Azalan konum ağırlıklarına göre iş ögelerinin sıralanması,

3) İş ögelerinin iş istasyonlarına özgülenmesi (Bu özgüleme işlemi sırasında, enyüksek konum ağırlıklı iş ögelerine öncelik verilir):

a) Enbüyük konum ağırlıklı iş ögesini ilk istasyona özgüle.

b) İş istasyonunun kullanılmamış süresini; çevrim süresinden, özgülenmiş süreler toplamını çıkararak bul.

c) Kalan iş ögeleri içinde enbüyük konum ağırlıklısını seç ve aşağıdaki kontrollardan sonra, ögeyi istasyona özgülemeye çalış:

1- Ayrılmış işler listesini kontrol et. Eğer öncelenmeyen iş ögeleri özgülenmişse öncelik koşulu bozulmayacaktır. Bu durumda adım c-2'ye git, aksi durumda adım d'ye git.

2- İş ögelerinin işlem süresini, istasyonun kullanılmamış süresi ile karşılaştır. Eğer işlem süresi, özgülenmemiş süreden küçükse, işi istasyona özgüle ve kullanılmamış istasyon süresini yeniden hesapla ve adım c'ye dön. Eğer işlem süresi, kullanılmamış süreden büyük ise d'ye geç.

d) Seçim, kontrol ve olası ise özgülemeyi, aşağıdaki iki koşuldan biri sağlanıncaya kadar sürdür:

1- Tüm iş ögeleri özgülenmişse,

2- Hem öncelik koşullarını, hem de özgülenmemiş süre koşullarını sağlayan iş ögesi kalmamışsa.

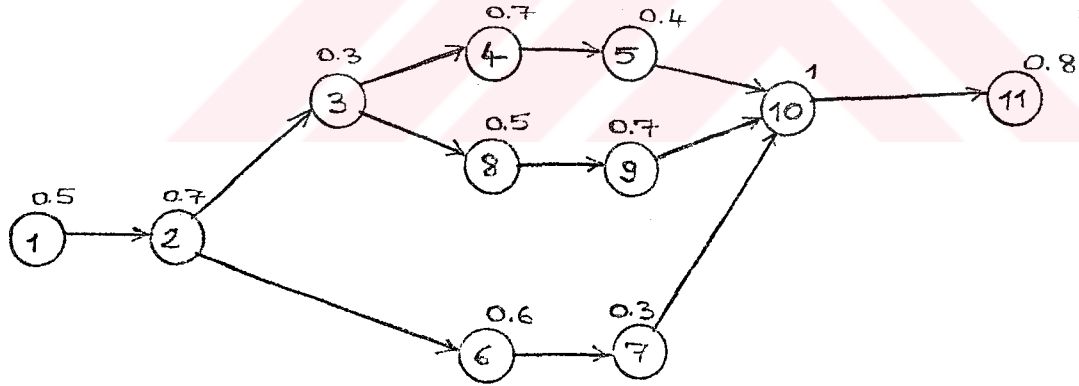
e) Özgülenmemiş enyüksek ağırlıklı iş ögesini ikinci istasyona özgüleyip, yukarıdaki dört adımı aynen uygula.

f) İş ögelerini istasyonlara özgüleme işlemini, özgülenmemiş iş ögesi kalmayıncaya kadar sürdür.

Bu anda, montaj hattını dengeleme problemi çözümlenmiştir.

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 yinelenmesiyle elde edilen seçenek çözüm, ilk çözümle karşılaştırılarak, iki çözümden, daha yakın olanı kullanılır.

ÖRNEK 4.2



Şekil 4.3. Örnek 4.2.'ye İlişkin Öncelik Diyagramı

Şekil 4.3.'de öncelik diyagramı verilen montaj hattının çevrim süresi $C = 1$ dk/ürün'dür.

Azalan sıraya göre konum ağırlıklarını bulduğumuzda iş sırası şöyle olmaktadır: 1-2-3-8-4-6-9-5-7-10-11.

Tablo 4.1. iş Öğelerine İlişkin Konum Ağırlıklarının Ölçümü

Öge No	Öge Süresi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Konum Ağırlığı
1	0.5		1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	6.5
2	0.7			1	+	+	1	+	+	+	+	+	6.0
3	0.3				1	+			1	+	+	+	4.4
4	0.7					1					+	+	2.9
5	0.4										1	+	2.2
6	0.6							1			+	+	2.7
7	0.3										1	+	2.1
8	0.5									1	+	+	3.0
9	0.7										1	+	2.5
10	1.0											1	1.8
11	0.8												0.8

Tablo 4.2. iş Öğelerinin İstasyonlara Özgülenmesi

İstasyon	Öge No	Konum Ağırlığı	Bir Önceki İşlem(ler)	İşlem Süresi	Birikimli İşlem Süresi (x)	Boş Süre (C-x)
1	1	6.5	-	0.5	0.5	0.5
2	2 3	6.0 4.4	1 2	0.7 0.3	0.7 1.0	0.3 -
3	8	3.0	3	0.5	0.5	0.5
4	4	2.9	3	0.7	0.7	0.3
5	6 5	2.7 2.2	2 4	0.6 0.4	0.6 1.0	0.4 -
6	9 7	2.5 2.1	8 6	0.7 0.3	0.7 1.0	0.3 -
7	10	1.8	5-7-9	1.0	1.0	-
8	11	0.8	10	0.8	0.8	0.2

$$\text{Denge Kaybı, } D(\%) = \frac{nC - \sum t}{nC} = \frac{8.1 - 6,5}{8.1} = \% 18,75$$

olarak bulunur.

4.1.3. Hoffman Yöntemi (Öncelik Diyagramı İle Çözüm) [Hoffman (1963)]

Ana çözüm aracı olarak öncelik diyagramının kullanıldığı ve genellikle enuygun çözümü veren bir hat dengeleme yöntemidir.

Yöntemin uygulanabilmesi için önce; i öğesinin j öğesini öncelimesi durumunda, matrisin i. satır ve j.sütununun kesiştiği yere 1 değeri, aksi durumda tüm geri kalanlara 0 değeri verilerek, öncelik matrisi geliştirilir. Öncelik öğesinin, olası tüm iş öğesi permütasyonlarını üretmekte kullanılabilmesi için, matrisin her sütunu kendi aralarında toplanarak, "kod numaraları" adı verilen bir satır matris elde edilir. İlk başta elde edilen kod numarası dizisinin (satır matrisinin), iş öğesi sayısı kadar öğesi vardır. Bunlardan enaz bir tanesi sıfırdır. Bundan sonra, aşağıdaki yaklaşımın kullanılmasıyla çözüm elde edilir:

- 1) Kod numaraları dizisi içinde soldan sağa doğru sıfır (0) olan ilk öğeyi ara.
- 2) İlk sıfırın bulunduğu noktaya karşı gelen iş öğesi numarasını seç.
- 3) Bu iş öğesinin işlem süresini, kalan istasyon süresinden çıkar.
- 4) Sonuç ≥ 0 ise adım-5'e, sonuç < 0 ise adım-6'ya git.
- 5) İş öğesine öncelik matrisinden karşı gelen satırı ve sütunu, bu matristen çıkar ve elde edilen satır matrisini, yeni kod numarası dizisi olarak kullan.
- 6) 4. adımda bulunan sonuç < 0 ise özgülleme yapma, aksi durumda bu işi o istasyona özgül. Adım-1'e geri dön ve yeni bir iş öğesi seç. Tüm iş öğeleri gözden geçirilinceye kadar adım 1-6 arasını yinele ve adım-7'ye git.

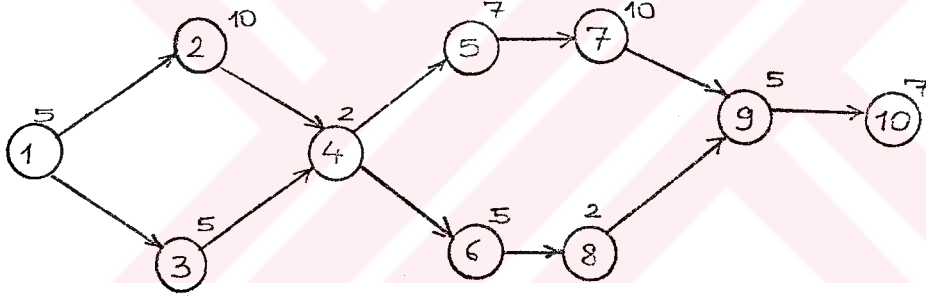
7) Kalan istasyon süresi sıfıra eşitse adım-8'e, aksi durumda adım-9'a git.

8) İlgili istasyona özgülenme tamamlanmıştır. Bir sonraki istasyon işlemleri için adım-1'e git.

9) Kod numarası dizisi içinde sıfır değerine sahip olan öğe veya öğelerde, kalan istasyon süresinden küçük veya eşit işlem süresine sahip öğe yoksa, yeni istasyon özgülemeleri için adım-1'e git. Varsa önceki istasyona özgüleme yapmayı sürdürmek amacıyla adım-1'e dön.

Bu yaklaşım, tüm iş öğelerinin istasyonlara özgülenmesi bitene kadar sürdürülür.

ÖRNEK 4.3.



Şekil 4.4. Örnek 4.3'e ilişkin Öncelik Diyagramı

Şekil 4.4.'te verilen montaj hattına ilişkin çevrim süresi, $C=10$ dk/ürün'dür.

Bu hat dengelemesini yaparken önce, öncelik matrisini oluşturuyoruz.

Kod numarası dizisi içinde 0 değerine sahip tek iş öğesi var, o da 1 no.lu iş öğesi. Bu öğeyi 1.istasyona özgülüyoruz. Kalan istasyon süresi $C-t_1 = 10-5=5$ oldu. Şimdi birinci satır ve sütunu öncelik matrisinden çıkartıp, yeni kod numarası dizisini elde ediyoruz.

Tablo 4.3. Öncelik Matrisinin Oluşturulması

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		1	1							
2				1						
3				1						
4					1	1				
5							1			
6								1		
7									1	
8									1	
9										1
10										

Kod No. 0 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1
Dizisi

Tablo 4.4. İkinci Öncelik Matrisi

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2			1						
3			1						
4				1	1				
5						1			
6							1		
7								1	
8								1	
9									1
10									

Kod No. 0 0 2 1 1 1 1 1 2 1
Dizisi

Kod numarası dizisi içinde soldan sağa doğru ilk sıfır değerine 2 no.lu iş öğesinde rastlıyoruz. Bu öğenin süresi, 1. istasyonun kalan süresinden daha büyük olduğundan dolayı özgüleme yapamıyoruz. Sıra, kod numarası dizisi içinde, sıfır değerli bir sonraki öğeyi bulmada. Bu öğe, 3 no.lu öğedir. Süresi 5 olan 3 no.lu öğe, kalan istasyon süresine eşit süreye sahip olduğundan, 1. istasyona özgülenebilir. Kalan istasyon süresi bu durumda $5 - t_3 = 5 - 5 = 0$ olduğundan, 1. istasyona özgülenme tamamlanmıştır. Şimdi sıra ikinci istasyon özgülemelerindedir. Öncelikle 3 no.lu satır ve sütun silindikten sonra elde edilen yeni öncelik matrisini oluşturalım:

Tablo 4.5. Üçüncü Öncelik Matrisi

	2	4	5	6	7	8	9	10
2		1						
4			1	1				
5					1			
6						1		
7							1	
8							1	
9								1
10								

Kod No. 0 1 1 1 1 1 2 1
Dizisi

Yeni kod numarası dizisinde sıfır değerli yalnızca 2 no.lu öğe var. Bu öğeyi, 2. istasyonun ilk işi olarak özgülüyoruz. Kalan istasyon süresi $10 - t_2 = 10 - 10 = 0$ olduğundan, ikinci istasyonun da özgülenmesi bitmiştir. Sıra üçüncü istasyondadır.

İşlemler aynı şekilde sürdürülürse, Tablo 4.6'daki sonuç elde edilir.

Tablo 4.6. İstasyonlar ve Özgülenen İşler

İstasyon	İş Ögesi	Süre	Birikimli Süre	Boş Süre
1	1 3	5 5	5 10	5 0
2	2	10	10	0
3	4 5	2 7	2 9	8 1
4	6 8	5 2	5 7	5 3
5	7	10	10	0
6	9	5	5	5
7	10	7	7	3

Bu durumda hattın denge kaybı

$$D(\%) = \frac{nC - \sum t}{nC} = \frac{7 \cdot 10 - 58}{7 \cdot 10} = \% 17,14$$

olur.

4.1.4. İki Aşamalı Moddie - Young Dengeleme Yöntemi [Moddie, Young (1964)]

Moddie ve Young, işlem sürelerinin hem sabit, hem de değişken olduğu durumlar için dengeleme yapma olanağı sağlayan, iki aşamalı bir dengeleme tekniği geliştirmişlerdir. Bu yöntemde, değişebilir işlemler için istatistiksel bağımsız normal dağılım süreli işlemler varsayılmıştır. Bağımsızlık ve normallik korumaları; Moddie ve Young'ın topladığı görgül (ampirik) ve daha önce bu konuda yapılan, işlem süreleri ile ilgili araştırmaların sonuçlarıyla haklı kılınmaktadır. İki aşamalı bir dengelemenin; genellikle en uygun dengeyi sağlamasına rağmen yöntem aynı zamanda, değişebilir verilerinin eklenebilmesine ve bilgisayarlı çözüme olanak sağlamaktadır.

ÖRNEK 4.4.

Daha önce Şekil 4.3'de gösterilen montaj hattını, Moddie-Young İki Aşamalı Dengeleme Yöntemi'ne göre dengeleyelim.

Yöntemin 1. aşaması, işlemlerin, 1 no.lu iş ögesinden enson iş ögesine kadar, "enbüyük aday" kuralına göre, birbirini izleyen istasyonlara özgülenmesini içermektedir. Enbüyük aday, enbüyük iş ögesi süreli bir önceki işlemdir. Burada adayın, tüm öncelik kısıtlarına uygun olması gereğine dikkat etmek gerekir. Moddie ve Young, aday özgülemelerini kolaylaştırmak için P öncelik ve F izleyici matrislerini geliştirmişlerdir. P öncelik matrisi bir önceki işlemlerin, F izleyici matrisi ise, bir sonraki işlemlerin işlem sıralarını göstermektedir.

Örneğimizi kullanarak; P ve F matrislerini, Tablo 4.7.'deki gibi buluruz:

Tablo 4.7. Örnek 4.4. ile ilgili P ve F Matrisleri

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

İşlemlerin görevlere özgülenmesi, aşağıdaki gibi olmaktadır:

a) P matrisinde tüm öğeleri sıfır olan satır veya satırları bul, bu durumda tek satır varsa, o işlemi ilgili istasyona özgüle.

b) Eğer bir seçim gerekiyorsa, adım-a'da bulunan işlemlerin en-büyük sürelisini, istasyona özgüle.

c) Adım a veya b'de özgülenen işlemin F matrisindeki satırda bulunan işlem veya işlemlerin, P matrisindeki satır değerlerinden, özgülenen işlem no.larını çıkart.

d) Tüm işlemler görevlere özgüleninceye kadar bu işlemleri sürdür.

Yukarıda belirtilen adımların uygulanması sonucu ve $C=1$ dk. alınarak, Tablo 4.8'deki durum oluşmaktadır.

Tablo 4.8. Birinci Sonuç Tablosu

İş istasyonu No	1	2	3	4	5	6	7	8
Özgülenen İş Öğeleri	1	2-3	4	5-6	7-8	9	10	11
İstasyon Süresi (1)	0.5	1	0.7	1	0.8	0.7	1	0.8
Çevrim Süresi (2)	1	1	1	1	1	1	1	1
Boş Süre (1-2)	0.5	0	0.3	0	0.2	0.3	0	0.2

İlk sonuç tablosundan görülebileceği gibi, boş süreler toplamı 1,5 dk.'dır. $1,5 > C = 1$ 'dir.

Maddie ve Young'ın yönteminin bir başka özelliğine de işaret edilebilir. Burada boş süre toplamının, enbüyük istasyon süresi olarak veya 1 dak. olarak alınan çevrim süresini geçtiğine dikkat edelim. Bu nokta, enuygun veya enuyguna yakın bir çözümün olanaklı olduğunu göstermektedir. Çevrim süresinin arttırılması, enuygun dengenin sağlanmasına yardımcı olacaktır. Örneğin çevrim süresini 1.1'e yükseltir ve dengelemeyi yinelersek, Tablo 4.9'da gösterilen sonucu elde ederiz.

Tablo 4.9. ikinci Sonuç Tablosu

iş istasyonu No	1	2	3	4	5	6	7
Özgülenen iş Öğeleri	1	2-3	4-5	6-8	7-9	10	11
İstasyon Süresi (1)	0.5	1	1.1	1.1	1	1	0.8
Çevrim Süresi (2)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Boş Süre (1-2)	0.6	0.1	0	0	0.1	0.1	0.3

İkinci sonuç tablosundan görülebileceği gibi, boş süreler toplamı 1,2 dk.'dır. $1,2 > C = 1,1$ dir.

Eğer çevrim süresi $C = 1.5$ dk. olana dek, çevrim süresini 0.1 dk. aralıklarla arttırmayı sürdürürsek, Tablo 4.10'daki sonucu elde ederiz.

Tablo 4.10. Üçüncü Sonuç Tablosu

iş istasyonu No	1	2	3	4	5
Özgülenen iş Öğeleri	1-2-3	6-7-8	4-9	5-10	11
İstasyon Süresi (1)	1.5	1.4	1.4	1.4	0.8
Çevrim Süresi (2)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Boş Süre (1-2)	0	0.1	0.1	0.1	0.7

Üçüncü sonuç tablosundan görülebileceği gibi, boş süreler toplamı 1,0 dk.'dır. $1,0 < C = 1,5$ dir.

İlk baştaki ifadeye göre boş süreler toplamı çevrim süresinden az olduğu durumda, seçilen çevrim süresi için denge enuygun olur. İlk sonuca göre $C = 1$ dk. ve istasyon sayısı 7 idi. Üçüncü sonuca göre $C = 1,5$ dk. ve istasyon sayısı 5'dir. 1,5 dk'lık çevrim süresindeki birim başına düşen işçilik maliyeti, 1 dk.'lık çevrim süresindeki

birim başına düşen işçilik mâliyetinden daha büyüktür. Çünkü $(1,5 \times 5 = 7,5) > (1 \times 5 = 5)$ dir. Ama doğrudan doğruya 7 iş istasyonu veren başka bir yöntem yoktur. 1,5 dk.'lık çevrim süresinde, birim işçilik mâliyetindeki artış $(7,5 - 7,0)/7 = 1/14$ 'dür. Bu da, başka yöntemlerle elde edebileceğimiz sonuçlardan daha yakın bir değerdir. Bu durum da, çevrim süresinin ufak farklar ile artırılması kuralıyla, incelenen çevrim süresi açısından herhangi bir montaj hattı için enuygun veya enuyguna yakın bir sonucun sağlanabileceğini göstermektedir.

Bu örnekte herhangi bir gelişme sağlanamamasına rağmen Moddie ve Young, 1. aşamada elde edilen çevrim süresinden daha küçük bir çevrim süresini sağlayacak olan dengenin 2. bir aşamasının kullanılmasını önermektedirler. Bu işlemlerin, istasyonlar arasında sistematik bir şekilde geliştirilmesi ve sonuçta, istasyon boş sürelerinin eşitlenmesini sağlayacak bir şekilde yapılır. 2. aşama yöntemi aşağıdaki gibidir:

a) Hedef değeri saptama.

$$\text{Hedef} = \frac{\text{Enbüyük istasyon süresi} - \text{enküçük istasyon süresi}}{2}$$

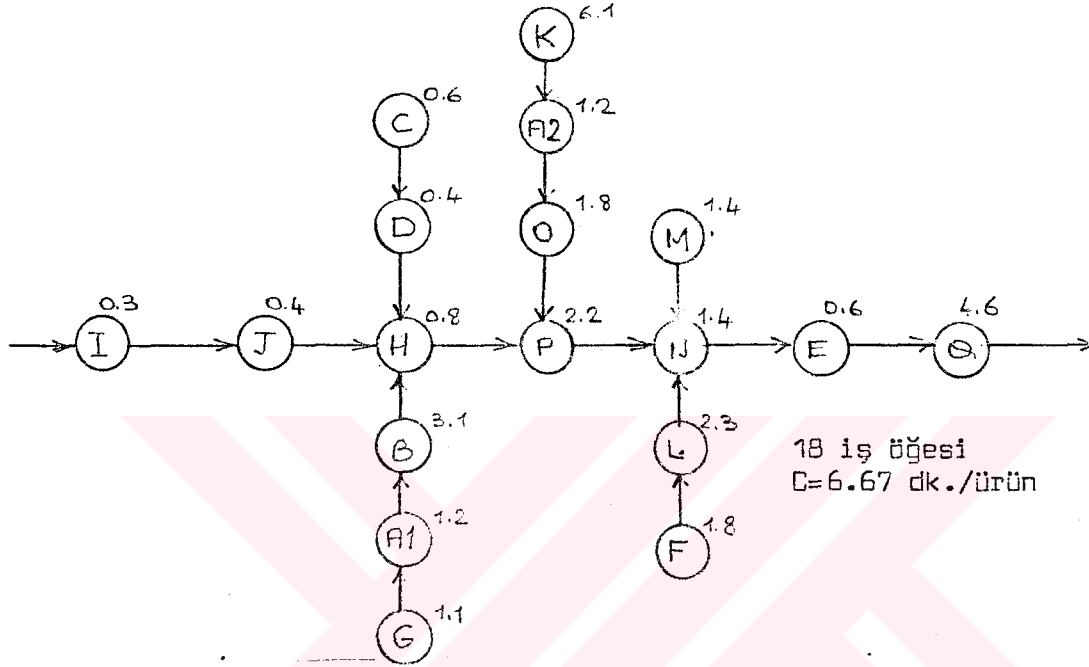
b) Hedeften küçük olan enbüyük istasyonun işlemleri arasında değişiklik arama. Bu arada hedeften küçük ve enküçük süreli istasyona kazanç sağlayacak ve öncelik koşullarına uygun işlemleri dikkate alma.

c) Eğer değişiklik yapmayı sürdürmek gerekiyorsa, işlemler arasında enküçük istasyonla, ikinci enbüyük istasyon, üçüncü enbüyük istasyon vb. şeklinde değişiklik yapmayı sürdürme.

Bu, enküçük süreli istasyonların diğerleriyle karşılaştırılması yapılınca kadar sürdürülür. Bundan sonra ikinci enküçük istasyon alınarak aynı işlem, tüm kombinezonlar kontrol edilinceye kadar yapılır.

ÖRNEK 4.5.

Şekil 4.5'de öncelik diyagramı verilen montaj hattını, Moddie-Young Yöntemi'ne göre dengeleyelim:



Şekil 4.5. Örnek 4.5'e ilişkin Öncelik Diyagramı

İşlemlerin her birinin, kendisinden önceki ve sonraki işlemleri ve sürelerini belirten tablo (Tablo 4.11.) hazırlanır. Bu tablo, gruplama için yapılacak araştırmada kullanılacaktır. Bu işlemden önce herhangi bir işlem bulunmaması durumunda, ikinci sütuna "-" işareti konur. Başlangıçta aynı işaretler, sondaki kontrol sütununa da konur. Böyle (-) işareti taşıyan işlemler, "elverişli" olarak nitelenirler.

Bundan sonra gruplama için, tablo üzerinde şu işlemler yapılır:

1) Elverişli işlemler arasından enbüyük süreli olan seçilir (K).

2) K seçildiğine göre, K'dan bir sonraki işlem olan A₂, elverişli duruma gelir. Bunu belirtmek için kontrol sütununda A₂'nin düzeyine "-" işareti konur.

Tablo 4.11. Örnek 4.5. ile ilgili P ve F Matrisleri

İşlem (i)	Bir Önceki İşlem(ler)	Bir Sonraki İşlem(ler)	İşlem Süresi (T) _i	Kontrol Sütunu
A1	G	B	1.2	--
A2	K	O	1.2	--
B	A1	H	3.1	--
C	--	D	0.6	--
D	C	H	0.4	--
E	N	Q	0.6	--
F	--	L	1.8	--
G	--	A1	1.1	--
H	B,D,J	P	0.8	--
I	--	J	0.3	--
J	I	H	0.4	--
K	--	A2	6.1	--
L	F	N	2.3	--
M	--	N	1.4	--
N	L,M,P	E	1.4	--
O	A2	P	1.8	--
P	H,Q	N	2.2	--
Q	E	--	4.6	--

3) Yeni durumda, elverişli işlemler arasından, K ile çevrim süresi C arasındaki farkı kapatacak enuygun işlem seçilir (I).

4) I'dan bir sonraki işlem J olduğundan, kontrol sütununda J'nin düzeyine "-" işareti konur.

5) K ve I'dan oluşan grubun birikimli işlem süresini C'ye tamamlayan başka elverişli işlem bulunamadığından, 1. istasyon dolmuştur.

6) Yukarıdaki işlemler; 2., 3., ..., n. istasyonların oluşturulması için aynen yinelenir.

Bu şekilde saptanan grupların belirlediği iş istasyonları ve boş süreler, Tablo 4.12.'de verilmiştir. İş istasyonlarının birikimli işlem süreleri ile C arasındaki farkların toplamı 2,07 dk.'dır. Yani montaj hattında üretilen her ürün için boş geçen süre 2,07 dk.'dır. Bulunan bu çözümün, olası çözümler içinde eniyisi olup olmadığı, yöntemin kuramına inilmeden söylenemez. Çok sayıda işlemden oluşan karmaşık bir montaj hattının dengelenmesinde, bu çözüm tekniği için tasarlanmış bilgisayar programlarından yararlanmak olasıdır.

Tablo 4.12. Örnek 4.5.'in Çözümü

İş istasyonu	İşlem (i)	Süre (E) i	Birikimli Süre (X)	C-X	Boş Süre
1	K I	6.1 0.3	6.1 6.4	0.57 0.27	0.27
2	F L M G	1.8 2.3 1.4 1.1	1.8 4.1 5.5 6.6	4.87 2.57 1.17 0.07	0.07
3	A1 B A2 C D	1.2 3.1 1.2 0.6 0.4	1.2 4.3 5.5 6.1 6.5	5.47 2.37 1.17 0.57 0.17	0.17
4	O J H P N	1.8 0.4 0.8 2.2 1.4	1.8 2.2 3.0 5.2 6.6	4.87 4.47 3.67 1.47 0.07	0.07
5	E Q	0.6 4.6	0.6 5.2	6.07 1.47	1.47

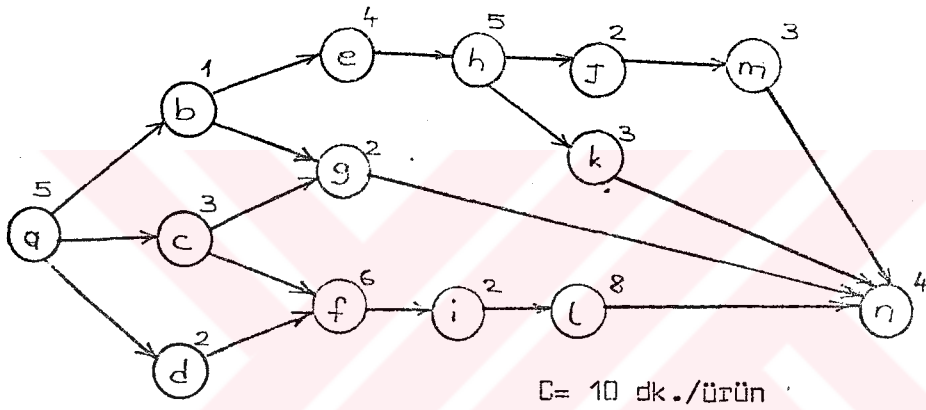
Elde edilen sonuca göre dengeleme kaybı;

$$D(\%) = \frac{nC - t}{nC} = \frac{5 \cdot 6,67 - 31,3}{5 \cdot 6,67} = \% 6,14$$

olur.

4.1.5. Comsoal Tekniği [Arcus (1963)]

Yöntemi, Örnek 4.6'da verilen 14 iş öğeli montaj hattı üzerinde açıklayalım.



Şekil 4.6. Örnek 4.6.'ya İlişkin Öncelik Diyagramı

ADIM-1 : Öncelikle tüm iş öğelerini içeren bir tablo (Tablo 4.13.) oluşturulur.

ADIM-2 : Kendinden önce iş öğesi gelmeyen (3. sütunda 0 değerine sahip olan) işlerden yeni bir tablo oluşturulur.

Bu örnek için, bu özelliğe sahip tek öge a'dır.

ADIM-3 : Son tablodan bir öge rastgele olarak seçilir. Bu öğelerin seçilme olasılıkları eşit olabilir veya bazı kurallara uygun olarak saptanabilir. Seçilen bu öge iş istasyonuna özgülenir. Eğer istasyon süresi aşılıyorsa ya uygun bir diğer iş öğesi alınır ve kalan istasyon süresinin uygun olup olmamasına göre o iş istasyonuna özgülenir veya seçilen öge, bir sonraki iş istasyonuna özgülenir.

Bu örnek için a seçilir.

Tablo 4.13. Örnek 4.6. ile ilgili Veriler

İş Ögesi	Bir Sonraki İşler			Bir Önceki İşlerin Sayısı
a	b	c	d	0
b	e	g	-	1
c	f	g	-	1
d	f	-	-	1
e	h	-	-	1
f	i	-	-	2
g	n	-	-	2
h	j	k	-	1
i	l	-	-	1
j	m	-	-	1
k	n	-	-	1
l	n	-	-	1
m	n	-	-	1
n	-	-	-	4

ADIM-4 : Seçilen ögeyi izleyen bir sonraki ögelerin, bir önceki işlerin sayısını veren değerinden 1 çıkarılır ve 0 değerine sahip olan ögeler enson tabloya eklenir. Seçilen ögeler bu tablodan çıkarılır.

3. ve 4. adımlar, tüm ögeler istasyonlara özgüleninceye kadar yinelenir. Sonuç olarak, rastgele üretilmiş uygun bir çözüm elde edilir. Tablo 4.14'deki çözüm, bu yöntemin uygulanmasıyla elde edilmiştir.

Başlangıçta, tablodaki tek öge a olduğundan dolayı a; 1. istasyona özgülenir.

Tablo 4.14. Örnek 4.6.'nın Bir Çözümü

istasyon No	iş Ögesi No	Öge Süresi	istasyon Süresi	Boş Süre
1	a b d	5 1 2	5 6 8	2
2	c f	3 6	3 9	1
3	e g i	4 2 2	4 6 8	2
4	h k j	5 3 2	5 8 10	0
5	l	8	8	2
6	m n	3 4	3 7	3

a'nın bir istasyona özgülenmesinden dolayı b, c ve d öğelerinin bir önceki iş sayısı 1 azaltılır ve yeni değerler 0 olduğundan tabloya eklenirler. a iş ögesi bu tablodan çıkartılır.

1. istasyona a özgüledikten sonra kalan boş süre 5'tir. Eğer tabloda, kalan istasyon süresinden büyük süreli iş ögesi varsa, bunun seçilme olasılığı sıfırdır. Burada böyle bir durum olmadığından b, c ve d öğeleri, eşit seçilme olasılığına sahiptir. b, rastsal olarak seçilir.

Bu durumda e ve g'nin numaraları 1 azaltılır. e, tabloya eklenir ve b çıkartılır. Bu durumda tablo c, d ve e iş öğelerine sahiptir. Bu öğelerin süreleri, kalan istasyon süresinden küçük olduğundan, seçilme olasılıkları eşittir. Bunlar arasından biri (d) rastsal olarak seçilir.

İşlemler bu şekilde sürdürülür.

Bu durumda denge kaybı;

$$D(\%) = \frac{nC - \sum t}{nC} = \frac{6.10 - 50}{6.10} = \% 16,67$$

olur.

4.1.6. Karp-Held-Shareshian Yöntemi (Dinamik Programlamayla Çözüm) [Karp-Held-Shareshian (1963)]

Amaç; belli bir çevrim süresi için, gerekli iş istasyonlarının sayısını enküçükmektir.

Gerekli işlemler şöyle özetlenebilir:

1) Bir öge içeren kümeleri seç (Kümeye bu öge, bir başka diziye bağlı olmaksızın, bir dizinin ilk ögesi olmalıdır).

2) Önceki bir ögeli kümeleri kullanarak tüm uygun iki ögeli kümeleri seç.

3) Toplam iş istasyonu özgüleme süresini ölç:

$$TAWST = (WS - 1)C + TLS$$

TAWST : Toplam iş istasyonu özgüleme süresi

WS : Özgüleme yapılan istasyon sayısı

C : Çevrim süresi

TLS : Son istasyona özgülenen ögelerin süreleri toplamı

4) Tüm kümelerin enson durumunu incele. Eğer iki veya daha çok küme aynı duruma sahipse, toplam iş istasyonu özgüleme süresi en az olan kümeyi seç.

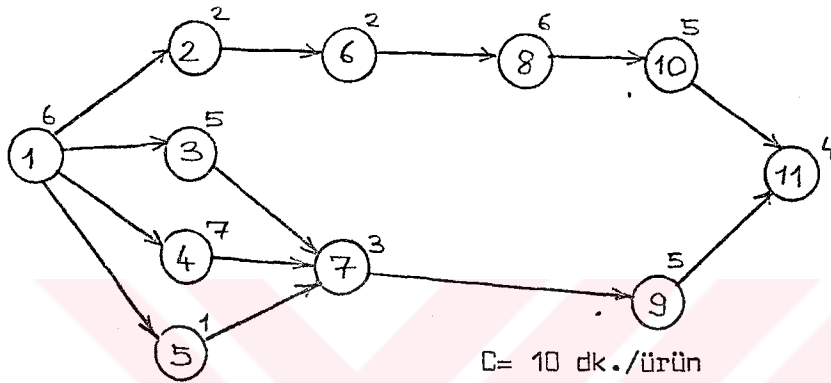
5) Eğer toplam iş istasyonu süresi, iki veya daha çok küme için aynı ise ve kümeler, birbirlerinin permütasyonları ise, bir tanesi dışında hepsini ele.

6) Her bir uygun ögeyi, geri kalan uygun küme koleksiyonuna ekle. Adım-3'e dön ve tüm ögeleri içeren bir küme elde edilinceye

kadar işlemi sürdür. Bu küme, istenilen iş istasyonları sayısını en-
küçükleyecektir.

ÖRNEK 4.7.

11 iş öğesine sahip bir montaj işleminin öncelik diyagramı, Şe-
kil 4.7'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.7. Örnek 4.7'ye İlişkin Öncelik Diyagramı

Şimdi bu montaj hattına ilişkin dengelemeyi, dinamik programla-
ma yöntemiyle yapalım (Tablo 4.15).

Görüldüğü gibi iş sırası; 1-2-6-5-8-3-10-4-7-9-11 olup bunla-
rın istasyonlara dağıtımı, Şekil 4.8.'de görüldüğü gibidir:

İstasyon No	1	2	3	4	5
İstasyon	1,2,6	5,8	3,10	4,7	9,11
Boş süreler	0	3	0	0	1
İstasyon süresi	10	7	10	10	9

Şekil 4.8. Örnek 4.7.'ye İlişkin Enuygun Çözüm

Tablo 4.15. Örnek 4.7.'ye ilişkin Çözüm

Öge Sayısı	Küme	TAWST	Enaz Süreli Küme
1	1	6	1
2	1-2 1-3 1-4 1-5	8 15 17 7	1-2 1-3 1-4 1-5
3	1-2-3 1-2-4 1-2-5 1-2-6 1-3-2 1-3-4 1-3-5 1-4-2 1-4-3 1-4-5 1-5-2 1-5-3 1-5-4	15 17 9 10 17 27 16 19 25 18 9 15 17	1-2-3 1-2-4 1-2-6 1-4-3 1-5-2 1-5-3 1-5-4
4	1-2-3-4 1-2-3-5 1-2-3-6 1-2-4-3 1-2-4-5 1-2-4-6 1-2-6-3 1-2-6-4 1-2-6-5 1-2-6-8 1-4-3-2 1-4-3-5 1-5-2-3 1-5-2-4 1-5-2-6 1-5-3-2 1-5-3-4 1-5-4-2 1-5-4-3	27 16 17 25 18 19 15 17 11 16 27 26 15 17 12 17 27 19 25	1-2-4-3 1-2-6-3 1-2-6-4 1-2-6-5 1-5-2-3 1-5-2-4 1-5-4-3
5	1-2-4-3-5 1-2-4-3-6 1-2-6-3-4 1-2-6-3-5 1-2-6-3-8 1-2-6-4-3 1-2-6-4-5 1-2-6-4-8 1-2-6-5-3	26 27 27 16 26 25 18 26 16	1-2-6-3-5 1-2-6-4-3 1-2-6-4-5 1-2-6-4-8

Tablo 4.15. (Devamı)

Öge Sayısı	Küme	TAWST	Enaz Süreli Küme
5	1-2-6-5-4	18	
	1-2-6-5-8	17	
	1-2-6-8-3	25	
	1-2-6-8-4	27	
	1-2-6-8-5	17	
	1-2-6-8-10	25	1-2-6-8-10
	1-5-2-3-4	27	
	1-5-2-3-6	17	
	1-5-2-4-3	25	1-5-2-4-3
	1-5-2-4-6	19	
	1-5-4-3-2	27	
	1-5-4-3-7	28	1-5-4-3-7
6	1-2-6-3-5-4	27	
	1-2-6-3-5-8	26	
	1-2-6-4-3-5	26	
	1-2-6-4-3-8	36	
	1-2-6-4-5-3	25	1-2-6-4-5-3
	1-2-6-4-5-8	26	1-2-6-4-5-8
	1-2-6-4-8-3	35	1-2-6-4-8-3
	1-2-6-4-8-5	27	
	1-2-6-4-8-10	35	1-2-6-4-8-10
	1-2-6-5-8-3	25	1-2-6-5-8-3
	1-2-6-5-8-4	27	
	1-2-6-5-8-10	25	1-2-6-5-8-10
	1-2-6-8-3-4	37	
	1-2-6-8-3-5	26	
	1-2-6-8-3-10	30	1-2-6-8-3-10
	1-2-6-8-10-3	30	
	1-2-6-8-10-4	37	
	1-2-6-8-10-5	26	
	1-5-2-4-3-6	27	
	1-5-2-4-3-7	28	1-5-2-4-3-7
	1-5-4-3-7-2	32	
	1-5-4-3-7-9	35	1-5-4-3-7-9
7	1-2-6-4-5-3-7	28	1-2-6-4-5-3-7
	1-2-6-4-5-3-8	36	
	1-2-6-4-5-8-3	35	1-2-6-4-5-8-3
	1-2-6-4-5-8-10	35	1-2-6-4-5-8-10
	1-2-6-4-8-3-5	36	
	1-2-6-4-8-3-10	40	
	1-2-6-4-8-10-3	40	
	1-2-6-4-8-10-5	36	
	1-2-6-5-8-3-4	37	
	1-2-6-5-8-3-10	30	1-2-6-5-8-3-10
	1-2-6-5-8-10-3	30	
	1-2-6-5-8-10-4	37	
	1-2-6-8-3-10-4	37	1-2-6-8-3-10-4
	1-2-6-8-3-10-5	31	

Tablo 4.15. (Devamı)

Öge Sayısı	Küme	TAWST	Enaz Süreli Küme
7	1-5-2-4-3-7-6 1-5-2-4-3-7-9 1-5-4-3-7-9-2	30 35 37	1-5-2-4-3-7-9
8	1-2-6-4-5-3-7-8 1-2-6-4-5-3-7-9 1-2-6-4-5-8-3-7 1-2-6-4-5-8-3-10 1-2-6-4-5-8-10-3 1-2-6-5-8-3-10-4 1-2-6-8-3-10-4-5 1-5-2-4-3-7-9-6	36 35 38 40 40 37 38 37	1-2-6-4-5-3-7-8 1-2-6-4-5-3-7-9 1-2-6-5-8-3-10-4
9	1-2-6-4-5-3-7-8-9 1-2-6-4-5-3-7-8-10 1-2-6-4-5-3-7-9-8 1-2-6-5-8-3-10-4-7	45 45 46 40	1-2-6-4-5-3-7-8-9 1-2-6-5-8-3-10-4-7
10	1-2-6-4-5-3-7-8-9-10 1-2-6-5-8-3-10-4-7-9	50 45	1-2-6-5-8-3-10-4-7-9
11	1-2-6-5-8-3-10-4-7-9 -11	49	1-2-6-5-8-3-10-4-7-9 -11 ENUYGUN

TAWST'ın ölçülmesiyle ilgili bir örnek yapalım. Örneğin 1-2-6-4-8-10-3'ün TAWST'ını ölçelim: Öncelik diyagramı gözden geçirilirse 1-2-6, 1. istasyona; 4, 2. istasyona; 8, 3. istasyona özgülenmelidir. 10 ve 3 aynı istasyonda yapılabilir. Bu nedenle:

$$TAWST(1-2-6-4-8-10-3) = (4-1) \cdot 10 + (5+5) = 40$$

olur.

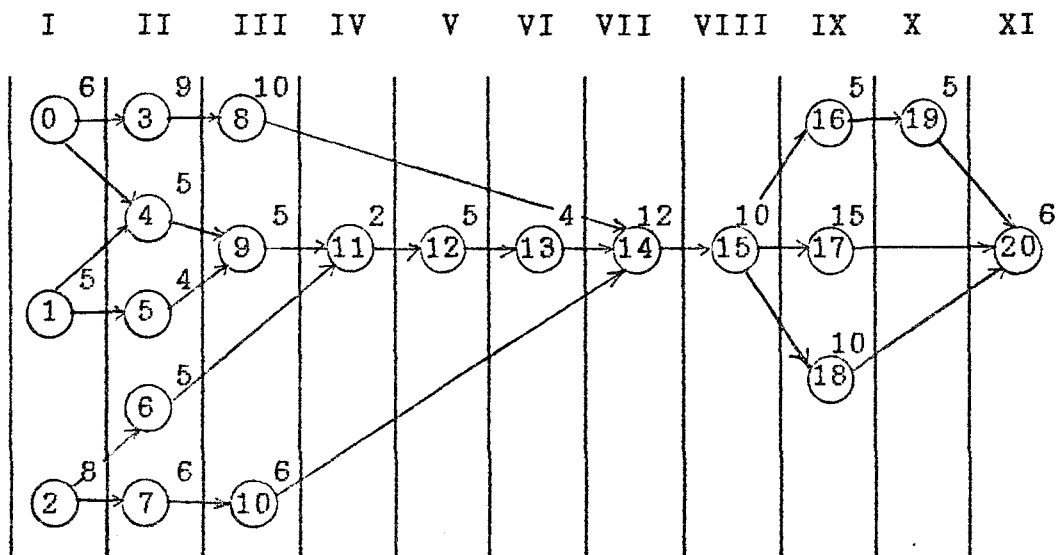
Bu durumda denge kaybı;

$$D(\%) = \frac{n \cdot C - \sum t}{n \cdot C} = \frac{5 \cdot 10 - 46}{5 \cdot 10} = \%8$$

olur.

4.1.7. Kilbridge-Wester Yöntemi [Kilbridge-Wester (1961)]

Şekil 4.9'da gösterilen ve 21 iş ögesinden oluşan bir montaj işlemini ele alarak, yöntemi açıklayalım.



Şekil 4.9. Örnek 4.8'e ilişkin Öncelik Diyagramı

ÖRNEK 4.8.

İş öğelerinin, belli olan öncelik sıraları bulunmaktadır. Dairelerin üstündeki sayılar işin süresini, enüstteki sütun numaraları ise işlem sırasını belirtmektedir (II. sütundaki işler, I. sütundaki işlerden sonra yapılmalıdır, gibi...). Tablo 4.16.'da, yukarıdaki bilgilere dayanarak, problemin verileri sınıflandırılmıştır.

Tablo 4.16. Problem Verilerinin Sınıflandırılması

İşlem No	İşlem Süresi	Bir Önce Gelen İşlemler		
0	6	-	-	-
1	5	-	-	-
2	8	-	-	-
3	9	0	-	-
4	5	0	1	-
5	4	1	-	-
6	5	2	-	-
7	6	2	-	-
8	10	3	-	-
9	5	4	5	-
10	6	7	-	-
11	2	6	9	-
12	5	11	-	-
13	4	12	-	-
14	12	8	10	3
15	10	14	-	-
16	5	15	-	-
17	15	15	-	-
18	10	15	-	-
19	5	16	-	-
20	6	17	18	19

Sözgeleşimi amacımız, montaj hattı çevrim süresini 36 zaman ünitesi (ZÜ) yapmak olsun. Bunu gerçekleştirmek için gerekli iş istasyonu sayısı ve bu istasyonlarda yapılması gereken işlerin sırasını bulmak, problemin çözümü olacaktır. Bu amaçla yapılacak arama işleminin akışını, aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz (Başlangıç için Tablo 4.17.'yi oluşturuyoruz):

Tablo 4.17. İşlem Özgülemeleri-1

Öncelik Diyagramın- daki Sütun No (a)	İş Öğesi No (b)	Yeri Değiştirilebilen Öğesi (c)	Öğesi Süresi (d)	Sütun Süresi (e)	Bir- kimli Süre (f)
I	0 1 2		6 5 8	19	19
II	3 4 5 6 7	III-V (8 ile) III III-V (10 ile)	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	X X	5 15 10	30	132
X	19		5	5	137
XI	20		6	6	143

1- (f)'de 36'ya eşit ZÜ var mı? (Hayır)

2- (f)'den, 36'dan küçük olan enbüyük süreyi seç (I. sütuna ilişkin 19 değeri).

3- 36'dan bunu çıkar ($36-19 = 17$).

4- Sütun II'de 17'ye eşit veya yakın bir veya birden çok öge var mı? (Eşit yok, enyakını 16 değerini veren iş ögeleri var, bunlar alınırsa iş süresi toplamı 35 olacaktır)

5) (f)'den, 36'dan büyük olan enküçük süreyi seç (48'dir ve I ile II'nin toplamıdır).

6- Sütun I ve II'deki ögelerden bir veya birkaçı, süreyi 36'ya düşürmek üzere II'den öteye yer değiştirebilir mi? (Hayır ama 3. iş ögesi (+8) ile 6. öge yer değiştirebilir ve böylece 34 ZÜ'lik bir süre elde edilir)

7- (f)'den, arkadan gelen enbüyük süreyi seç (69; I,II ve III için).

8- I, II, III sütunları içindeki ögelerden bir veya birkaçı, süreyi 36'ya düşürmek üzere, III'den öteye yer değiştirebilir mi? (Hayır, enyakın değeri veren ögeler 3, 8, 7 ve 10'dur; bu da $[69-31=38]$ değerini verir ki bu çok büyüktür.)

9- (f)'deki büyük bir süreyi ele alarak 1. istasyon için daha geliştirilmiş bir öge özgülemesi elde edilebilecek mi? (Hayır)

10- Daha önce bulunan eniyi özgülemeyi 1. istasyon olarak al (35 ZÜ'lik iş istasyonu, adım-4).

11- Tabloyu yeniden yaz ve birikimli toplamlarının yeni değerlerini (f)'ye yerleştir (Tablo 4.18.).

12- (f)'de, toplam 36'ya eşit bir süre var mı? (Evet, III ve IV sütunları toplamı)

13- Bu ögeleri 2. istasyon olarak özgüle ve üçüncü tablonun (Tablo 4.19.) çizimine geç.

14- Yeni tablonun (f) sütununda 36'ya eşit değer var mı? (Hayır)

15- (f)'deki sürelerden, 36'dan küçük enbüyük süreyi seç (31; V, VI, VII, VIII).

16- Bu süreyi 36'dan çıkar ($36-31=5$).

Tablo 4.18. İşlem Özgülemeleri-2

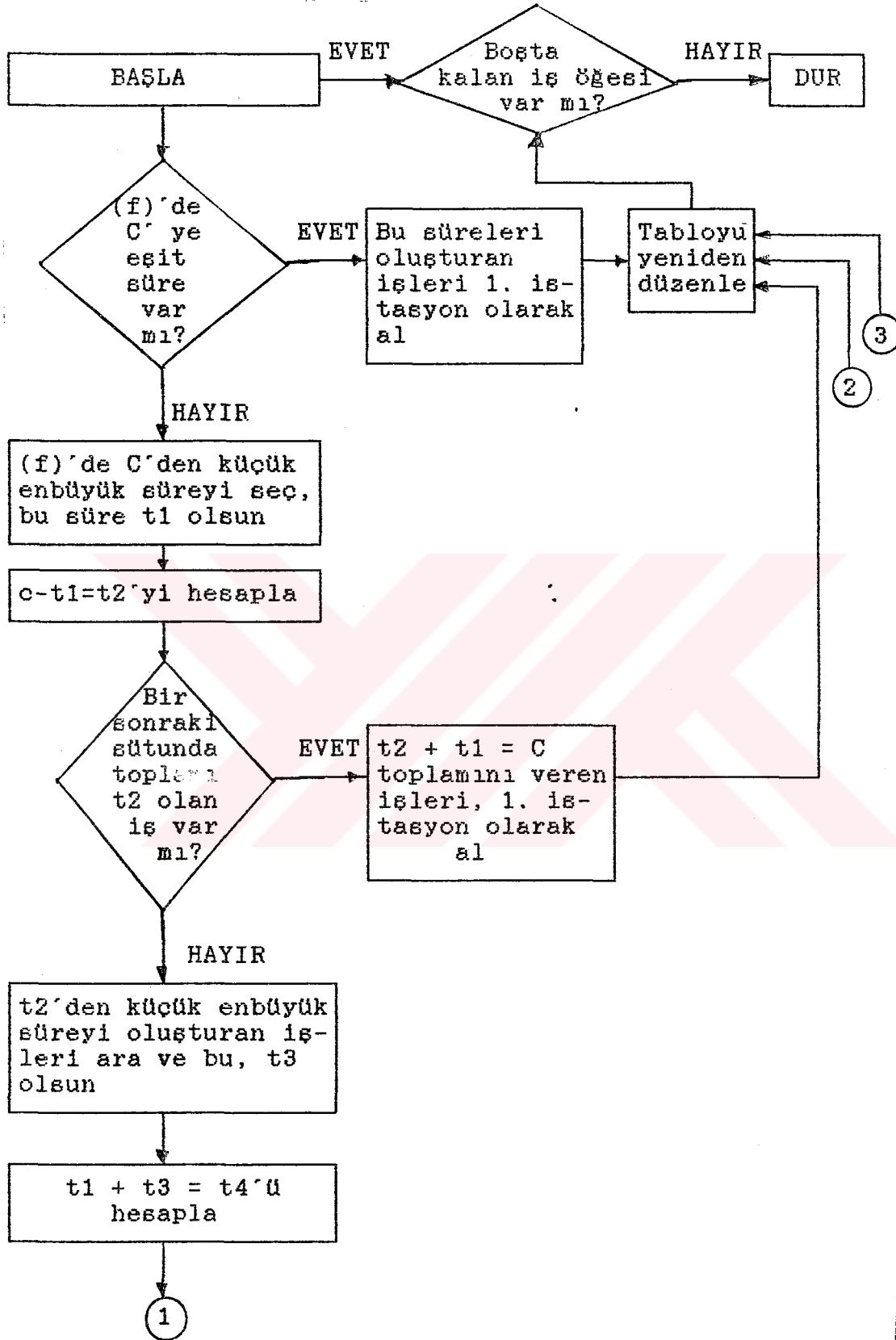
Öncelik Diyagramın- daki Sütun No (a)	İş Öğesi No (b)	Yeri Değiştirilebilen Öğesi (c)	Öğesi Süresi (d)	Sütun Süresi (e)	Biri- kimli Süre (f)
İŞ İSTASYONU-1 I-II	0 1 2 4 6 7		6 5 8 5 5 6		(35)
III	3 9 5 10	IV-V (8 ile) IV-VI	9 5 4 6		
IV	8 11	V-VI	10 2	24 12	24 36
V	12		5	5	41
VI	13		4	4	45
VII	14		12	12	57
VIII	15		10	10	67
IX	16 17 18	X X	5 15 10		
X	19		5	30 5	97 102
XI	20		6	6	108

Tablo 4.19. İşlem Özgülemeleri-3

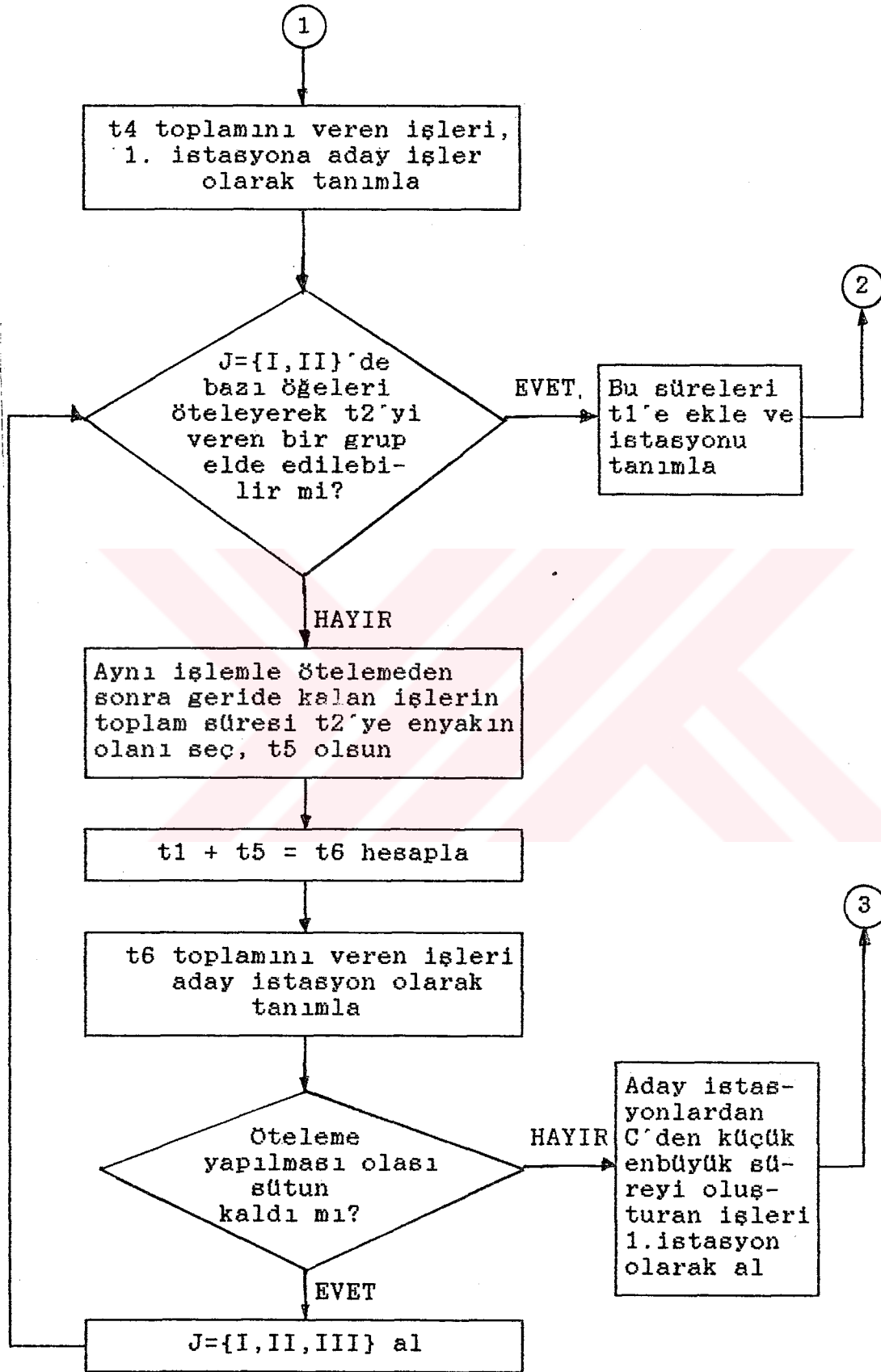
Öncelik Diyagramın- daki Sütun No (a)	İş Öğesi No (b)	Yeri Değiştirilebilen Öğesi (c)	Öğesi Süresi (d)	Sütun Süresi (e)	Biri- kimli Süre (f)
İŞ İSTASYONU-1	0 1 2 4 6 7			35	(35)
İŞ İSTASYONU-2 III-IV	3 9 5 10 8 11		9 5 4 6 10 2	36	(36)
V	12		5	5	5
VI	13		4	4	9
VII	14		12	12	21
VIII	15		10	10	31
IX	16 17 18	X X	5 15 10	30	61
X	19		5	5	66
XI	20		6	6	72

Tablo 4.20. İşlem Özgülemeleri-4

Öncelik Diyagramın- daki Sütun No (a)	İş Öğesi No (b)	Yeri Değiştirilebilen Öğesi (c)	Öğesi Süresi (d)	Sütun Süresi (e)	Biri- kimli Süre (f)
İŞ İSTASYONU-1	0 1 2 4 6 7			35	(35)
İŞ İSTASYONU-2	3 9 5 10 8 11			36	(36)
İŞ İSTASYONU-3 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



Şekil 4.10. Kilbridge-Wester Hat Dengeleme Yöntemine ilişkin Akış Şeması



Şekil 4.10. (Devamı)

17- IX sütununda 5'e eşit öğe var mı? (Evet, 16 no.lu öğe).

18- Bu öğeleri yukarıdakilere ekle ve yeni bir tablo çiz (Tablo 4.20).

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

20- Bu öğeleri yeni iş istasyonuna özgüle.

Böylece 21 iş üesi, 4 iş istasyonuna özgülenmiş oldu. Bu özgülemenin dengeleme kaybı ise,

$$D(\%) = \frac{nC - \sum t}{nC} = \frac{4.36 - 143}{4.36} = \% 07$$

Sonuç olarak 1. istasyonda 0, 1, 2, 4, 6, 7; 2. istasyonda 3, 9, 5, 10, 8, 11; 3. istasyonda 12, 13, 14, 15, 16; 4. istasyonda ise 17, 18, 19, 20 no.lu işlerin yapılması endüşük denge kaybı sonucunu vermektedir.

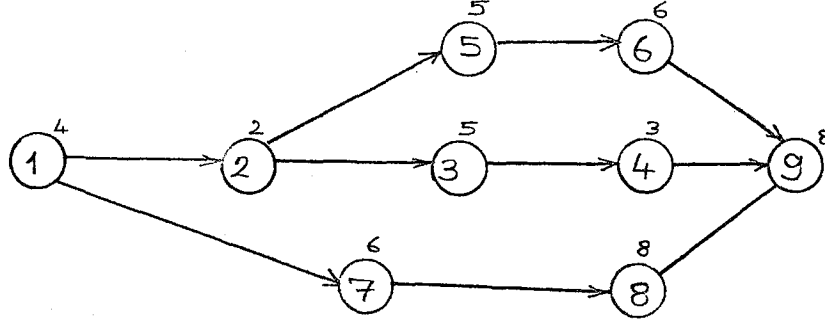
Kilbridge-Wester hat dengeleme yöntemine ilişkin akış şeması Şekil 4.10'da verilmiştir.

4.1.8. Salveson Yöntemi (Aday Matrisle Çözüm) [Salveson (1955)]

Bu yöntemde öncelikle toplam iş süresi hesaplanır. Daha sonra enküçükve olası istasyon sayıları bulunup, bunların enbüyüğü, enaz istasyon sayısı olarak alınır. Yâni bulunan bu değerden daha az sayıda istasyon, "bölünemez işler" kuralına göre belirlenmemelidir. Bir sonraki aşama öncelik matrisini oluşturmaktır. Daha ileriki aşamaları bir örnek üzerinde açıklayalım:

ÖRNEK 4.9.

Şekil 4.11.'de verilen montaj hattını düşünelim. Çevrim süresi C=10 dk/parça olarak verilmiştir.



Şekil 4.11. Örnek 4.9'a İlişkin Öncelik Diyagramı

Öncelik diyagramından şunları saptayabiliriz:

1- $t_i \leq c$ ($i=1, 2, \dots, 9$)

2- $t_i = 47$

3- $k_{enk} = \text{enk } n \{ \text{tamsayı } n \geq (\frac{\sum t_i}{c} = \frac{47}{10} = 4.7) \} = 5$

4- $k_{olası} = n \{ t_i > \frac{c}{2} \} = 4$

5- $k_{enaz} = \text{enb } (k_{enk}, k_{olası}) = 5$

Şimdi Öncelik matrisine geçebiliriz. Tablo 4.21.'de, öncelik diyagramı verilen hattın öncelik matrisi görülmektedir.

Buna göre yapılacak işler şöyledir:

İlk olarak aday istasyonlar saptanır. Sonra aday matrisi, daha sonra da olası çözüm matrisi oluşturulur. Son aşamada enuygun çözüm elde edilir.

Her bir işlemi basit bir istasyon adayını kabul ettiğimize göre şu anda 9 tane istasyon adayımız var demektir.

Tablo 4.21. Öncelik Matrisi

SONRAKİ İŞ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	1	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Öncelik ilişkilerini bozmadan ve çevrim süresini aşmadan oluşturabileceğimiz istasyonlar:

10. $t_1 + t_2 = 6$

11. $t_1 + t_7 = 10$

12. $t_2 + t_3 = 7$

13. $t_2 + t_5 = 7$

14. $t_2 + t_7 = 8$

15. $t_2 + t_8 = 10$

16. $t_2 + t_3 + t_4 = 10$

17. $t_3 + t_4 = 8$

18. $t_3 + t_5 = 10$

19. $t_4 + t_5 = 8$

20. $t_4 + t_6 = 9$

21. $t_4 + t_7 = 9$

Tablo 4.22'de i'ler işlem no.larını, j'ler istasyonları, d_j ise istasyonların boş sürelerini göstermektedir.

Tablo 4.22. Olası istasyonlar için Oluşturulan Tablo

J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
d _j	6	8	5	7	5	4	4	2	2	4	0	3	3	2	0	0	2	0	2	1	1
1																					
1	1									1	1										
2		1								1		1	1	1	1	1					
3			1									1				1	1	1			
4				1												1	1		1	1	1
5					1							1						1	1		
6						1														1	
7							1				1			1							1
8								1							1						
9									1												

Tablo 4.22'deki aday matrisinden rastgele bir çözüm seçilir ve bu çözüm, olası çözüm matrisine taşınır. Rastgele seçtiğimiz çözüm, Tablo 4.23'deki gibi olsun (Her işin bir istasyona atanmış olması gerekir ve bir iş, birden çok istasyonda gözükemez).

Şimdi, eniyi dengeleme için irdeme yapalım :

a) Eğer $\sum d_j < C$ ise eniyi sonuca varılmış demektir. Burada $\sum d_j = 23 > C = 10$ olduğundan varılmamıştır.

b) Eğer $d_j \geq C$ ise, olası çözüm matrisinden bazı istasyonlar çıkartılacak, bunların yerine yeni istasyonlar özgülenecektir. Çıkarılan ve özgülenen istasyonların boş süreleri farkı bulunacaktır. Burada yeniden irdeme yapılır. Şöyle ki:

Tablo 4.23. İlk Olası Çözüm

K	1	2	3	4	5	6	7
J	11	15	5	6	3	4	9
d_j	0	0	5	4	5	7	2
1	1						
2		1					
3					1		
4						1	
5			1				
6				1			
7	1						
8		1					
9							1

$$y = d_j(\text{çıkan}) - d_j(\text{giren})$$

a- Eğer $y \leq 0$ ise eski çözüm yeni çözümden iyidir.

b- Eğer $y > 0$ ise yeni çözüm eski çözümden iyidir.

Bunu problemimize uygulayalım ve Tablo 4.24'ü oluşturalım.

Buna göre yeni çözüm matrisi, Tablo 4.25'deki gibi olur.

$d_j = 3 < (C = 10)$ olduğundan, enuygun dengeleme yapılmıştır.

Şekil 4.12'de, çözüm gösterilmiştir.

İstasyon No	1	2	3	4	5
İstasyon	1-7	2-8	3-5	4-6	9
Boş süreler	0	0	0	1	2
İstasyon süresi	10	10	10	9	8

Şekil 4.12. Örnek 4.9.'a ilişkin Enuygun Çözüm

Tablo 4.24. İkinci Olası Çözüm Arama Aşaması

Çıkan İstasyonlar			Giren İstasyonlar			Toplam Süre
Aday İstasyon	İşlemler	d j	Aday İstasyon	İşlemler	d j	
3	3	5	17	3-5	0	10
5	5	5				
		10				
4	4	7	19	4-6	1	9
6	6	4				
		11				

Tablo 4.25. İkinci Olası Çözüm

K	1	2	3	4	5
J	11	14	17	19	9
d j	0	0	0	1	2
1	1				
2		1			
3			1		
4				1	
5			1		
6				1	
7	1				
8		1			
9					1

Şimdi denge kaybını hesaplayalım:

$$D(\%) = \frac{nC - \sum t}{nC} = \frac{5.10 - 47}{5.10} = \% 6$$

4.1.9. Probabilistik Hat Dengeleme [Elsayed, Boucher (1985)]

Uygulamada rastlanan pek çok olayda işlem süreleri ya belli bir dağılıma uyar ya da tümüyle bağımsız olarak değişimler gösterir. Bu tür hat dengelemeye, literatürde "Probabilistik Hat Dengeleme" denir.

Probabilistik hat dengeleme uygulamalarında iki tip yaklaşım vardır:

1- i. işlem süresi; μ ortalamalı ve σ standart sapmalı bir normal dağılıma uymaktadır.

2- İşlem sürelerinin istatistiksel dağılımı bilinmemekte, yalnızca μ ortalama ve σ standart sapma değerleri bilinmektedir.

4.1.9.1. Sürelerin Normal Dağılıma Uyuma Durumu

Bu durumda, P (Predecessor) ve F (Follower) matrislerini oluşturarak işleme başlanır. P matrisi her iş ögesinden önce gelen ilk ögeleri, F matrisi ise her iş ögesinden sonra gelen ilk ögeleri gösterir.

1- İlk olarak, P matrisinin yalnızca sıfırlar içeren satırı alınır. Eğer birden çok satırda bu durum söz konusu ise, enbüyük süreye sahip işlem seçilir (Her satır bir işleme karşı gelmektedir).

2- Seçilen bu satırla aynı satır numarasına sahip olan F matrisi satırına gidilir ve bu satırdaki numaralar alınır. P matrisine geri dönülerek aynı işlemler yinelenir.

3- ($EnbT \leq ST \leq C$) kısıtına bağlı kalarak, 1 ve 2 no.lu adımlar, P matrisindeki tüm satırlar kullanılana kadar sürdürülür (ST: İş istasyonu süresi, C: çevrim süresi).

Yukarıda belirlenen işlem sırasına uyularak işlemler, istasyonlara özgülenmeye başlanır.

Teorem 4.1.

İki bağımsız rassal değişken, sırasıyla μ_1 ve μ_2 ortalamalı, σ_1^2 ve σ_2^2 varyanslı dağılıma uyuyorlar ise, bunların toplamı da $\mu_1 + \mu_2$ ortalamalı ve $\sigma_1^2 + \sigma_2^2$ varyanslı normal dağılıma uyar.

Bu teoremden yararlanarak, eğer bir istasyona özgülemek için elimizde iki işlem varsa, birinci işlemi özgülediğimizde istasyon süresinin, çevrim süresini aşmama olasılığını hesaplar ve bunu, istasyona ikinci işlemi atadığımızda istasyon süresinin çevrim süresini aşmama olasılığıyla karşılaştırırız:

$$Z = \frac{ST - C}{\sigma_{istasyon}}$$

denklemleriyle hesapladığımız z değerini kullanarak, normal dağılım tablosundan $P(ST \leq C)$ değerini okuruz. Eğer bu olasılık, önceden verilmiş olan olasılıktan küçük ise bu işlemi, istasyona özgüleriz ve ikinci bir işlem için $P(ST \leq C)$ değerini hesaplarız. Bu olasılık, (I: güvenirlilik derecesi) değerini aşana kadar, istasyona işlemleri özgülemeyi sürdürürüz (Burada, yüksek süreli işlemlere, olası olduğunca öncelik verilir).

Tüm işlemler istasyonlara özgülenene kadar bu hesaplamalar sürdürülür.

4.1.9.2. Sürelerin Dağılımının Bilinmemesi Durumu

Bu durumda birinci tip yaklaşıma benzer bir yol izlense de en önemli ayırım, istasyon süresinin çevrim süresini aşması olasılığının ölçümünde Chebyshev eşitsizliğinin kullanılmasıdır.

Teorem 4.2.

Elimizde, dağılımın ortalaması ve standart sapması dışında hiçbir bilgi yoksa (Dağılımın şekli hakkında hiçbir şey bilinmiyorsa), değerlerin

simetrik dağılımlarda $1 - \frac{1}{2k^2}$ 'den

asimetrik dağılımlarda $1 - \frac{1}{k^2}$ 'den

daha büyük bir yüzdesi aralığı içine düşer,

Asimetrik dağılımlarda:

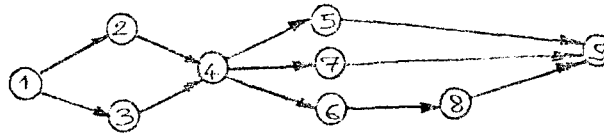
$$P(|x - \mu| > k\sigma) \leq \frac{1}{k^2} \quad (k > 0),$$

Simetrik dağılımlarda:

$$P(|x - \mu| > k\sigma) \leq \frac{1}{2k^2} \quad (k > 0).$$

ÖRNEK 4.10.

Öncelik diyagramı ve iş öğeleriyle ilgili ortalama ve standart sapma değerleri Şekil 4.13'de verilen montaj hattının dengelenmesi istenmektedir.



Öge	1	2	3	4	5	6	7	8	9
μ_i	5	3	4	5	1	4	5	4	6
σ_i	0.5	0.2	0.6	0.1	0.4	0.5	0.7	0.8	0.6

Şekil 4.13. Örnek 4.10.'a ilişkin Öncelik Diyagramı ve Süreler

Güvenilirlik derecesi % 80 ve çevrim süresi $E=13$ olmak üzere, işlem sürelerinin normal dağılıma uyduğunu kabul ederek montaj hattını dengeleyelim.

P Matrisi				F Matrisi			
1	0	0	0	1	2	3	0
2	1	0	0	2	4	0	0
3	1	0	0	3	4	0	0
4	2	3	0	4	5	7	6
5	4	0	0	5	9	0	0
6	4	0	0	6	8	0	0
7	4	0	0	7	9	0	0
8	6	0	0	8	9	0	0
9	5	7	8	9	0	0	0

P ve F matrisleri oluşturulduktan sonra şu adımlar izlenir:

1- P matrisinde yalnızca sıfırları içeren birinci satır ile işleme başlanır.

2- Birinci işlem, birinci istasyona özgülenir.

$$T_1 = 5, \quad ST = 5$$

3- F matrisinin birinci satırından 2 ve 3 değerleri alınır.

4- P matrisinin 2. ve 3. satırlarına gidilir. Bu satırlarda 1 değeri vardır, yani 2 ve 3 yapılmadan önce, 1 no.lu işlemin yapılmış olması gerekir. Bu koşul yukarıda sağlanmıştı.

5- Şimdi, 2. ve 3. işlemler arasında seçim yapmak gerekmektedir. 3. işlemin ortalama işlem süresi, 2. işlemten büyük olduğundan 3. işlem alınır.

6- Daha önce verilen Z formülü kullanılarak 3. işlemi özgüleyip özgüleyemeyeceğimiz kontrol edilir:

$$T_3 = 4, \quad ST_1 = 9, \quad Z_{\%20} = -0.84$$

$$\sigma_{ist} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{(0.5)^2 + (0.6)^2} = 0.781$$

$$Z = \frac{9-13}{0.781} = -5.1215 < -0.84$$

$P(ST > C) \approx 0 < 0.2$ (Özgüleme yapılabilir)

7- Çevrim süresini hâla dolduramadığımız için diğer bir işlemi özgüleyip özgüleyemeyeceğimizi araştırmalıyız. Bu nedenle, P matrisinde 3 no.lu satırı kullandığımızdan, F matrisinde 3. no.lu satıra gideriz. Buradan 4 değerini alıp P matrisinde döneriz.

8- Elimizde 2 ve 4 no.lu işlemler, özgülenmek üzere bulunmaktadır. 4 no.lu işleme başlamak için 2 no.lu işlemin bitmiş olması koşul olduğundan, önce 2 no.lu işlemi özgülemeliyiz.

$$T_2 = 3, \quad ST_1 = 12$$

$$\sigma_{ist} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = \sqrt{(0.5)^2 + (0.2)^2 + (0.6)^2} = 0.806$$

$$Z = \frac{12-13}{0.806} = -1.24 < -0.84$$

$P(ST > C) \approx 0.1075 < 0.2$ (Özgüleme yapılabilir)

9- P matrisinde 2 no.lu satırı kullandığımız için F matrisindeki 2 no.lu satıra gideriz. Buradan 4 değerini alıp, P matrisinin bu no.lu satırına gideriz. 4. satırda 2 ve 3 değerleri vardır, yani artık 4. işlemi yapabiliriz. Ama

$$T_4 = 5, \quad ST_1 = 17 > C$$

olacağından, bu özgüleme olası değildir. Bu istasyon kapanmıştır yeni istasyona geçmemiz gerekir.

10- Aynı şekilde, tüm işlemleri istasyonlara özgüleyerek çözüme ulaşırız.

Çözüm, Tablo 4.26'da gösterilmiştir.

Tablo 4.26. Örnek 4.10.'un Çözümü

İstasyon No	Öğeler No	T _k	ST _i	Boş Süre
1	1 3 2	5 4 3	12	1
2	4 7 5	5 5 1	11	2
3	6 8	4 4	8	5
4	9	6	6	7

K = 4 (İstasyon sayısı)

$$LE = \frac{\sum ST_i}{nC} = \frac{37}{4.13} = \% 71,1538 \text{ (Hat etkinliği)}$$

$$D(\%) = \frac{nC - \sum t_i}{nC} = \frac{4.13 - 37}{4.13} = \% 28,8462 \text{ (Denge Kaybı)}$$

4.1.10. Tonge (Gruplama) Yöntemi [Tonge (1961)]

Bu yöntem, üç adımdan oluşmaktadır:

1. adımda, iş öğesi gruplarının tek bir bileşik öğe içinde toplanmasıyla, denge hattı problemi oldukça basitleştirilir. Bileşik öğeler, içindeki iş öğelerinin toplam işlem süreleri çevrim süresinden küçük veya eşit ve öncelik koşullarını sağladıkları için, montaj hattının bir üyesidirler.

2. adımda, montaj hattının azaltılmış sayıdaki öğeleri, istasyonlara özgülenir ve birden çok istasyona özgülenmiş iş öğeleri, yan problemler olarak ele alınır.

3. adımda ise, istasyonlar arası iş yükü, eşit bir düzeye getirilmeye çalışılır. Bu, işlem öğelerinin istasyonlar arası transferi ile başdırılır.

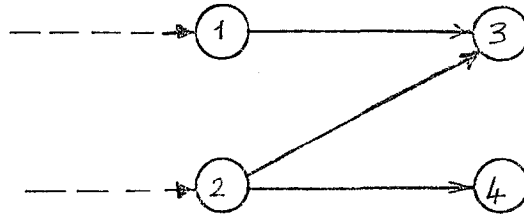
Şimdi adımları sırayla gözden geçirelim:

a- Grupların Kurulması : Öncelik koşullarının özelliğı, problemde iki türlü birleştirme yapılmasını gerektirir. Bunlar, aralarında tümüyle sıralanmış öğelerin veya hiç sıralanmamış öğelerin gruplanabileceğidir. Bu özelliklere göre Tonge, üç gruplama yolu önerir:

1- Zincir: Aralarındaki sıra tümüyle karşılaştırılmış olan, ilk öğesi dışında bir izleyene sahip öğeler, "zincir" adı verilen grupta toplanır.

2- Set: Aralarında hiçbir öncelik koşulu olmayan, aynı öncül ve artçıl öğelere sahip öğeler, "set" adı verilen grupta toplanır.

3- Z: İki ön öğesi aynı öncül öğeler ve iki arka öğesi aynı artçılara sahip dört iş öğesi "Z" adı altında gruplanır. Bir Z için ön öğelerden birinin, doğrudan izleyeninin arka öğelerden birisinin olması ve diğer ön öğenin doğrudan izleyenlerinin iki arka öge olması gerekir. Arka öğelerin, başka doğrudan öncül öğeleri yoktur. Örneğın Şekil 4.14'de dört öge, bir Z oluşturur. 1 ve 2 ön öğeler, 3 ve 4 arka öğelerdir.



Şekil 4.14. Z Türü Gruplamaya Bir Örnek

Gruplamanın amacı, işlem sonucunda bileşik öğelerden oluşmuş tek bir zincir elde etmektir. Bunun için üç gruplama koşulu, öncelik diyagramında sonuç elde edilinceye kadar arka arkaya uygulanır.

b- İş Öğelerinin İstasyonlarda Gruplanması: Gruplanmış iş öğelerinin istasyonlara özgülenmesi için kullanılan yol şudur:

1- İlk bileşik öğelerden başlayarak istasyon sürelerine göre öğeler, istasyonlara özgülenir ve tüm öğeler bitinceye kadar işlem sürdürülür. İşlem sonucunda eğer her iş öğesi tek bir istasyona özgülenmişse doğrudan doğruya, istasyonların iş yüklerinin eşitlenmesi işlemine geçilir.

2-a- Eğer bir bileşik öğe, birden çok istasyona özgülenmişse, bu bileşik öğe parçalanır. İçindeki öğeler, zaman gereklerine ve aralarındaki öncelik koşullarına göre, iki istasyon arasında dağıtılır. Bu yolla, tüm yan problemler ele alınır ve istasyonlar arası dağıtımlarına çalışılır. Eğer başlangıçtaki istasyon sayısı ile istenilen özgüleme başarılamazsa, istasyon sayısının arttırılarak özgülemelerin yinelenmesi gerekir.

2-b- Eğer bir bileşik öğe tek bir istasyona özgülenmişse ve aynı istasyonda boş süre bulunuyorsa, ek öğelerin aynı istasyona özgülenmesine çalışılır ve istasyon sayısı, olası olduğunca azaltılır.

c- Yeniden Gruplama İşlemleri : İşlerin istasyonlara özgülenmesi bazı yollarla başarılamazsa, 2. adımda uygulanabilecek beş yeniden gruplama işlemi vardır. Bunlar; doğrudan transfer, karşılıklı değişim, dizisel gruplama, tüm gruplama ve bitirici gruplamadır. Yöntemlerden ilk üçü; bağımsız olarak ele alınabilecek yan problemleri kurmak için kullanılır.

Dolaysız transfer ancak, yalnızca iki bileşik öğenin bulunduğu durumlara uygulanır. Bu yöntem, basitçe iş öğelerini, bir bileşikten diğerine aktararak, gerekli toplam istasyon sayısını azaltmaya çalışır.

Karşılıklı değişim, yine iki bileşikli problemlere, doğrudan Z transferinin başarısız olduğu durumlarda uygulanır. Bu yöntem, bileşiklerin birinde bulunan büyük işlem süresini diğerine verip, yerine daha kısa işlem süreli bir öğe alarak çalışır.

Dizisel gruptama, çok sayıda bileşik olduğu durumlarda kullanılır ve önceden başlayarak, verilen bileşik öge grubu bir istasyona özgülenmeye çalışılır. Geri kalan bileşikler, enaz istasyon sayısına özgülenebiliyorsa, işlem başarılmıştır. Aksi durumda arkadan başlanarak aynı işlem yinelenir.

Tüm gruptama, önden ve arkadan çalışarak tüm iş öğelerinin istasyon sayısını gerçekleyecek şekilde özgülemesi başarılamıyorsa geçersizdir.

d- Denge Sonuçlarını Düzenleme : Tonge'un yönetiminde 3. adım, engeniş içerikli istasyonun iş yükünü azaltarak, istasyonlararası iş yükü dağıtımını aynı düzeye getirmeye çalışır. Bunun için 2. adımda kullanılan yeniden gruptama yöntemlerinin aynıları kullanılır.

İşlem böylece sürdürülür:

1- Verilen çevrim süresi içinde enyüklü istasyonun, olası enküçük süresini bul. Eğer enyüklü istasyonun toplam yükü bundan büyük değilse hiçbir gelişme olası değildir.

2- Yükü, enbüyük istasyonu ele doğrudan transfer yönteminin kullanılmasıyla iş yükünü, ön ve arkadaki istasyonlarla eşit düzeye getirmeye çalış, işlem başarılı olursa 1'e dön, aksi durumda 3'e geç.

3- Yükü, enbüyük istasyona komşu olan istasyonları ele alarak karşılıklı değişim yönteminin uygulanmasıyla iş yükünü eşitlemeye çalış. İşlem başarılı olursa 1'e dön, aksi durumda 4'e geç.

4- Yükü enbüyük istasyonu ve komşularını ele alarak doğrudan transfer ve karşılıklı değişim yöntemlerinin bir arada kullanılmasıyla iş yükünü eşitlemeye çalış. İşlem başarılıysa 1'e dön, aksi durumda hiçbir sonuç vermesi olası değildir.

4.1.11. Thangavelu - Shetty Modeli [Thangavelu, Shetty (1971)]

Montaj hatlarının dengelenmesinde bir diğer doğrusal programlama tekniği, 1971 yılında Thangavelu ve Shetty tarafından

geliştirilmiştir. Bu model, şimdiye kadar geliştirilenler arasında enverimli ve enuygulanabilir olarak görülmektedir.

$J_1, J_2, \dots, J_n$ ile gösterilen n tane iş ögesi, $t_1, t_2, \dots, t_n$ sürelerine sahip olsun ve bu iş ögeleri arasında bir öncelik sırası bulunsun. Eğer J_u iş ögesinin J_v 'den önce yapılmasını gerektiren bir öncelik ilişkisi varsa iş ögeleri, $u < v$ olacak şekilde sıralanmalıdır.

i istasyon numarasını, J iş ögesi numarasını ve k gereksinim duyulan enbüyük istasyon sayısını gösterebiliriz. Bu durumda modelimizin karar değişkenlerini şöyle tanımlayabiliriz :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } J \text{ iş ögesi, } i \text{ istasyonuna özgülenirse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$
$$[i = 1, 2, \dots, k]$$

Bir istasyona özgülenen tüm iş ögelerinin sürelerinin toplamı, çevrim süresini aşmamalıdır. Bunu bir denklemle gösterirsek :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} t_j \leq C \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (4.1)$$

Bu arada tüm iş ögelerinin mutlaka bir istasyona özgülenmesi gereklidir :

$$\sum_{i=1}^k x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

Öncelik sırası ise şöyle gösterilebilir :

$$x_{hv} \leq \sum_{i=1}^h x_{iu} \quad ; \quad h = 1, 2, \dots, k \quad ; \quad (u, v) \in R \quad (4.3)$$

$R = \{(u, v) \mid J_u \text{ iş ögesi, } J_v \text{'den hemen önce gelir}\}$

Eğer R adet birinci dereceden öncelik ilişkisi varsa; (4.3) eşitsizliğinden de anlaşılacağı gibi, bu öncelik sıralarını göstermek için $(k.R)$ tane eşitsizlik gereklidir.

Amaç, montaj hattını kurmak için gerekli istasyon sayısını enküçükmektir. İstasyon sayısı, $(\sum_{j=1}^n t_j/C)$ 'den büyük enküçük tamsayıdan daha küçük olamaz.

k_0 ; kuramsal olarak olası olan enaz istasyon sayısını göster-sin. Bu durumda amaç işlevi,

$$\text{Enk } Z = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$$C_{ij} = \begin{cases} t_j [\sum_{h \in F} t_h + 1] (i - k_0 - 1) & , i = k_0 + 1, \dots, k; j \in F \\ 0 & , \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

ve $F = \{j/J_j \text{ iş ögesi, herhangi bir iş ögesinden önce gelmiyor}\}$ (4.4)

Bu amaç işlevi, k_0 'dan daha çok istasyon kullanılması mâli-yetini çok yüksek yapar ve iş ögelerinin, hat üzerinde olası olan en-erken iş istasyonuna özgülenmesini sağlar. Gerçekte, bir istasyon sonra oluşan özgüleme, önceki özgülemelerin mâliyetleri toplamından daha büyük bir mâliyete sahiptir. Ancak, ilk k_0 iş istasyonu kesin-likle kullanılmak zorunda olduğundan, bunlara bir mâliyet özgülemeye gerek yoktur. Ayrıca, yalnızca, kendisinden sonra yapılacak iş ögesi bulunmayan görevler, pozitif mâliyete gereksinim duyarlar. Çünkü bu iş ögeleri, hatta enson yerleştirilebilirler. (4.3) eşitsizliğini, şu şekilde de gösterebiliriz:

$$\sum_{i=1}^k (k-i+1)(X_{iu} - X_{iv}) \geq 0, \quad (u,v) \in R$$

$$X_{iu} = \begin{cases} 1 & , i=r \text{ için} \\ 0 & , \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$X_{iv} = \begin{cases} 1 & , i=h \text{ için} \\ 0 & , \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

(4.5)

(4.3) ve (4.5) eşitsizlikleri yalnızca, $r \leq h$ (r iş istasyonu, h iş istasyonundan önce) olduğu durumda gerçekleşir. Kullanılan yöntem, kısıtların eşitsizlik durumunda verilmesini gerektirir. Bu nedenle (4.2) eşitsizliği, $(n+1)$ tane eşitsizlik olarak yeniden düzenlenir:

$$\begin{aligned} 1 - \sum_{i=1}^k X_{ij} &\geq 0, & j=1, 2, \dots, n \\ -n + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij} &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Sonuç olarak modelimiz şöyledir:

Amaç denklemi:

$$\text{Enk } Z = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (4.7a)$$

Kısıt denklemleri :

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} t_j \geq C, \quad i=1, 2, \dots, k \quad (4.7b)$$

$$1 - \sum_{i=1}^k X_{ij} \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (4.7c)$$

$$-n + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij} \geq 0, \quad (4.7d)$$

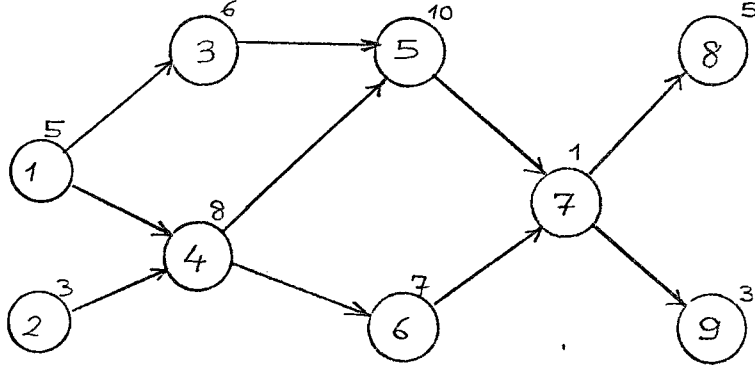
$$\sum_{i=1}^k (k-i+1)(X_{iu} - X_{iv}) \geq 0, \quad (u,v) \in R \quad (4.7e)$$

$$X_{ij} = 0, 1 \quad (4.7f)$$

Genellikle modelde, $(k+n+R+1)$ adet eşitsizlik elde edilir.

ÖRNEK 4.11.

Şekil 4.15'de verilen montaj hattını dengeleyelim.



Şekil 4.15. Örnek 4.11'e İlişkin Öncelik Diyagramı

Çevrim süresi $C=16$ için enaz istasyon sayısını veren modeli kuralım:

İş ögesi sayısı; $n=9$

$$\text{Enaz istasyon sayısı } k_o = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{C} = \frac{48}{16} = 3$$

Ençok istasyon sayısı $k=5$

Yalnızca J_8 ve J_9 iş öğeleri ile, 4. ve 5. iş istasyonları pozitif mâliyete sahip olacaklardır.

Mâliyet matrisi:

$$C_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 45 & 27 \end{bmatrix}$$

$$C_{4,8} = 5(8+1)^{(4-3-1)} = 5$$

$$C_{4,9} = 3(8+1)^{(4-3-1)} = 3$$

$$C_{5,8} = 5(8+1)^{(5-3-1)} = 45$$

$$C_{5,9} = 3(8+1)^{(5-3-1)} = 27$$

Amaç denklemi:

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \\ &= 5X_{4,8} + 3X_{4,9} + 45X_{5,8} + 27X_{5,9} \end{aligned}$$

Kısıt denklemleri:

$$\sum_{j=1}^9 X_{ij} t_j \leq 16 \quad (i=1, 2, \dots, 5)$$

$$1 - \sum_{i=1}^5 X_{ij} \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, 9)$$

$$-9 + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^9 X_{ij} \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(X_{i1} - X_{i3}) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(X_{i1} - X_{i4}) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(X_{i2} - X_{i4}) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(X_{i3} - X_{i5}) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(X_{i4} - X_{i5}) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(x_{i4}-x_{i6}) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(x_{i5}-x_{i7}) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(x_{i6}-x_{i7}) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(x_{i7}-x_{i8}) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^5 (6-i)(x_{i7}-x_{i9}) \geq 0$$

$$x_{ij} = 0, 1$$

4.1.12. Enkisa Yol Yöntemi [Klein (1963)] [Gutjahr (1964)]

Bu yöntem; 1963 yılında Klein ve 1964 yılında Gutjahr tarafından ortaya atılmış olup, şebeke analizine dayalı enkisa yol yöntemi ile montaj hatlarının dengelenmesi probleminin çözümünü ele alır. Gutjahr yönteminde, değerlendirilmesi gereken yollar büyük oranda azaltıldığı için, pratik değeri olan bu yöntem açıklanacaktır.

Enkisa yol yönteminde çözüm tekniği "mertebe" kavramına dayanır. Kısmen sıralanmış bir (B,p) setinin çevrim süresi gözönüne alınmaksızın ilk istasyona özgülenebilen bir yan setine, bir "mertebe" adı verilir. Burada B seti $(I_1, I_2, \dots)$ iş öğelerini içerir, p ise bu iş öğeleri arasındaki öncelik koşulunu gösterir. Dolayısıyla bir mertebe, herhangi bir başka iş öğesinin önceden işlenmesini gerektirmeyen ve öncelik koşullarına uyan bir iş öğesi grubudur. C_i ; $i = 0, 1, 2, \dots, r$ olmak üzere mertebeleri, $C_0 = \emptyset$; içinde hiçbir iş öğesi bulunmayan boş mertebeyi, $C_r = B$ ise, tüm iş öğelerini içeren mertebeyi gösterebilir.

Her mertebeye, içindeki iş öğelerinin işlem sürelerinin toplamına eşit bir değer özgülenir, yani:

$$T(C_0) = 0$$

$$T(C_i) = \sum_{X \in C_i} T(X)$$

Bu durumda, C_i mertebesi i düğümüne karşılık gelmek üzere, mertebelerin düğümler olarak kullanıldığı bir N şebekesi tanımlanabilir. N şebekesinde

$$C_i \subset C_j \text{ ve } T(C_j) = T(C_i) \leq C$$

koşullarının sağlanması durumunda i ve j düğümleri arasında i_j yönlendirilmiş oku bulunur. Her yönlendirilmiş i_j okuna özgülenen uzunluk

$$C - (T(C_j) - T(C_i))$$

şeklinde tanımlanır.

Boş kümeye karşılık gelen 0 düğümüne hiç bir ok girmez ve r düğümünden çıkış yoktur. Dolayısıyla N , 0 ile r arasında sınırlı bir kümedir.

Çözüm elde edilebilmesi için gerekli mertebelerin üretimi işlemi çeşitli yöntemlerle sağlanabilir. Held ve Jackson yaklaşımlarında kullanılan iş öğesi kümeleri ile mertebeler kavramları oldukça benzerdir. Gutjahr, mertebelerin üretimi için verilen yöntemin, aşağıdaki önceliklere sahip olduğunu gösterir:

- 1) Üretim sürecinde hiçbir küme yinelenmez.
- 2) Üretilen tüm kümeler, mertebelerdir.
- 3) Tüm mertebeler üretilir.

Boş küme, üretilen ilk mertebeler olarak düşünülür. Kendilerini önceleyen başka iş bulunmayan iş öğeleri, ilk aşamada toplanır. Bu öğeler kümesini, D olarak adlandıralım. D kümesinin her yan kümesi

bir mertebedir. İlk aşama sonunda, D kümesinin içindeki öğeler işaretlenir ve geri kalanlar ele alınır.

C mertebesini izleyici olarak, C'nin içindeki iş öğelerinden enaz birisinin hemen ardından gelen ve C'de bulunmayan bir öğe tarafından öncelermeyen bir iş öğesine denir. Herhangi bir C mertebesinde, C'nin işaretlenmiş ilk izleyicileri, $F(C)$ listesinde toplanır. Her SCF(C), CUS yan kümesi $(k+1)$ aşamasının bir mertebesini oluşturur. k aşamasındaki tüm mertebeler gözönüne alınıp, $F(C)$ listesindeki her iş öğesi işaretlendikten sonra aynı işlem, $(k-1)$ aşama için yinelenir. Tüm öğeler işaretlendiğinde, mertebelerin üretimi işlemi tamamlanmıştır.

4.1.13. Raouf-Tsui-El-Sayed Yöntemi [Raouf, Tsui, El-Sayed (1980)]

A.Raouf, C.L.Tsui ve E.A.El-Sayed tarafından 1980 yılında geliştirilmiş olan bu bulgusal yöntem, literatürde yer alan tüm üretim hattı dengeleme problemlerinde denenmiş ve farklı koşullarda, tutarlı ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu dizgisel yöntemin temeli, iş öğelerine öncelikler atanması ve iş istasyonlarına atama yapılırken öncelikli öğelerin seçilmesi ilkesine dayanır. Yöntem, belirli bir çevrim süresi için enaz istasyon sayısını saptar.

Yöntemde kullanılan terimler, aşağıda tanımlanmıştır:

- k : İstasyon sayısı
- K : Hat üzerindeki enbüyük istasyon sayısı
- i : İş öğesi numarası
- N : Toplam iş öğesi sayısı
- C : Çevrim süresi
- S : İstasyon süresi
- P : Öncül iş matrisi
- F : Artçıl iş matrisi
- SI : Düzgünlük indeksi
- Eff : Etkenlik
- LST : Ergeç bitirilme zamanı (Bir iş öğesinin, kendinden hemen önce gelen tüm iş öğelerinin tamamlanması durumunda, enerken bitirilme zamanı)

GS : Gevşek süre

Bu terimler kullanılarak, şu eşitlikler ve eşitsizlikler yazılabilir:

$$1 \leq k \leq K$$

$$1 \leq i \leq N$$

$$\text{Enb } t_i(k) \leq S_k \leq C$$

$$SI_k = \sqrt{(S_{\text{enb}} - S_k)^2} \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$\text{Eff} = \frac{\sum_{i=1}^K S_i}{K \cdot C}$$

$L_{\text{LST}}(i) = \text{Enb } [i\text{'den hemen önce gelen işlerin engeç bitirilme (LST) zamanları}] + t_i$

$$GS(i) = LST(i) - t_i - LST(i\text{'den hemen önce gelen iş öğeleri})$$

Yöntemin Tanımı:

Yöntem, iki aşamadan oluşur:

1) Kritik yolun saptanması ve iş öğelerine önceliklerin özgülmesi.

2) İş istasyonlarına iş öğelerinin özgülmesi.

İlk aşamada yapılacak işlemler şunlardır:

1) Enaz iki aşamada bitirilen, son iş öğesi/öğeleri için kritik yol saptanır. Bunu yaparken, iş öğeleri için engeç bitirilme zamanları ve gevşek süreler hesaplanır. Gevşek süresi sıfır olan öğeler, kritik yol üzerindedir.

2) Kritik yol üzerinde çıkan kritik iş öğelerine öncelik özgülür.

3) Kendinden hemen sonra gelen iş öğelerinin, öğe süreleri toplamı çevrim süresine eşit veya büyük olan iş öğelerine öncelik özgülendir. Bunu yaparken F ele alınır ve buradan, öğe süresi çevrim süresine eşit veya büyük olan sıralar saptanarak, o sıranın iş öğesine öncelik özgülendir.

4) Kritik bir iş öğesinin doğrudan önünde gelen ve diğer bir kritik öğenin hemen arkasında olan ve de birikimli toplamı çevrim süresinden büyük olan iş öğelerine öncelik özgülendir. Bunun için P'de kritik öğelerden hemen önce gelen ve birikimli toplamı çevrim süresine eşit veya büyük olan iş öğeleri saptanır.

5) Kritik iş öğelerinin doğrudan önünde gelen ve bunlar arasında enküçük öğe süresine sahip olan iş öğelerine öncelik özgülendir. Bunu yaparken, P'de kritik öğeler işaretlenir ve ortalama öğe süresi enküçük olan sırayı oluşturan öğelere öncelik özgülendir.

İkinci aşamada, iş öğeleri iş istasyonlarına özgülendir. Bu özgüleme için "enbüyük aday öncelik kuralı" uygulanır. Bu kurala göre, önce birinci aşamada öncelik verilmiş olan iş öğeleri, azalan öğe sürelerine göre istasyonlara özgülendirler. Daha sonra, önceliksiz öğeler yine aynı şekilde azalan öğe sürelerine göre istasyonlara özgülendirler.

İş öğelerinin istasyonlara özgülenmesinde izlenen aşamalar, aşağıda özetlenmiştir:

1) P'den, sırasında yalnızca sıfır olan iş öğeleri saptanır. Bunlar "uygun öğeler" olarak belirlenir.

2) "Uygun öğeler" grubundaki öncelikli ve önceliksiz iş öğeleri ayrılarak, azalan öğe sürelerine göre dizilirler. Bunu yaparken önce, öncelikli iş öğeleri ele alınır. Bunlar özgülendikten sonra, önceliksiz iş öğeleri, uygun iş istasyonlarına özgülendirler.

3) F'de, bir iş istasyonuna özgülenmiş iş öğesinin sırasında bulunan diğer iş öğeleri saptanır. Saptanan bu iş öğelerinin P'deki sıraları ele alınır ve özgülenmiş iş öğesi yerine sıfır konulur.

Tablo 4.27. Örnek 4.12. için ikili Öncelik Matrisleri

P Matrisi				F Matrisi				
1	0	0	0	1	2	3	0	0
2	1	0	0	2	21	0	0	0
3	1	0	0	3	4	0	0	0
4	3	0	0	4	21	5	0	0
5	4	0	0	5	6	7	0	0
6	5	0	0	6	8	0	0	0
7	5	0	0	7	8	14	0	0
8	6	7	0	8	9	0	0	0
9	8	0	0	9	10	11	12	13
10	9	0	0	10	15	0	0	0
11	9	0	0	11	15	0	0	0
12	9	0	0	12	15	0	0	0
13	9	0	0	13	17	18	0	0
14	7	0	0	14	19	0	0	0
15	10	11	12	15	16	18	0	0
16	15	0	0	16	17	0	0	0
17	16	13	0	17	20	0	0	0
18	13	15	0	18	19	0	0	0
19	14	18	0	19	0	0	0	0
20	17	0	0	20	0	0	0	0
21	2	4	0	21	0	0	0	0

Tablo 4.28. F'deki Sıraların Birikimli Toplamları

Öge	F'deki Sıralar için Birikimli Toplam
1	12
2	7
3	5
4	16
5	12
6	7
7	10
8	5
9	10
10	5
11	5
12	5
13	18
14	2
15	8
16	13
17	3
18	2
19	0
20	0
21	0

Kritik öğelerden hemen önce gelen ve birikimli toplamı çevrim süresine eşit veya büyük olan iş öğeleri yoktur (Tablo 4.29). Bu nedenle 4. aşamada da öncelik özgülmemiştir.

Tablo 4.29. P'deki Kritik Öğelerin Sırasındaki Tüm Ortalama Öğe Süreleri

Kritik Öğeler	P'deki Kritik Öğelerin Sırasındaki Tüm Ortalama Öğe Süreleri
1	0
3	4
4	9
5	5
7	9
8	12
9	7
11	5
15	5
16	5
17	8
18	10
19	8
20	13
21	8

5. aşamada en küçük ortalama öge süresi olan 10 ve 12 no.lu iş ögelerine öncelik verilmiştir.

Bu problemdeki önceliksiz öğeler ise 2, 6, 13 ve 14'tür. İkinci aşamada ise 1 no.lu öge, yöntemi uygulamaya başlamak için uygun tek ögedir. Böylece 1. öge 1. istasyona özgülenir ve istasyon süresi 4 birim olur. F'de 1. ögeye karşı gelen ögeler 2 ve 3'tür. P'de 2 ve 3 no.lu ögelere karşı gelen sıralarda 1 yerine sıfır konulunca, sıralar sıfırlanmış olur. Böylece 2 ve 3 no.lu ögeler, "uygun öge" olarak nitelendirilirler. Öncelik listesi tarandığında 3. ögenin öncelikli, 2. ögenin ise önceliksiz olduğu görülür. "Enbüyük aday öncelik kuralı" na göre 3 no.lu iş 1. istasyona özgülenir; istasyon süresi 13'e yükselir. F'den 3 no.lu ögeye karşı gelen sırada 4. öge vardır. P'de 4. ögenin sırasına 3 yerine sıfır konduğunda tüm sıra sıfırlanır ve 4. iş ögesi öncelik listesinde de yer aldığı için 1. istasyona özgülenir. Aynı şekilde sürdürüldüğünde, 1. istasyona özgülleme yapmak üzere iki seçenekle karşılaşılır: Öncelik listesinde

yer alan 5 no.lu öge ve daha önceden bulunmuş, önceliksiz 2 no.lu öge. Bunlardan 5 no.lu iş, istasyon süresini 27'ye çıkardığı ve dolayısıyla 21 birimlik çevrim süresini aştığı için reddedilir. 2 no.lu öge birinci istasyona özgülenir ve istasyon süresi 21 olduğu için 2. istasyona özgüleme yapmaya başlanır. Bu şekilde sürdürülerek, tüm iş ögeleri istasyonlara özgülenirler. Dengeleme sonucu Tablo 4.30'da verilmiştir.

Tablo 4.30. Örnek 4.12.'nin, C=21 için Çözümü

İş İstasyonu	İş Ögeleri	İstasyon Süresi
1	1,3,4,2	21
2	5,7,6	21
3	8,21,9,10,12	21
4	11,15,16,13,18	21
5	14,17,19,20	21

4.1.14. Montaj Hatlarında Birden Çok Ürün/Model Bulunması Durumunda Dengeleme [Özkaya (1981)]

Bu tip montaj hatları genellikle iki şekilde sınıflandırılarak çözülür:

1) Tek bir ürün modeline benzeyen denge problemine indirgenerek çözülür.

2) Montaj hattının performansı üzerinde seçilen modelin etkileri denenerek yapılan çözümdür.

Modeller çok çeşitlidirler. Bundan dolayı ikinci tip çözüm zor ve zaman alıcıdır. Bunun sonucudur ki, genellikle karmaşık montaj hattı dengeleri 1. modeli temel alan çözümler şeklinde bugüne kadar çözülmüştür. Çözümlerde önemli bir sorun olarak besleme sırası ortaya çıkar. Ürün besleme sırası, ürün birimlerinin hatta verilmesi ve denge oluşumunda önemli bir etmendir.

Her modelden montajı yapılacak parça sayısı N_j , $j= 1, 2, \dots, M$ ile gösterilir. J modelindeki işlem süresi t_{jk} 'dir. $j=1,2, \dots, M$; $k= 1, 2, \dots, N$ şeklinde gösterilirse programlanmış zaman aralığı içinde tüm modeller üzerinde k iş ögesi uygulamak için geçen süre,

$$t_k = \sum_{j=1}^M N_j \cdot t_{jk} \text{ şeklindedir.}$$

Böyle bir modelde çevrim süresi ile gözönüne alınan zaman aralığının ve tek bir modelde bir iş ögesinin gerektirdiği süre ile tüm modellerde aynı iş ögesinin gerektirdiği süreler toplamının yerlerinin değiştirilmesi yoluyla montaj hattının dengelenmesi olanağı yaratılabilir.

İstasyondaki iş yükü süresi T_i ($i=1, 2, \dots, m$) olarak alınırsa :

$$\sum_{i=1}^m T_i = \sum_{k=1}^N t_k \text{ olacaktır.}$$

Dolayısıyla çok modellenli bir montaj hattı dengeleme problemi bu şekilde belirlenmelidir.

ÖRNEK 4.13.

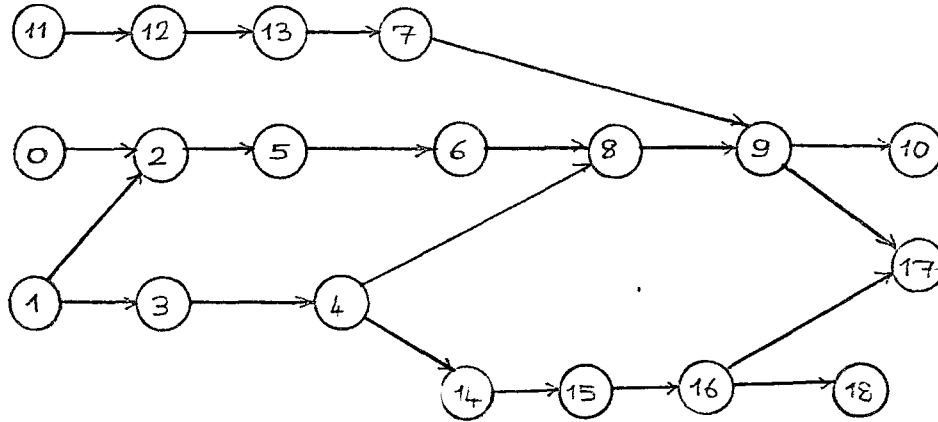
A ve B gibi iki modelin aynı hatta üretildiği varsayalım. Bu iki model birbirinden farklı olup, buna karşılık bazı iş ögeleri ortak olsun. Modellerin öncelik şeması, Şekil 4.17'de verilmektedir. Her iki modelde de 1., 3., 4., 7., 8. ve 9. iş ögeleri ortaktır. A modeli için 200, B modeli için 100 üretim gereksinimi vardır. Tablo 4.31'de çözüm için gerekli tüm veriler verilmiştir. (b) kolonunda iş öge süreleri, (e) kolonunda her iki modelin de üretilmesi gereken miktarını üretebilmek için, iş ögesinin haftada kaç kez yapılması gerektiği görülmektedir. Her iş ögesinin haftalık toplam süre gereksinimi de (f) kolonunda yer almıştır (Toplam süre/hafta = $b \times e$).

A Modeli (200 tane/hafta)

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

B Modeli (100 tane/hafta)

1, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18



Şekil 4.17. A ve B Modelleri İçin Öncelik Şeması

Hat dengesi, derece konumlu ağırlık tekniği ile sağlanır. Yalnız burada konum ağırlıkları, öge sürelerinin toplamı yerine, toplam sürelerin toplamı şeklinde bulunur. Geriye kalan tüm işlem, öğeleri iş istasyonlarına dağıtmaktır. Her istasyon için uygun süre (Çevrim süresi) ; 8 saatlik 5 iş gününden dolayı 40 saat/hafta olarak alınır. Öğelerin özgülleme durumları Tablo 4.32'de verilmiştir. Denge kaybı % 5,1 olup, bazı iş istasyonlarını birleştirmek (Paralel istasyon benzeri) gereklidir. Çünkü 4 ögenin (0, 5, 8, 10) toplam süresi 40 saatten çoktur.

Sonuçlar göstermektedir ki, 1 haftalık üretim için iyi sayılabilecek bir denge sağlanmıştır. % 5.1'lik denge kaybı yüksek sayılmamaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken konu, böyle bir hat dengeleme yönteminin yalnızca karışık model üretim sistemleri için geçerli olmasıdır. Üretim, partiler şeklinde yapılmış olsaydı, yani önce bir parti model A üretimini izleyerek, bir parti model B üretilseydi, o zaman ilk durumda (Yalnızca model-A üretimi) 1, 8, 9, 10, 11, 13, 14 ve 15 no.lu iş istasyonları, sıgalarının altında kullanılmış olacaktı. Model B üretiminde ise 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13 ve 14 no.lu iş istasyonlarında sığa kullanım oranları düşük olacaktı. Diğer bir deyişle model B, hat üzerinde aynı zamanda arka arkaya

Tablo 4.31. İki Modelli Hat Dengeleme Probleminin Veri Tablosu

(a) Öge No	(b) Öge Süresi	(c) A Modeli Üretimi için Öge Sayısı/ Hafta	(d) B Modeli Üretimi için Öge Sayısı/ Hafta	(e) Toplam Üretim Gerek- sinimi/ Hafta	(f) Toplam Standart Süre/ Hafta	(g) Konum Ağırlığı (Toplam Süreyi Kullan)
0	0.32	200	0	200	64	396
1	0.10	200	100	300	30	448
2	0.20	200	0	200	40	332
3	0.05	200	100	300	15	292
4	0.10	200	100	300	30	277
5	0.23	200	0	200	46	292
6	0.20	200	0	200	40	246
7	0.05	200	100	300	15	95
8	0.32	200	100	300	96	206
9	0.10	200	100	300	30	110
10	0.30	200	0	200	60	60
11	0.10	0	100	100	10	137
12	0.15	0	100	100	15	127
13	0.17	0	100	100	17	112
14	0.08	0	100	100	8	61
15	0.07	0	100	100	7	53
16	0.13	0	100	100	13	46
17	0.20	0	100	100	20	20
18	0.13	0	100	100	13	13

Üretildiği ve istasyonlararası güvenlik stoklarının bulunduğu durumlarda, Tablo 4.32'de verilen hat dengeleme yöntemi geçerli olmaktadır. 'Birleşik' hat dengeleme yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntemin kullanılması aşağıda belirtilen durumlar için geçerlidir :

1) Modeller partiler şeklinde değil de, hat üzerinde aynı anda ve arka arkaya üretilmelidir.

2) Benzer olmayan iş öğeleri sözkonusu olmalı ve benzer nitelikli işlerin, farklı istasyonlara özgülenmesi amaçlanmalıdır.

Tablo 4.32. İki Modelli Hat Dengeleme

İstasyon No	Öge No	Öğenin Haftalık Toplam Süresi (St)	Haftalık 40 Saat Süreden Artan Zaman (St)
1	1	30	10
	11	10	0
2 ve 3	0	64	16
	3	15	1
4	2	40	0
5 ve 6	5	46	34
	4	30	4
7	6	40	0
8,9 ve 10	8	96	24
	12	15	9
	14	8	1
11	13	17	23
	7	15	8
	15	7	1
12	9	30	10
13 ve 14	10	60	20
	16	13	7
15	17	20	20
	18	13	7

Bu durumda denge kaybı ;

$$D (\%) = \frac{n \cdot C - \sum t}{n \cdot C} = \frac{15 \cdot 40 - 569}{15 \cdot 40} = \% 5,16 \quad \text{olur.}$$

4.2. ÇEVİRİM SÜRESİNİN BİLİNMEDİĞİ DURUMDA YÖNTEMLER

4.2.1. Kilbridge - Wester Yöntemi [Kilbridge, Wester. (1961)]

ÖRNEK 4.14

9 iş üğesi olan bir montaj hattında, işlerin öncelik ilişkileri ve işlem süreleri, daha önce Şekil 4.14'de gösterildiği gibi olsun.

Bu hattaki toplam işlem süresi $\sum t_i = 48$ olup bu değer, asal sayıların çarpımı olarak yazılır :

$$48 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3$$

$t_{enb} = 10$ ve $\sum t_i = 48$ olduğundan ve çevrim süresi C , bu iki değer arasında kalmak zorunda olduğundan

$$10 \leq C \leq 48 \quad (4.8)$$

olmalıdır.

Bu durumda $\sum t_i / C$ değeri, aşağıda belirtilen C değerleri için tamsayıdır :

$$C_1 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 = 48$$

$$C_2 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 = 24$$

$$C_3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 16$$

$$C_4 = 2 \cdot 2 \cdot 3 = 12$$

$$C_5 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$$

$$C_6 = 2 \cdot 3 = 6$$

$$C_7 = 2 \cdot 2 = 4$$

$$C_8 = 3$$

$$C_9 = 2$$

C_i ($i = 1, 2, \dots, 9$) değerleri arasından (4.8) koşulunu sağlayanlar C_1, C_2, C_3 ve C_4 'tür.

Eniyi dengeyi sağlayacak iş istasyonu sayısı ise, aşağıdaki gibi bulunur :

Önce uygun C_i değerleri için gerekli n_i değerler hesaplanır :

$$n_1 = \frac{\sum t_i}{C_1} = \frac{48}{48} = 1 \text{ istasyon}$$

$$n_2 = \frac{\sum t_i}{C_2} = \frac{48}{24} = 2 \text{ istasyon}$$

$$n_3 = \frac{\sum t_i}{C_3} = \frac{48}{16} = 3 \text{ istasyon}$$

$$n_4 = \frac{\sum t_i}{C_4} = \frac{48}{12} = 4 \text{ istasyon}$$

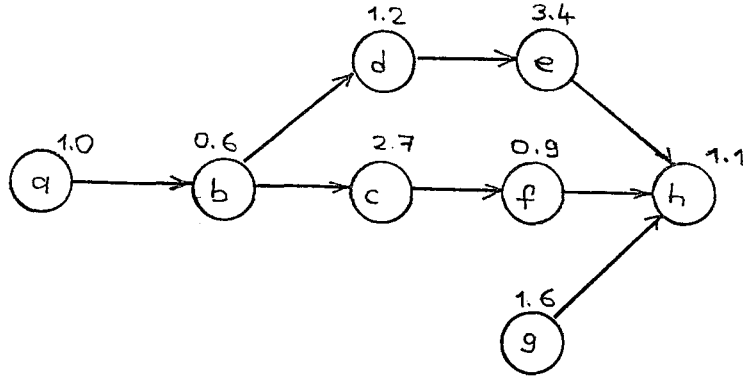
Montaj hattı dengelemesinde, C 'nin saptanan değerleri için en uygun çözüm bulunana kadar, ilgili yöntem uygulanır.

4.2.2. İstasyon Sayısının Bilinmesi Durumunda Çevrim Süresinin Saptanması [Baskak (1988)]

ÖRNEK 4.15.

Elimizde, belirli bir ürünü yapan tesis ile, yeni bir ürün üretmeye karar verdiğimizde, kuşkusuz tesis sığası ve personel, bir kısıt oluşturacaktır. Bu koşullar altında enuygun çözümü bulalım :

İş öğelerinin öncelik sırası ve standart süreleri (dk.) Şekil 4.18'de gösterildiği gibi olsun.

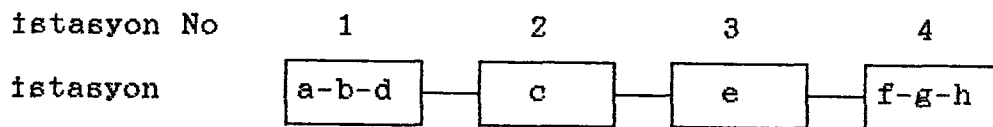


Şekil 4.18. Örnek 4.15'e İlişkin Öncelik Diyagramı

Bu yöntemde bir istasyon sayısı verildiğinde, verimli olmayan enaz sürenin bulunmasına çalışılır. Periyot -ve dolayısıyla üretim hızı- değiştirilirken belirli bir iş istasyonu sayısı için boş süre enküçüklenir. İşlem; enbüyük ve enküçük istasyonlardaki öğeler arasında iş süreleri farkı, istasyonların iş süreleri farkına enyakın olan öğeleri değiştirmek ve bunu; artık, yer değiştirme yapılamayacak duruma kadar yinelemekten oluşmaktadır. Sonunda bulunan denge çözüm olarak kabul edildiği gibi, denge, yapılan bir yer değiştirme ile bozularak işleme yeniden başlanabilir.

Örneğimizde $n=4$ olsun. Çözüm aşamaları, Tablo 4.33'de olduğu gibidir.

Şekil 4.19'da, son dengeleme durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Örnek 4.15.'e İlişkin Son Dengeleme Durumu

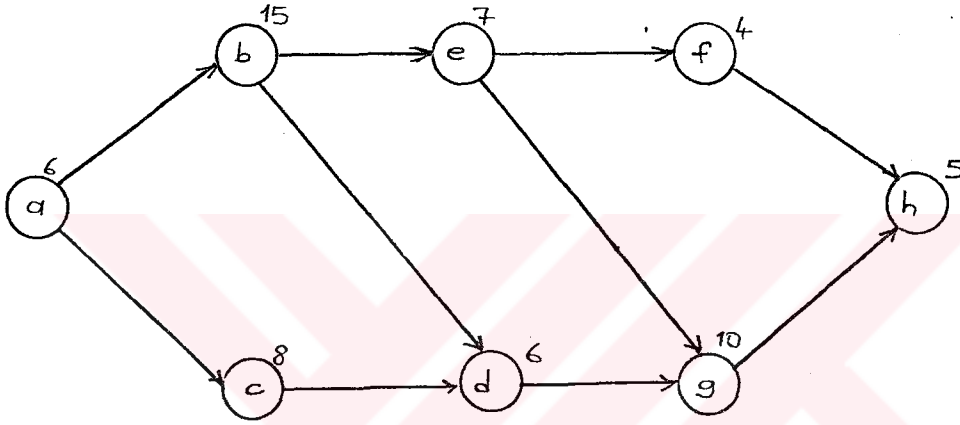
Tablo 4.33. Örnek 4.15.'e ilişkin Çözüm Aşamaları

Başlangıç	n=1	n=2	n=3	n=4	Toplam
Olası	a=1	d=1.2	f=0.9	h=1.1	Boş
Çözümü	b=0.6	e=3.4	g=1.6		Süre
	c=2.7				
	4.3	4.6	2.5	1.1	5.9
Birinci		-e=3.4		+e=3.4	
Değişim	4.3	1.2	2.5	4.5	5.5
İkinci			+e=3.4	-e=3.4	
Değişim	4.3	1.2	5.9	1.1	11.1
Üçüncü			-g=1.6	+g=1.6	
Değişim	4.3	1.2	4.3	2.7	4.7
Dördüncü	-c=2.7	+c=2.7			
Değişim	1.6	3.9	4.3	2.7	4.7
Beşinci			-f=0.9	+f=0.9	
Değişim	1.6	3.9	3.4	3.6	3.1
Altıncı	+d=1.2	-d=1.2			
Değişim	2.8	2.7	3.4	3.6	1.9

4.3. MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI [Bowman (1960)]

Bir ürünün üretilmesi için gerekli işlemlerin, a'dan h'ye kadar serimi, Şekil 4.20'de verildiği gibi olsun. İşlem süreleri, her bir iş öğesinin üstünde belirtilmiştir. Burada çevrim süresini, $C=30$ dk. olarak alalım. İstasyon sayısı j olsun. $j=1, \dots, n$ ve i adet işlem vardır. $i=1, \dots, k$ olup $k=h'$ dir.

ÖRNEK 4.16.



Şekil 4.20. İşlem Serimi

Burada ürün iş yükü $\sum_{i=a}^h t_i = 61$ zaman birimidir.

Dolayısıyla enaz iş istasyonu sayısı

$$k_{\text{enaz}} = \text{enb} \left[\left(\frac{\sum_{i=a}^h t_i}{C} \right)^+ ; (n; t_i > \frac{C}{2}) \right]$$
$$= \text{enb} \left[\left(\frac{61}{30} \right)^+ ; 0 \right] = 2^+ = 3$$

Bu sonuca göre enaz 3 istasyon gereklidir. Teknolojik (Önce-lik) ve bölgeleme kısıtları nedeniyle gerekli istasyon sayısı 3'ü aşabilir. Burada amaç, istasyon sayısını enküçük sayıda tutacak şekilde, işlemlerin gruplara özgülenmesi olarak alınır. Bu problemin çözümü için aşağıda verilen koşulların sağlanması gerekir:

(i) j no.lu istasyonun işyükü (S_j), çevrim süresinden büyük olamaz ($S_j \leq C$).

(ii) Tüm işlemler, $i= 1, 2, \dots, k$ tamamlanmalıdır.

(iii) İşlemlerin öncelik kısıtları sağlanmalıdır.

$$\sum_i^h t_i > \sum_i^f t_i \quad \text{vb.}$$

(iv) Her işlem tek istasyonda yapılır. Merkezi bir işlem, iki istasyona paylaştırılamaz.

(v) Amaç, enküçük sayıda istasyon sayısını bulmaktır.

Bu koşullar, matematiksel olarak şu şekilde gösterilir:

(i) İş yükü kısıtı

$t_i = i$ no.lu işlemin süresi

$$X_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{eğer } i \text{ no.lu işlem } j \text{ istasyonuna atanmamış ise} \\ 1, & \text{eğer } i \text{ no.lu işlem } j \text{ istasyonuna atanmış ise} \end{cases}$$

$$\sum t_i \cdot X_{ij} \leq C$$

(ii) Tüm işlemlerin tamamlanması kısıtı

$$\sum_j^n X_{ij} = X_{i1} + X_{i2} + \dots + X_{in} = 1$$

Bölgeleme kısıtı var ise buna uygun olarak X_{ij} değeri 1'e eşitlenir.

(iii) İşlem öncelik kısıtı

$$X_{ij} \leq \sum_{y=0}^j X_{i-1,y} = X_{i-1,1} + X_{i-1,2} + \dots + X_{i-1,j}$$

(iv) İşlemlerin istasyonlararası paylaştırılmama kısıtı

$$X_{ij} = 0 \quad \text{veya } 1 \quad \text{ve} \quad X_{ij} \geq 0$$

(v) Amaç, istasyon sayısının enazlanması

Enuygun istasyon sayısı (n^*), önceden belirtildiği üzere şu şekilde bulunmaktaydı:

$$n^* = \frac{\sum t_i}{C}$$

Uygulamadaki nedenlerden dolayı gerekli istasyon sayısı, enuygun istasyon sayısından fazla olabilir. Bu durumda, olası ençok istasyon sayısının, üst sınır olarak ifâde edilmesi gerekir. Örneğin, (n^*+1) gibi. İstasyon sayısının artmasıyla beraber, $n+1$ 'den $n+R$ 'ye kadar, bu artışın getirdiği artan mâliyet sözkonusudur. Bu mâliyet artışları; $a, b, \dots, m$ ile belirtildiğinde ve $a > b > \dots > m$ alındığında, amaç işlevi şu şekilde gösterilebilir:

$$\text{Enk } Z = aX_{h,n+1} + bX_{h,n+2} + \dots + mX_{h,n+r}$$

Bowman (1960) tarafından geliştirilen bu modelin çözümünde, kısıtları sağlamayan ve amaç işlevini enazlayacak istasyon sayısı ve işlem-istasyon özgülemeleri bulunur. Bu modele benzer matematiksel modller geliştirilmekle birlikte, özellikle işlem sayılarının arttığı durumlarda, çözüm bulma zorlaşmaktadır. Bu nedenle montaj hattı dengeleme problemlerine bulgusal yöntemlerle yaklaşılması daha yaygın bir duruma gelmiştir.

4.4. DENGELENMEMİŞ ÜRETİM HATLARI

Üretim hattı sistemleri konusunda yapılan araştırmalar, gerek tasarım, gerekse işletme koşulları konusundaki birçok önemli noktayı içermektedir. Bir üretim hattının tasarımı ve kurulması aşamasında, pek çok önemli sorunun çözümlenmesi gerekir. Bu sorunlardan en dikkati çeken ve de bugüne kadar yapılan araştırmaların enbüyük bölümünü oluşturanı ise, üretim hattı dengelenmesi olmuştur. Sonuç olarak, bugün bu konuda geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır.

Ancak bir üretim hattında eniyi dengenin sağlanmış olması, o hattın, enbüyük çıktı oranıyla işlemekte olduğu anlamına gelmez.

Genellikle kullanılan yöntemler, servis sürelerini sabit olarak kabul ederler ve tüm algoritmayı bu varsayım üzerine geliştirirler. Uygulamada ise, birer rastsal değişken olarak görülen servis sürelerinin sabit olduğu durumlar sayılıdır. Bir hattın işleyişi sırasında, servis sürelerinde görülen bu değişkenlik ve de istasyonlararası stok sığalarının kısıtlı olması sonucunda, iş istasyonlarının bloke edilmesi veya boş kalması gibi iki önemli sorunla karşılaşılır. Bir istasyonun bloke edilmesi; o istasyonda yapılacak işlem bittikten sonra, stok alanının yetersiz olması nedeniyle, bir sonraki istasyondaki işlem tamamlanana kadar parçanın, o istasyonda tutulmasıyla ortaya çıkar. Bir istasyonun boş kalması ise, o istasyondaki yapılacak işlem tamamlandıktan sonra, önceki istasyonlardan aktarılan iş parçasını zamanında gelmemesi durumunda görülür. Tüm bunlar, üretim hattı boyunca gecikmelere yol açar ve çıktı oranı, sabit servis süreleri gözönüne alınarak hesaplanmış olan çıktı oranından daha düşük olur. Bir üretim hattında, servis sürelerindeki değişkenlik arttıkça, iş istasyonlarının bloke edilmesi ve boş kalması olasılıkları da artacaktır.

Bunun sonucu olarak da, iyi dengelenmiş bir üretim hattının çıktısının, dengelenmemiş bir hattın çıktısından yüksek olacağı varsayımı geçerli olmuştur. Bu varsayım, bugüne kadar yapılan çalışmalarda neden sürekli eniyi dengenin sağlanmasının amaçlandığını açıklamaktadır. Ancak son yıllarda bazı araştırmacılar eniyi üretim hattı tasarımı konusunda yaptıkları incelemelerde, bu varsayımın ne derece doğru olduğu konusu üzerinde durmuşlar ve farklı öneriler geliştirmişlerdir. Özellikle istasyonlararası stok sığalarının kısıtlı olduğu ve servis sürelerinin üstel (e^x) olarak dağıldıkları üretim hatlarında, ortadaki istasyon(lar)a daha düşük servis süreleri özgüleyerek, olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Makino (1964) tarafından ileri sürülen bu görüş, servis oranları arasındaki dengeyi bozarak, hattın çıktı oranının yükseltilmesini amaçlar ve dengelenmemiş üretim hattı kavramını ortaya atar. Daha sonra Hillier ve Boling (1966), bu konuyu ele almışlar ve üstel dağılımlı servis süreleri olan bir üretim hattında (Ara stok sığalarının kısıtlı olması koşuluyla), ortadaki istasyon(lar)a göreli olarak daha düşük servis süresi özgüleyerek, çıktı oranını eniyilemişlerdir. Bu durum "çanak fenomeni" (Bowl Phenomenon) olarak tanımlanmıştır.

Dengelenmiş üretim hattı çıktı oranının, hat üzerindeki den-
genin birtakım yöntemler kullanılarak bozulması yoluyla artırılıp ar-
tırılamayacağını sınamak amacıyla, istasyonlararası stok sığalarının
kısıtlı olduğu değişik üretim hatları, benzetim tekniği kullanılarak
denenmiştir.

Bu çalışmalar sonunda "çanak fenomeni" olarak adlandırılan
yöntemin, tüm koşullarda tutarlı sonuçlar verdiği görülmüş ve bunun
dışındaki denge bozma yöntemlerinin güvenilir olmadığı kesinlikle ka-
nıtlanmıştır.

Ancak bu yöntemin uygulanmasında bazı noktalara dikkat edilme-
lidir. "Çanak fenomeni" yönteminin iyi sonuçlar vermesi (çıktı ora-
nını artırması) için; o üretim hattında, işlem sürelerindeki değişik-
liğin yüksek, ara stok sığalarının az ve hat üzerindeki istasyon sa-
yısının fazla olması gerekmektedir. Çünkü bu etmenler, dengelenmiş
bir hatta, istasyonların bloke edilmesi ve boş kalması olasılığını
artırmakta ve dolayısıyla çıktı oranını azaltmaktadırlar. Böyle du-
rumlarda, ortadaki istasyonların güvenlik stoku görevini görmesi, ge-
cikmeleri bir ölçüde önleyebilecektir. Çanak fenomeni, bu mantık
üzerine geliştirilmiştir.

İstasyonlararası bağımlılığın azaltıldığı (Bu azalma, işlem
sürelerindeki değişkenliğin azalması ve ara stok sığa kısıtlarının
ortadan kaldırılmasıyla sağlanır) durumlarda, dengelenmemiş üretim
hattı üstünlüğünü kaybederken, iyi dengelenmiş üretim hattının etkin-
liği artacaktır.

BÖLÜM 5 MONTAJ HATTI DENGEMEDE YENİ YAKLAŞIMLAR

5.1. KLASİK HAT DENGEME YÖNTEMLERİNİN DIŞINDA HAT DENGEMEYİ GELİŞTİRME YOLLARI [Groover, (1987)]

5.1.1. Giriş

Daha önce tanıtılan hat dengeleme teknikleri, iş öğelerinin istasyonlara, belirli bir çevrim süresine göre özgülenmesi için kesin prodesürler simgeler. Çoğu akış hattı durumları için bu teknikler, dengeleme etkinliğinin yüksek bir derecesine sahip olan özgülemeler şeklinde sonuçlanır. Bununla birlikte, bir akış hattının tasarımcısı, - insanlı veya otomatize - hattın etkinliğini geliştirmek için diğer olası yolları dikkate almalıdır. Çeşitli olasılıklar, ileriki kısımlarda gözden geçirilecektir.

5.1.2. İş Öğelerinin Bölünmesi

Bir enküçük uygun iş öğesi, daha küçük altbölümlere ayrılama-yan enküçük pratik bölünmez görevdir. Bazı örneklerde, bu öğeleri daha alt öğelere ayırmak teknik olarak olası olabilmesine rağmen, belirli görevleri, enküçük uygun iş öğeleri olarak tanımlamak mantıklı olabilir. Örneğin bir delik delmeyi bir iş öğesi olarak tanımlamak ve bu nedenle her bir istasyonda bu iş öğesini edimlemek (icrâ etmek) mantıklıdır. Bununla birlikte, eğer bir istasyonda derin delik delme işi, bir darboğaz durumuna neden olsaydı, delme etkinliğinin iki adıma ayrılması tartışılabilirdi. Bunun avantajı yalnızca darboğazı elimine etmek değil, aynı zamanda delme lokmalarının donatım ömürlerini de arttırması olabilir.

Bu tip bir durum; yukarıda tanımlanan delme işlemi gibi etkinliklerin yapıldığı mekanize işlem hatları üzerinde daha fazla

olagelmektedir. Hat üzerinde yapılması gereken iş öğelerinin başlangıç tanımlamasında bu durum, montaj etkinlikleri durumunda olduğu gibi, teknolojik uygunluk olarak görülmeyebilir.

5.1.3. Otomatik İstasyonlarda İş Kafası (Workhead) Hızlarının Değiştirilmesi

Bu da makina transfer hatları gibi, otomatize veya yarı otomatize hatları göstermektedir. Süreç hızı veya besleme oranının artırılmasıyla, darboğaz istasyon süreç süresinde bir azalma etkisi yaratmak olası olabilir. Bununla birlikte, kısa bir araç yaşamının oluşumunda bazı değişikliklerle ilgili bir ceza, normal olarak olacaktır. Bu da, araç yerleştirme için, sık hat durmaları sonucunu verecektir.

Bunun bir de öteki yüzü vardır. Boş sürenin olduğu bir istasyonda, iş kafası beslemesi ve hızı, araç yaşamını uzatmak için azaltılabilir. Bu da hat üzerindeki zaman kesikliği oluşumlarının sıklığını azaltmayı olası yapmaktadır. Uzun süreç süreleri olan istasyonlardaki hız-besleme karışımlarının arttırılması süreci aracılığıyla ve boş süreli istasyonlardaki hız-besleme karışımlarının azaltılması ile, akış hattı üzerindeki dengeyi geliştirmek olası olabilir.

5.1.4. Yöntem Analizleri

Yöntem analizi teriminin alışılmış kullanımı, olası gelişimler için insan iş etkinliğinin çalışmasını gösterir. Bu tip bir analizin, herhangi bir hat dengeleme yapılabilmeden önce, iş için tanımlanması gereken iş öğelerinden dolayı bir insanlı akış hattı işine belirli bir gereksinme duyduğu görülür. Buna ek olarak yöntem analizi, darboğaza dönüşecek istasyonlardaki üretim oranını arttırmak için de kullanılabilir. Yöntem analizi, daha iyi bir iş yeri düzeni, yeniden düzenlenmiş araç ve tezgâhlar veya geliştirilmiş el ve vücut hareketleri ile sonuçlanabilir. Tüm bu gelişmeler, insanlı akış hattı üzerinde işin mükemmel bir dengesi ile sonuç verebilir.

Otomatize hatlar üzerinde etkinliklerin analizi, iş akışı ve dengesinde gelişmelere yol açabilir. Bununla birlikte; sabit yapılı donatım nedeniyle, bitirilmiş hattın değişikliğinin zor olmasından dolayı, tasarlama ve tasarım aşamaları sırasında, otomatize süreç hatları üzerinde hat dengesini enuygunlaştırmak için girişimler genellikle önem taşır.

5.1.5. Bileşenlerin Ön Montajı

Düzenli montaj hattı üzerinde yapılan toplam iş miktarını azaltmak için bazı altmontajlar, hattın uzağında yapılabilir (Ya fabrikadaki diğer bir montaj hücresiyle veya gerekli işlem tipinde uzmanlaşmış satıcılardan, dışarıdan alma yoluyla). İşin bir yerden diğer bir yere taşınması aracılığıyla bunun basit gibi görülebilmesine rağmen bu davranış içinde montaj etkinliklerini organize etmek için, birçok iyi gerekçe vardır:

1- Gereken sürecin, düzenli montaj hattı üzerinde düzenlenmesi zor olabilir.

2- Gerekli montaj etkinlikleri için süreç süresi değişiklikleri (Örneğin ayarlamalar veya düzenlemeler için) eğer düzenli bir hat üzerinde yapılırlarsa, daha uzun bir içerici çevrim süreci içinde sonuçlanabilir.

3- Fabrika içinde yapılan bir montaj hücresi veya işi yapmak için belli özel yetenekleri olan bir satıcı, yüksek kaliteyi başara-bilir.

5.1.6. İstasyonlar Arasında Ara Stoklar

İnsanlı akış hatlarında, ara stoklar da yararlı olabilir. Bunların genel kullanımı, iş akışını düzgünleştirmek amacını taşır. Aksi durumda bu akış, işçi işlem süreci değişikliğiyle kesilir. Hat dengeleme teknikleri, işlem sürelerinin sabit olduğunu varsaymasına rağmen, herhangi bir insan hareketliliği - ve o şey için diğer çoğu

fiziksel işlemler - rastsal değişimlerle karakterize edilir. Bu değişimler, çevrimden çevrime işlem süresi farklılıkları içinde belirginleşir. İş istasyonları arasındaki ara stoklar, bu farklılıkların düzgünleştirilmesi için yardımcı olur.

5.1.7. Paralel İstasyonlar

Enbüyük Aday Kuralı, Kibridge ve Wester yöntemi, Sıralı Konumsal Ağırlık yöntemi gibi sezgisel yöntemlerde geçen kısıtlamalardan biri, istasyonların ardışık olarak düzenlenmesi gerekliliğidir. Eğer bu kısıtlama önemsenmeyebilirse, bu önceden varolan darboğazların olduğu yerlerde, paralel istasyonların kullanımına izin verir. Bunu açıklamak için, 5. iş istasyonu dışında kalan tüm iş istasyonlarının 1 dk. lık istasyon süreç süresine sahip olduğu bir beş istasyonlu hat düşünelim. Bu (5.) istasyondaki süreç süresi 2 dk. olsun. Bir sıra içinde düzenlenmiş istasyonlar ile çıktı oranı - 2 dakikalık 5. istasyon süreç süresi ile - , $R_c = 30$ ünite/saat olarak sınırlanabilir. Bununla birlikte eğer iki istasyon, 5. istasyon konumunda paralel olarak düzenlenmiş olsaydı çıktı, $R_c = 60$ ünite/saat'e yükselebilecekti. Paralel istasyonların her biri, 0.5 ünite/dk'lık bir üretim oranına sahip olabilecekti. Ama bunların ikisi de olduğundan, etkili çıktı 1 ünite/dk olabilecektir. Çoğu problem, bu kadar basit değildir.

ÖRNEK 5.1.

Bir model problem düşünelim. Bu model, çeşitli hat dengeleme tekniklerini açıklamak için kullanılsın. Toplam iş içerik süresi, $T_{wc} = 40$ dk.'dır. Bu nedenle, $T_c = 1.0$ dk'lık bir çevrim süresiyle, gerekli kuramsal enküçük iş istasyonu sayısı 4'tür. Bununla birlikte, sezgisel yöntemlerin hiçbirisi ile 5 istasyondan daha küçük bir denge kurulamamıştır.

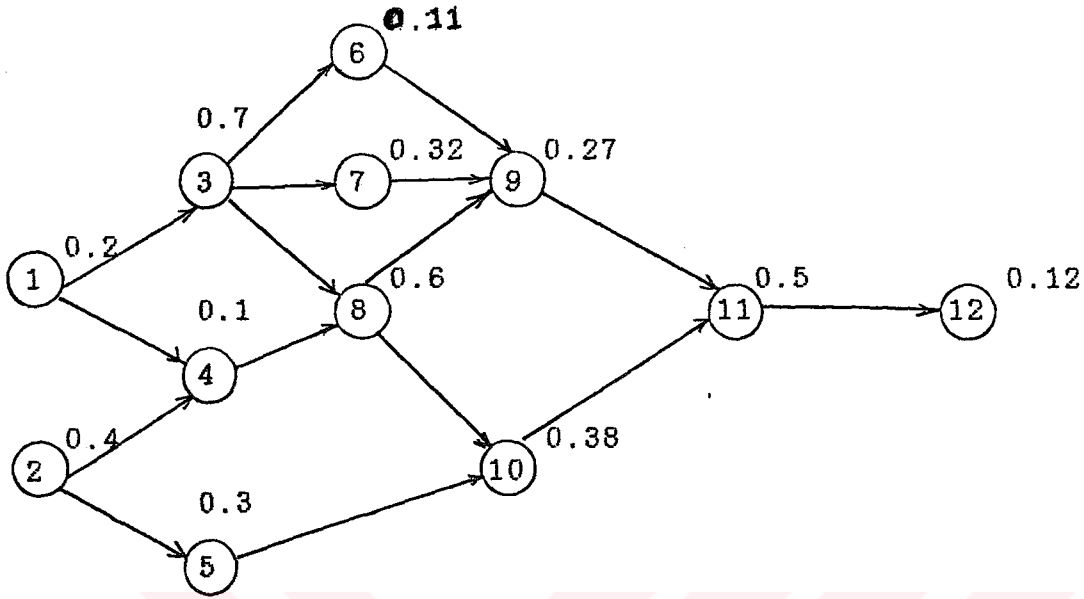
Paralel istasyonlar ile bir konfigürasyondan yararlanma yoluyla, 4 istasyonlu mükemmel bir dengeyi başarmak olasıdır.

Tablo 5.1. iş Öğeleri, Süreleri ve Öncül işleri

İş Öğesi No	Süre	Öncül iş
1	0.20	-
2	0.40	-
3	0.70	1
4	0.10	1,2
5	0.30	2
6	0.11	3
7	0.32	3
8	0.60	3,4
9	0.27	6,7,8
10	0.38	5,8
11	0.50	9,10
12	0.12	11

Tablo 5.2. iş Öğeleri ve Paralel İstasyon Kullanımıyla Özgüldendiği İstasyonlar

İstasyon No	İş Öğeleri	Süresi	İstasyon Süresi
1 ve 2 (paralel)	1 2 3 4 8	0.20 0.40 0.70 0.10 0.60	2.0
3	5 6 7 9	0.30 0.11 0.32 0.27	1.0
4	10 11 12	0.38 0.50 0.12	1.0

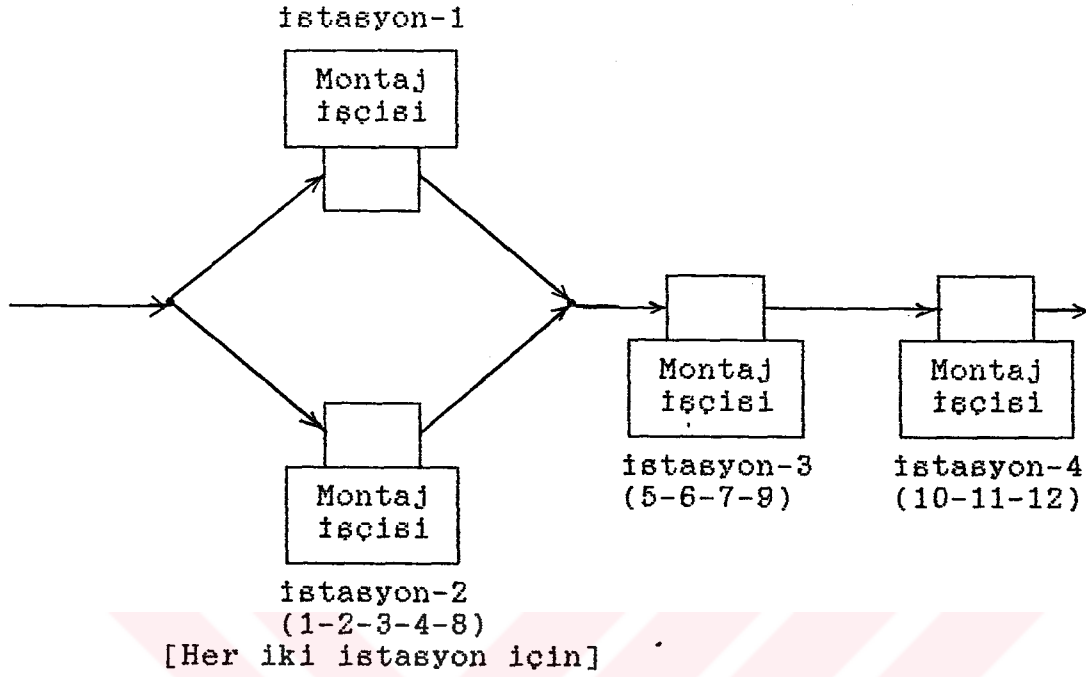


Şekil 5.1. ilgili Montaj işlemi için Öncelik Diyagramı

İstasyon 1 ve 2, aynı iş öğelerine (1,2,3,4 ve 8) sahip olup, toplam süreç süresi 2.0 dk.'dır. İki istasyon olduğundan dolayı, paralel düzenlemenin etkili çıktı oranı 1 ünite/dk'dır. İstasyon 3 ve 4'ün her biri 1 dk'lık süreç süresine sahip olup, istenen çevrim süresi $T_c = 1.0$ dk. başarılmıştır.

Yukarıdaki gibi, paralel istasyonları yararlı duruma getiren bir çözüm geliştirmek için formüle edilmiş bir prosedür yoktur. Daha doğrusu, geleneksel yaklaşımların geliştirilebilmesini algılayabilmek için analiste, belli bir yaratıcılık ve esneklik gereklidir.

İnsanlı akış hatlarında paralel istasyonların kullanımı, insan işlemcinin doğasında varolan esneklikten dolayı, kolayca başarılır. Bir otomatize hatta, iki paralel istasyon arasında, iş ünitelerini dönüşümlü olarak hareket ettiren iş parçası transfer mekanizmasında, bir değiş-tokuş aygıtını birleştirmek gereklidir.



Şekil 5.2. Paralel istasyon Kullanımıyla iş istasyonu Konfigürasyonu

5.2. MONTAJ HATTI DENGEMEDE İLİŞKİLİ ETKİNLİK KAVRAMI

[Agrawali (1985)]

5.2.1. Giriş

Bir montaj etkinliği, bazı etkinliklerle ilişkili, bazıları ile ilişkisiz olarak düşünülebilir. İlişki, onların aynı altmontaja bağlanması veya birbirlerine karşılıklı bağılılıkları yolu ile olabilir. Bir diğeri ile ilişkili etkinlikler üzerinde işlem gören işçiler ; yönetim, kusurlar için sayılabilirliği sabitleştirmeyi kolay bulacak iken, daha çok iş doyumu (Tatmini) elde edecektir. Bunun yanında, işçilerin birbirlerine bağımlılığı azalacaktır. Hat tasarımcısına, işçilerin sıralanmasında daha çok esneklik verecektir. Bu nedenle ikincil hedeflerin değişimi aranabilecektir.

İş bölüştürme için bir karar kuralı, "engeniş küme kuralı" olarak adlandırılır. Bu kural, alışılmış etkinlik bölüştürmesine karşıt bir şekilde, her işçiye, bir ilişkili etkinlik kümesini bölüştürür. Böyle işçi sıralamasında daha büyük esneklik sözkonusu olur.

İşçilerin işlerinin olası olduğunca az gruba bağlı olması arzulanır. Bu düşünce, bir montaj hattında, aşağıdaki yararları sağlayacaktır:

1) Birbirleriyle ilişkili etkinlikleri yapan işçi, daha çok iş doyumuna sahip olacaktır. Çünkü onun işi, çevrim süresi kısıtlamasının ötesinde parçalanmaz.

2) İş yöneticisi, kusurların sayımını, daha kolay ve daha hızlı olarak kesin bir şekilde başarabilecektir.

3) Bir işçinin işinin, diğer bir işçinin işinden bağımsız olması olasılığı; işçilerin sıralamasında daha büyük bir esneklik sağlayacak şekilde artacaktır. Bu esneklik; hat tasarımını geliştirmek için birçok şekilde kullanılabilir ve "işçilerin sıralaması" başlığı altında ayrıntılı olarak tartışılır. Ayrıca sürekli hareketli montaj hatlarında, bir sonraki istasyondaki işçi, bir önceki istasyondaki işçi işini bitirmemiş olsa bile, işine başlayabilir. Böylece gecikmeler birikmez. Ve eğer geç kalan işçi zaman kaybını azaltabilirse, hattın durması gerekmez.

5.2.2. Engeniş Küme Kuralı

5.2.2.1. Gösterim

C_i : i etkinliği için birikimli süre (i etkinliği ve önceki tüm etkinliklerin yapılması için gerekli toplam süre).

S : i etkinliğini önceleyen tüm etkinliklerin kümesi.

M : Boş süreden az olan enbüyük birikimli süre.

s' : Tüm etkinliklerin kümesi.

$$C_i = t_i + \sum_{j \in S} t_j$$

$$M = \text{Enb} (C_i \leq \text{boş süre})_{i \in s'}$$

5.2.2.2. Engeniş Küme Kuralı Algoritması

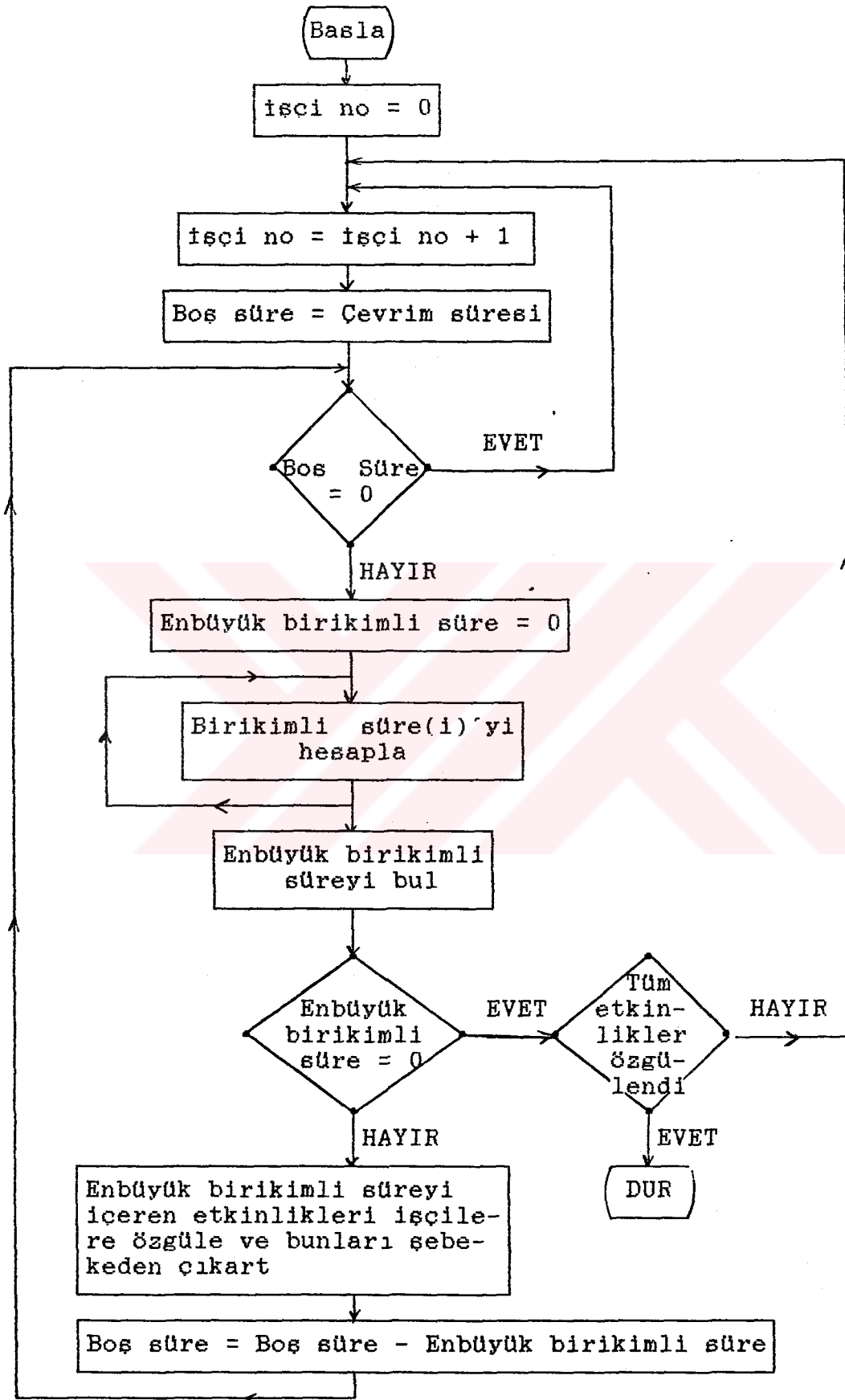
Algoritma şu adımları içerir:

- 1) Tüm etkinlikler için birikimli süreyi (C_i) hesapla,
- 2) Boş süreden küçük enbüyük birikimli süreyi hesapla,
- 3) Enbüyük birikimli süreye karşılık gelen tüm etkinlikleri işçiye özgüle ve bu etkinlikleri, öncelik şebekesinden çıkar,
- 4) Boş süreyi bulmak için, çevrim süresinden, enbüyük birikimli süreyi çıkar,
- 5) Boş süre 0 ise 13 no.lu adıma git,
- 6) Geri kalan tüm etkinlikler için C_i 'yi hesapla,
- 7) Boş süreden daha küçük enbüyük birikimli süreyi hesapla,
- 8) Eğer enbüyük birikimli süre 0 ise 12 no.lu adıma git,
- 9) Enbüyük birikimli süreye karşılık gelen tüm etkinlikleri işçiye özgüle ve bu işleri, öncelik şebekesinden çıkart,
- 10) Kalan boş süreyi, boş süreden, enbüyük birikimli süreyi çıkararak hesapla,
- 11) 5 no.lu adıma git,
- 12) Eğer tüm etkinlikler bittiyse dur,
- 13) Bu işçi için özgüleme bitmiştir. 1 no.lu adıma git ve diğer işçi için özgüleme işlemine başla.

Şekil 5.3'de engeniş küme kuralı algoritması için mantık akış diyagramı görülmektedir.

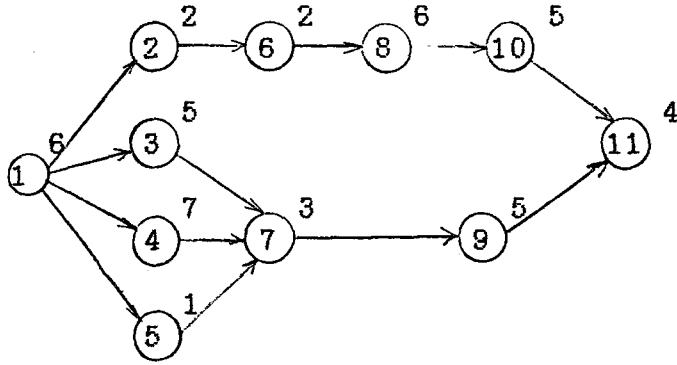
ÖRNEK 5.2.

Şekil 5.4'de, dengelenmesi istenen bir montaj hattı görülmektedir. Bu hattın dengelenmesi, engeniş küme kuralı kullanılarak, Şekil 5.4.-Şekil 5.13. arası şekillerde açıklandığı şekilde çözülmüştür. Şekil 5.14'de ise dengeleme çözümü gösterilmektedir. Hattın çevrim süresi 8 dk.dır.



Şekil 5.3. Engenış Küme Kuralı Algoritması için Mantık Akış Diyagramı

1. işçiye Özgüleme : Enbüyük birikimli süre (EBS) ≤ 8 olmalı



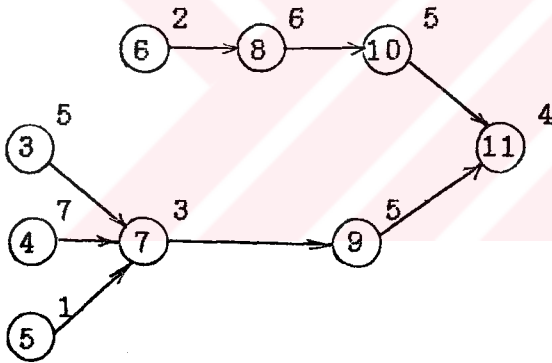
Etkinlik No	Birikimli Süre
1	6
2	8 (M)
3	11
4	13
5	7
6	10
7	22
8	16
9	27
10	21
11	46

1. işçiye, 1-2 no.lu etkinlikleri özgüle

1. işçi için boş süre = 0

Şekil 5.4. Birinci Adım

2. işçiye Özgüleme : EBS ≤ 8 olmalı



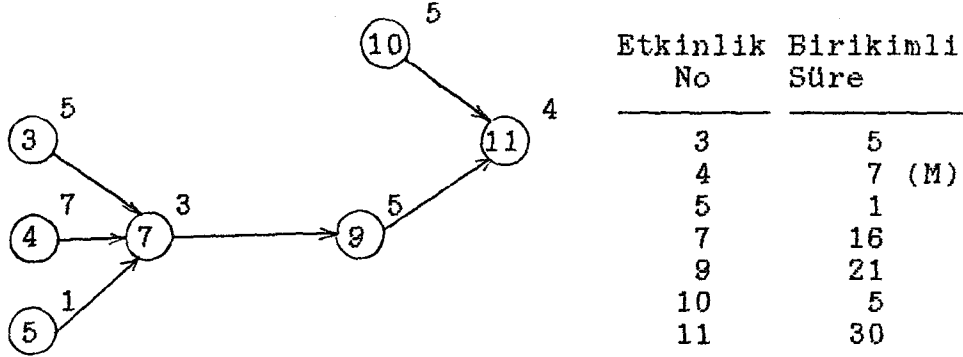
Etkinlik No	Birikimli Süre
3	5
4	7
5	1
6	2
7	16
8	8 (M)
9	21
10	13
11	38

2. işçiye, 6-8 no.lu etkinlikleri özgüle

2. işçi için boş süre = 0

Şekil 5.5. İkinci Adım

3. işçiye Özgüleme : $EBS \leq 8$ olmalı

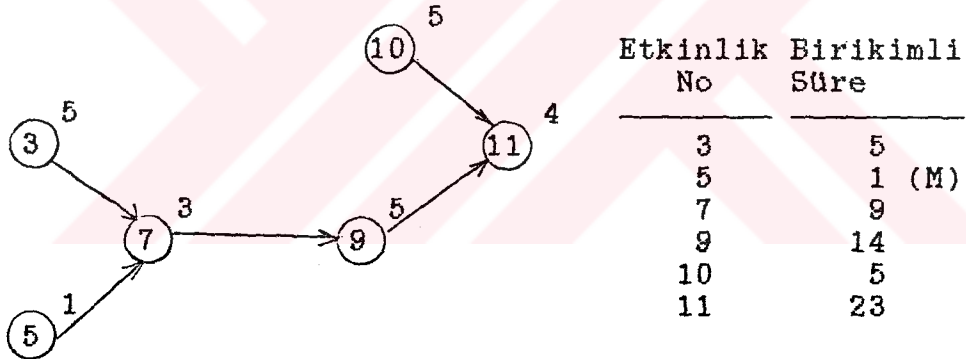


3. işçiye, 4 no.lu etkinliği özgüle

3. işçi için boş süre = 1

Şekil 5.6. Üçüncü Adım

3. işçiye Özgüleme Sürüyor: $EBS \leq i$ olmalı

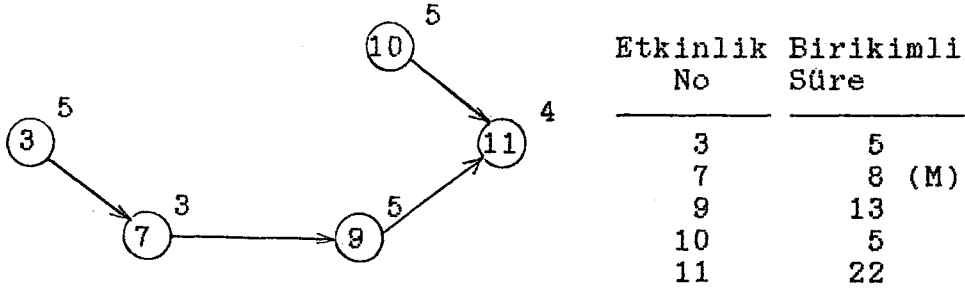


3. işçiye, 5 no.lu etkinliği özgüle

3. işçi için boş süre = 0

Şekil 5.7. Dördüncü Adım

4. işçiye Özgüleme : $EBS \leq 8$ olmalı

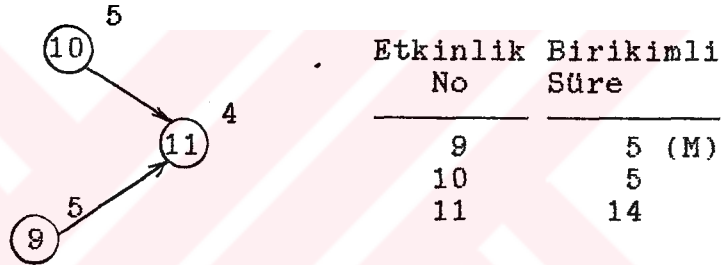


4. işçiye, 3-7 no.lu etkinlikleri özgüle

4. işçi için boş süre = 0

Şekil 5.8. Beşinci Adım

5. işçiye Özgüleme : $EBS \leq 8$ olmalı

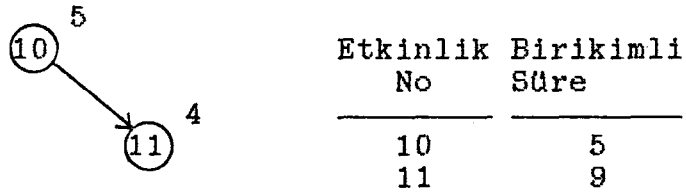


5. işçiye, 9 no.lu etkinliği özgüle

5. işçi için boş süre = 0

Şekil 5.9. Altıncı Adım

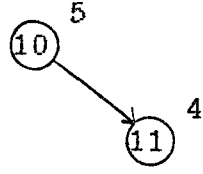
5. işçiye Özgüleme Sürüyor: $EBS \leq 3$ olmalı



Hiçbir birikimli süre, boş süreden küçük değil. Bu yüzden, 5 no.lu işçiye başka özgüleme yapılamıyor.

Şekil 5.10. Yedinci Adım

6. işçiye Özgüleme : $EBS \leq 8$ olmalı



Etkinlik No	Birikimli Süre
10	5 (M)
11	9

6. işçiye, 10 no.lu etkinliği Özgüle

6. işçi için boş süre = 3

Şekil 5.11. Sekizinci Adım

6. işçiye Özgüleme Sürüyor: $EBS \leq 3$ olmalı



Etkinlik No	Birikimli Süre
11	4

Boş süreden küçük bir süre yok

Bu yüzden, 6. işçiye başka Özgüleme yapılamaz

Şekil 5.12. Dokuzuncu Adım

7. işçiye Özgüleme: $EBS \leq 8$ olmalı

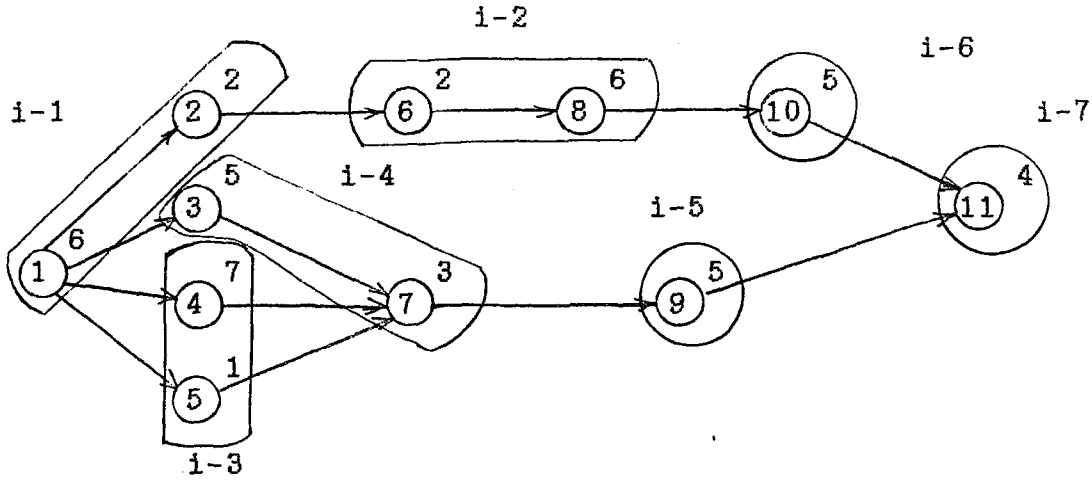


Etkinlik No	Birikimli Süre
11	4

7. işçiye, 11 no.lu etkinliği Özgüle

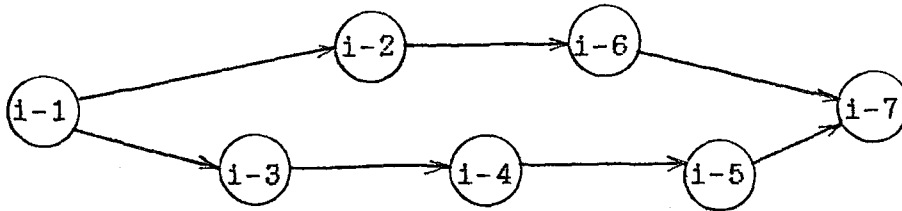
7. işçi için boş süre = 0

Şekil 5.13. Onuncu Adım



Şekil 5.14. İşçiler Arasındaki İş Özgülemesi

İşler işçilere dağıtıldıktan sonra, hat tasarımcısı, işçilerin sıralanması (Bu işçilerin, montaj hattı üzerindeki sıralanış konumları) konusunda karar vermelidir. Tüm montaj hattı dengeleme yöntemleri, işlerin insanlara özgülediği sıralamayı verir. Ve bu sıralama kullanılabilir. Çünkü bu, etkinliklerin öncelik gereksinimlerini bozmaz. Bununla birlikte hat tasarımcısı, kendini bu doğal sıralamaya zorlamak gereksiniminde değildir ve seçenek uygun sıralamalar arayabilir. Bu eniyi şekilde, işçilerin bir öncelik diyagramının oluşturulmasıyla yapılabilir. Şekil 5.15. Örnek 5.2. için işçilerin öncelik diyagramını vermektedir.



Şekil 5.15. İşçilerin Öncelik Diyagramı

5.2.2.3. İşçileri Sıralamada Esneklik

Bu esnekliği kullanarak izlenebilen bazı gerçekler aşağıda verilmiştir:

1) Birden fazla işçi, bir istasyonda aynı montaj işine özgülenebilir.

2) Geniş bölmeli depolama yerine gereksinim duyan işçiler, birbirlerine yakın yerlere yerleştirilemezler. Böylece istasyon ve hat uzunlukları azaltılabilir.

3) Eğer varolan bir hat yeniden dengeleniyorsa, bu esneklik, malzeme yerbozumunun enküçüklenmesi için kullanılabilir. Böylece bölgeleme kısıtlamalarının kullanımından kaçınmak, olası olabilir. Bu kısıtlamalar denge kalitesini etkilemekte ve daha çok hesaplama çabası gerektirmektedir.

4) Eğer olası ise, ortak malzeme veya servis gereksinen işçiler, birbirine yakın olarak yerleştirilebilirler. Böylece montaj hattı yatırımı azalır.

5) Kontrol çalışması gruplanabilir. Böylece, kontrol için insangücü, daha yararlı kullanılmış olur.

5.3. İŞ İSTASYONLARINDA ÇOK ADAMLI MONTAJ HATLARINI İÇEREN BİR PROBLEMİN FORMÜLASYONU

5.3.1. İlk Formülasyon

J.M. Wilson'ın 1986 yılındaki makalesi [Wilson (1986)], bir formülasyon olarak kullanılabilecek tamsayılı programlamayı ve çok adamli iş istasyonlarına görev özgülenmesi ile etkin üretim hatlarının tasarımı için çözüm tekniğini anlatmaktadır. Bu makale, Shtub tarafından verilen bir problemin formülasyonunu ele alır ve onu daha açık bir yolla yeniden formüle eder.

Shtub, formülasyonunda üç kabul yapar:

1) Görev süreleri, görevin özgülendiği istasyondaki işgücü büyüklüğünün artmayan işlevidir.

2) İstasyonlardaki görev süreleri toplamsaldır.

3) Öncelik kısıtlamaları dikkate alınarak, görevler istasyonlara özgülenir.

Bu formülasyonda, aşağıdaki gösterimler kullanılır:

I: Görev no. kümesi ($i \in I$)

K: İş istasyonu no. kümesi ($k \in K$)

C: Çevrim süresi

w_i : i görevini yapabilecek işgücü büyüklüğü ($i \in I$)

k istasyonuna özgülenen ve w_k işgücü büyüklüğü olan i işini yapmak için $t_i(w_k)$ süresine gereksinim duyulur. $t_i(w_k)$; w_k 'nın bir artmayan kesikli işlevidir. Eğer i görevi, özgülendiği k istasyonunda, w_k 'dan daha çok işçiye gereksinim duyarsa $t_i(w_k)$, sonsuz değerli verilir.

Tamsayılı programlama modeline göre karar değişkeni,

$$Z_{ikl} = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } i \text{ görevi, } k \text{ istasyonuna, } l \text{ işgücü büyüklüğüyle özgülenirse} \\ 0 & ; \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

ve amaç denklemi,

$$\text{Enk} \sum_{k=1}^K w_k$$

yâni hat boyunca toplam işgücünü enküçükmektir.

Kısıtlar ise şunlardır:

$$1) \sum_{l \in w_i} l \cdot Z_{ikl} \leq w_k ; \quad \forall i \in I, \quad k=1, \dots, K$$

Her istasyondaki işgücü büyüklüğü, o istasyona özgülenmiş her görevi gerçekleştirmek için yeterince büyük olmalıdır.

$$2) \sum_{i \in I} \sum_{l \in W_i} t_i(1) \cdot Z_{ikl} \leq C ; \quad \forall k=1, \dots, K$$

Çevrim süresi her istasyonda sınırlıdır.

$$3) \sum_{l \in W_i} \sum_{k=1}^K Z_{ikl} = 1 ; \quad \forall i \in I$$

Her görev, bir ve yalnız bir istasyona özgülenir ve her istasyon için yalnızca bir işgücü büyüklüğü kullanılır.

$$4) \sum_{l \in W_i} Z_{ikl} \leq \sum_{t=1}^K \sum_{l \in W_j} Z_{jtl} ; \quad \forall i \in I, \quad \forall k=1, \dots, K$$

Öncelik kısıtlamalarına göre her i görevi, j görevinden önce gelmektedir.

$$5) W_k \geq 0 ; \quad \forall k=1, \dots, K$$

5.3.2. Yeniden Formülasyon [Wilson (1986)]

J.M.Wilson'un yeni formülasyonuna göre:

Karar değişkenleri şunlardır;

$$1) Z_{ik} = \begin{cases} 1 & ; i \text{ görevi } k \text{ istasyonuna özgülenirse} \\ 0 & ; \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$2) X_{lk} = \begin{cases} 1 & ; l \text{ işgücü büyüklüğü, } k \text{ istasyonuna özgülenirse} \\ 0 & ; \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$3) t_{ik} : k \text{ istasyonunda } i \text{ görevinin yapılma süresi}$$

Amaç denklemi:

$$\text{Enk} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{l=m}^M 1 \cdot X_{lk}$$

m: I içindeki tüm görevler için enküçük işgücü büyüklüğü

M: I içindeki tüm görevler için enbüyük işgücü büyüklüğü

Kısıtlar ise şu şekle gelir:

$$1) \sum_{k=1}^K Z_{ik} = 1 ; \quad \forall i \in I$$

Her görev, bir ve yalnız bir istasyona özgülenir.

$$2) \sum_{l=m}^M X_{lk} \leq 1 ; \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Her istasyonda, özgülenmiş en çok bir işgücü büyüklüğü vardır.

$$3) t_{ik} \geq \sum_{l=m}^M t_i(1) \cdot X_{lk} - N(1 - Z_{ik}) ; \quad \forall i \in I, \forall k = 1, \dots, K$$

Bir görev süresini tanımlamak için bir kısıtlamadır. Burada N ; tüm $t_i(1)$ 'den daha büyük bir tamsayıdır.

$$4) \sum_{i=1} t_{ik} \leq C ; \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Her k istasyonunda, çevrim süresi sınırlıdır.

$$5) \sum_{i=1} Z_{ik} \leq |I| \cdot \sum_{l=m}^M X_{lk} ; \quad \forall k = 1, \dots, K$$

$|I|$, I kümesi büyüklüğüdür ve bu, görev özgülemesi amacıyla adamlı bağlantıları sınırlar.

$$6) Z_{ik} \leq \sum_{n=1}^k Z_{jn} ; \quad \forall i \in I, \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Öncelik kısıtlamalarına göre her i görevi, j görevinden önce gelmektedir.

Genelde Shtub'ın formülasyonu $N = M - m$ iken $(N|K|K)$ değişkenin sıralamasını içerecektir ve $(I^2K/2)$ 'lik kestirilmiş öncelik sınırlaması kümesi büyüklüğü olduğunda $(I + K + IK + I^2K/2)$ adet kısıtlama olacaktır.

Yenilenmiş formülasyon; $(1IK + NK)$ değişken sıralama ve $(I + 3K + IK + I^2K/2)$ sınırlama içerecektir. $(NK + K)$ 'nin, $(2IK + NK)$ 'dan anlam-
lı derecede büyük ama $2K$ 'dan küçük olması umulur. Bu nedenle yeniden
formülasyon, $2K$ ek sınırlamalı özgün formülasyondandaha az değişken
içerir.

Birçok problemde, öncelik kısıtlamaları, belki daha yoğun ola-
rak kullanılabilir. Eğer öncelik, $R_s (s=1, \dots, S)$ kümelerine dayana-
rak tanımlanabilirse; R_s kümelerinin içindeki her görevin R_{s+1} 'in
içindeki her görevin öncesinde geldiği yerlerde, izleyen formülasyon,
öncelik ilişkileri için uygundur:

$$\sum_{i \in R_{s+1}} z_{ik} - |R_{s+1}| \cdot D_{ks} \leq 0 \quad ; \quad \forall k = 1, \dots, K$$

$$\sum_{i \in R_s} z_{ik} + |R_s| \cdot D_{ks} \leq |R_s| \quad ; \quad \forall k = 1, \dots, K$$

$|R_s|$ ve $|R_{s+1}|$: R_s ve R_{s+1} kümelerinin büyüklükleri

D_{ks} : Bir 0-1 değişken, $s = 1, \dots, (S-1)$

Basit öncelik kuralları olan bir küme için $I^2K/2$ kısıt, $K(S-1)$
değişkenli ve $2K(S-1)$ kısıtlı durum ile yer değiştirecektir. Bu de-
ğiş-tokuş, belirli problemler için yardımcı olacaktır.

5.4. GÖREV ÖĞRENİMİ GÖZÖNÜNE ALINARAK MONTAJ HATTI TASARIMI

5.4.1. Öğrenme ve Üretim Süreleri

Montaj hattı dengeleme çalışmalarında genellikle üretim süre-
lerinin, öğrenmeden veya üretim periyot arasından sonra oluşan stan-
dard süreler olduğu varsayılır. Eğer üretim çalışmaları çok uzun ve
öğrenme periyodu çok kısa ise bu, mantıklı bir kestirim olabilir.
Bununla birlikte birçok endüstrilerde üretim çalışmaları; (Öğrenme
Süresi/Toplam Üretim Süresi) oranı yüksek yığınlarla yapılır.

Enyaygın şekilde kullanılan öğrenme işlevlerinden biri şu şekildedir:

$$Y_x = K \cdot X^{-A}$$

Y_x : x. üretim çevrimi için çevrim süresi

K : 1. üretim çevrimi için çevrim süresi

X : Çevrim no.

$$A = (-1) \frac{\log (\text{öğrenme oranı})}{\log 2}$$

Öğrenme oranı için mantıklı bir aralığın; elle yapılan etkinlikler için 0,80 - 0,90 arasında, makina ile yapılan etkinlikler için 0,90 - 0,95 arasında olduğu bilinir.

Öğrenme genellikle, birikimli ortalama öğrenme işlevinin kullanımıyla tanımlanmaktadır:

$$\bar{Y}_x = K \cdot X^{-B}$$

$\bar{Y}_x$ = X. üretim çevrimi için, birikimli ortalama çevrim süresi

$$B = (-1) \frac{\log L}{\log 2}$$

$$L = \frac{\bar{Y}_{2x}}{\bar{Y}_x}$$

5.4.2. Görev Öğrenme ve İş Verimliliği Arası İlişki

Eğer T_z ; z ünite veya ürün için toplam üretim süresi ise;

$$T_z = Z \cdot \bar{Y}_z$$

olur. Görevin tek bir işçi tarafından yapılmakta olduğunu varsayarsak; işçi başına çıktı olarak ölçülen ortalama verimlilik:

$$P_z = \frac{Z}{T_z} = \frac{1}{\bar{V}_z}$$

olur.

Şimdi seçenek montaj hattı tasarımlarını karakterize edelim.

K_j ; N istasyonlu bir montaj hattının j no.lu istasyonundaki ilk çevrim için çevrim süresi olsun. Şu basitleştirici varsayımları yapalım:

1) Eğer K_j tek bir işçi tarafından yapılan tüm bir montajın ilk çevrimi için çevrim süresi ise; N istasyonlu bir montaj hattı için

$$K_j = \frac{K}{N}$$

olur. İş, alt görevlere bölündüğünde, hiç denge kaybı yoktur veya verimsiz süre oluşmaz.

2) Öğrenme oranı, seçenek montaj hattı görünüşleri için aynıdır.

3) Öğrenme oranı, montaj, hattındaki tüm istasyonlar için aynıdır.

N istasyonluk bir montaj hattında, (K/N) 'lik bir başlangıç çevrim süresine sahip her istasyon için, z ünitelik bir yığına ilişkin ortalama montaj hattı saati

$$\bar{V}_z = \frac{K}{N} z^{-B}$$

olur.

İstasyon başına 1 işçi varsayımıyla, z Ünitenin Üretiminde harcanan toplam iş saati

$$N.Z.\bar{V}_z$$

ve işçi saati başına çıktı için iş verimliliği

$$P_z = \frac{Z}{N \cdot Z \cdot \bar{V}_z} = \frac{1}{K \cdot Z^{-B}}$$

olur.

Son eşitlikten, iş verimliliğinin, montaj istasyonu sayısı olan N'nin bir işlevi olmadığı görülebilir. Bu nedenle, yapılan ver-sayımlar altında, montaj istasyonlarının hiçbirinin, aynı iş verimli-liğini doğurmayacağı sonucu çıkarılabilir [Boucher (1987)] .

N_1 ve N_2 ; - $N_1 > N_2$ olmak üzere- iki seçenek tasarıma uygulanabi-lir iş istasyonlarının sayıları olsunlar. Her tasarım altında or-talama birikimli montaj hattı saatleri;

$$\bar{V}(N_1)_z = \frac{K}{N_1} \cdot Z^{-B}$$

$$\bar{V}(N_2)_z = \frac{K}{N_2} \cdot Z^{-B}$$

olur. Toplam üretilmiş gerçekleştirme uzunlukları ise

$$T(N_1)_z = Z \cdot \bar{V} \cdot (N_1)_z = \frac{K}{N_1} \cdot Z^{1-B}$$

$$T(N_2)_z = Z \cdot \bar{V} \cdot (N_2)_z = \frac{K}{N_2} \cdot Z^{1-B}$$

olur. Eğer

$$N_2 < N_1$$

ise

$$T(N_1)_z < T(N_2)_z$$

olması gerekir. Montaj sistem tasarımları arasında, çıktı oranının dengede olması, yâni

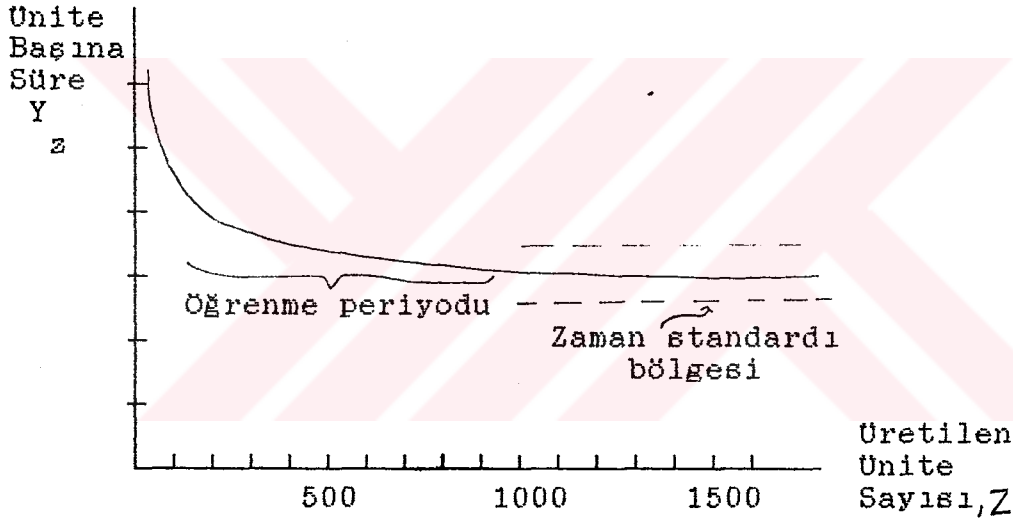
$$T(N_1)_z = T(N_2)_z$$

olması için, N_2 tasarımının 1'den çok montaj hattı olmalıdır.

5.4.3. Montaj Hattı Çıktı Oranları ve Öğrenme

Geleneksel montaj hattı dengeleme probleminde üretim mühendisi, montajın her bir işi için standart süreleri saptamakla işe başlar.

Şekil 5.16., öğrenme gerçekleştirdiği zaman, standart süre ve gerçek performans arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Eğrinin görece düz kısmı çevresindeki geniş bant, kümelenendirilmesi umulan standartların bulunduğu bölgedir. Eğer üretim çalışmaları görece kısa işbe, ürünün önemli bir miktarı, zaman zaman standartların üzerinde iyi olarak üretilecektir.



Şekil 5.16. Standart Süre-Gerçek Performans ilişkisi

Belirli işlemci geliştirme karakteristiklerinin tanımlanmasında yeğlenebilen öğrenme modelinin özel bir durumu, aşağıda gösterilmiştir [De Jong (1957)]:

$$Y_x = K \cdot [M + (1-M) \cdot X^{-A}]$$

Burada $0 < M < 1$ olup M, bir sıkışmazlık etmenidir. Sıkışmazlık etmeni, $X \rightarrow \infty$, $Y_x \rightarrow KM$ şeklindeki gelişimin sınırlarını gösterir. $M = 0.25$ ve $A = 0.322$ durumlarının, montaj etkinliklerinin kestiriminde yararlı olduğu bulunmuştur [Carlson (1962)].

5.4.4. Görev Öğrenme ve Süre Varsayımları Altında Enuygun Montaj Hattı Tasarımı

Öğrenme düşünüldüğünde, bir montaj hattının iş verimliliğinin saptanmasında 3 temel teknik etmen vardır:

1) Bir zaman sabiti, bir yığının teslim tarihi üzerine yerleştirildiğinde, verimliliği kolaylaştırmak amacıyla, daha büyük iş bölümlendirme için eğilim.

2) Görevlere dağıtılan işlerin az alt bölüme ayrılmasını sağlamak için denge gecikmesi kayıpları ve verimsiz iş süresi.

3) Görece kısa görev sürelerini başarmak amacıyla, öğrenme oranı için eğilim.

Bu düşünceler; öğrenme etkinlikleri düşünülürken, bir montaj hattı tasarımı için iş verimliliğinin enbüyüklenmesi probleminin aşadaki durumuna yol gösterir:

$$\text{Enk } \text{NDT}_z \\ T_z \leq T$$

$$D \geq 1 \text{ ve tamsayı}$$

Burada T_z ünitenin montajı için dıştan yüklenmiş süredir. Karar verme değişkenleri N ve D 'dir. Yukarıdaki doğrusal olmayan tamsayılı program, görece basit bir algoritmanın kullanımıyla çözülebilir. Bu algorithmada, izleyen üç eşitlikten yararlanılır:

$$\bar{V}_{z,i} = t_{\text{enb},i} \left[M + \frac{1-M}{1-A_i} \left(\frac{Z}{D_i} \right)^{-A_i} \right] \quad (5.1)$$

$$T_{z,i} = \frac{Z}{D_i} \bar{V}_{z,i} \quad (5.2)$$

$$LH_{z,i} = N_i \cdot D_i \cdot T_{z,i} \quad (5.3)$$

$Y_{z,i}$: i tasarım şeklinin kullanımıyla, z Ünitenin Üretimi için birikimli ortalama çevrim süresi

$t_{enb,i}$: i tasarım şeklinde, enyavaş montaj istasyonunun ilk Ünitesinin Üretiminin çevrim süresi

D_i : i tasarım şeklinde, paralel montaj hatlarının sayısı

A_i : i " şekli ile birleşik öğrenme oranı

$T_{z,i}$: i " şeklinde, z Ünitenin Üretimi için gerekli toplam süre

$LH_{z,i}$: i tasarım şeklinde, z Ünitenin Üretimi için toplam iş saati gereksinimi

N_i : i tasarım şeklinde, montaj hattı istasyonlarının sayısı.

Algoritma, aşağıdaki adımları içerir:

- 1) Aday tasarımların kümesini üret $[1, 2, \dots, i_{enb}]$.
- 2) Her tasarım için t_{enb} ve A değerlerini kestir.
- 3) $D=1$ yap; $i=1, \dots, i_{enb}$ için eşitlik 5.1, 5.2 ve 5.3'ü ölç.
- 4) Eğer $Enk LH_{z,i}$; $(T_z \leq T)$ sınırlamasını bozmayan bir tasarımla karşılaşırsa dur. Enuygun tasarım, $Enk LH_{z,i}$ 'ye karşılık gelen tasarımdır. Sınırlama bozulmuyorsa, adım-5'e git.
- 5) $(LH_{enk} = \min LH_{z,i})$ tanımlamasını yap.
- 6) $D=D+1$ yap ve $(LH_{z,i} < LH_{enk})$ durumunu, tüm i 'ler için, $D=D-1$ durumunda değerlendir.
- 7) Eğer $D+1$ 'de tüm aday i 'lerin değerlendirilmesi için $(LH_{z,i} > LH_{enk})$ ise, dur. LH_{enk} 'e karşılık gelen D ve N 'yi seç. Eğer $(LH_{z,i} < LH_{enk})$ herhangi bir i için doğruysa, adım-4'e git.

ÖRNEK 5.3.

Bu örnekte Tablo 5.3., uygun seçenek hat tasarımlarının ve hattaki enyavaş istasyonun oluşturulmasının bir temelidir. Bu istasyon, tablo üzerinde -bir * ile-gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Seçenek Montaj Hattı Tasarımları için istasyon Süreleri (Dakika)

N Tasarımdaki istasyon Sayısı	istasyon No.								$\Sigma t'_i$	Verimli Olmayan iş
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	10 *								10.0	0.0
2	5.1 *	5.0							10.1	0.1
3	3.4 *	3.4	3.4						10.2	0.2
4	2.6	2.5	2.5	2.7 *					10.3	0.3
5	2.2 *	2.1	1.9	2.0	2.2				10.4	0.4
6	1.9 *	1.7	1.7	1.8	1.8	1.6			10.5	0.5
7	1.5	1.6	1.5	1.7 *	1.5	1.4	1.4		10.6	0.6
8	1.4	1.3	1.4	1.5 *	1.2	1.4	1.3	1.2	10.7	0.7

* : Hattın enyavaş istasyonu

Tablo 5.4., her seçenek tasarım için $t_{enb,i}$ ve A_i 'nin kestiriminin sonuçlarını gösterir.

Tablo 5.5. ise, algoritmanın uygulanmış durumudur. $D=1$ ve $N=5$ sonucu; süre sınırlamasını sağlayan ve enküçük toplam işçi gereksinimi sonucunu veren tasarımıdır.

Tablo 5.3'de $N=4$ için standart süre 2.7 dakikadır. $M=0.25$ ve $A=0.322$ parametre değerleri için standardın, yaklaşık 1.000 ünite de umulan çevrim süresi için oluşturulduğunu varsayalım. İlk ünitenin çevrim süresi için bunu çözebiliriz:

Tablo 5.4. ilk Unitenin Kestirilmiş Süresi ve Kestirilmiş Öğrenme Oranları

N	t _{enb}	Öğrenme	
		%	A
1	30.20	85	0.234
2	15.42	84	0.252
3	20.27	83	0.269
4	8.15	82	0.286
5	6.64	81	0.304
6	5.74	81	0.304
7	5.13	80	0.322
8	4.53	80	0.322

$$Y_{1000} = Y_1 [M + (1 - M) 1000^{-A}]$$

$$2.7 = Y_1 [0,25 + 0,75 \cdot 1000^{-0,322}]$$

$$Y_1 = 8,15$$

Bu nedenle, 1000 üniteyi üretmek için gerekli süre;

$$\begin{aligned} T_z &= Z \cdot \bar{Y}_z = Z \cdot K \cdot [M + \frac{1 - M}{1 - A} \cdot Z^{-A}] \\ &= 1000 \cdot 8,15 \cdot [0,25 + \frac{0,75}{0,678} (1000)^{-0,322}] \\ &= 3012 \text{ dk.} \end{aligned}$$

5.5. MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİNDE MÂLİYET KAVRAMI

5.5.1. Temel Bilgiler

Çevrim süresi - istasyon sayısı karışımını enuygunlaştırmak için geliştirilen modelde 5 etmen düşünülür:

Tablo 5.5. Çeşitli Montaj Hatları için Ortalama Ünite Süresi, Üretim Yapma Uzunluğu ve Toplam Gerekli işçi Süresi

N	Parametreler	D	
		1	2
1	$\bar{Y}_z$	13.423	
	T_z	13.423	
	LH	13.423	
2	$\bar{Y}_z$	6.558	
	T_z	6.558	
	LH	13.116	
3	$\bar{Y}_z$	4.211	4.548
	T_z	4.211	2.774
	LH	12.633	13.644
4	$\bar{Y}_z$	3.225	
	T_z	3.225	
	LH	12.900	
5	$\bar{Y}_z$	2.536	
	T_z	2.536	
	LH	12.680	
6	$\bar{Y}_z$	2.192	
	T_z	2.192	
	LH	13.152	
7	$\bar{Y}_z$	1.896	
	T_z	1.896	
	LH	13.272	
8	$\bar{Y}_z$	1.674	
	T_z	1.674	
	LH	13.392	

- 1) Öğrenme mâliyetleri,
- 2) Envanter mâliyetleri,
- 3) Hazırlık mâliyetleri,
- 4) Dengeleme mâliyetleri,
- 5) Tesis mâliyetleri.

Montaj hatları, gerekli istem sığalarını karşılamak üzere değiştirilebilecek yararlı üretim sığası içindeki üretim hatlarının özel bir durumu olarak düşünülebilir.

Montaj hattı tasarımı için geleneksel yaklaşım; P Ürün/saat'lik bir sürekli istem oranını karşılamak üzere hesaplanan gerekli çevrim süresi (C_T) ile başlar. Daha sonra ya istasyon sayısını enküçükleyen veya C_T ile bulunmuş kuramsal enküçük istasyon sayısı için çevrim süresini enküçükleyen bir denge kurulur.

Bu geleneksel yaklaşım, montaj hatlarının kullanımını doğrulamaya yardımcı önemli bir mâliyet etmeni olan öğrenme mâliyetini kabul etmez. Basit görevler, karmaşık görevlere göre daha az öğrenme süresi gerektirir. Geniş periyotlar üzerinde ürünler için düşük istemler, genellikle daha uzun çevrim sürelerine gereksinim gösterirler. Gereken çevrim süresi artarken, öğrenme mâliyetleri de artacaktır.

5.5.2. Genel Varsayımlar

- 1) Her istasyonda bir işçi vardır.
- 2) Etkinlik süreleri deterministiktir ve "standart" süreler olarak ifade edilir.
- 3) Her bir istasyona özgülenmiş işler, istasyonun çevrim süresi içinde tamamlanır.
- 4) Tasarlama dönemi üzerinde M istemi sabittir.
- 5) Başlangıç envanteri sıfırdır.
- 6) Dengeleme mâliyetlerinin düşünüldüğü zamanlar dışında, $C_0^*-L^*$ karışımları ile, mükemmel dengelenmiş istasyonlar varsayılmaktadır.

5.5.3. Öğrenme Mâliyeti Etmeni

Bu etmen için şu başlangıç varsayımları yapılır:

a) Güç eğrisi [Wright (1986)], öğrenme olayını, iyi bir şekilde tanımlayan bir eğridir.

b) İşçiler, yeni ürünün montajında, daha önceden bir deneyime sahip değillerdir.

Güç eğrisi:

$$y(n) = y(1) \cdot n^{-b}$$

$y(1)$, $y(n)$: 1. ve n. yinelemeler için edim süreleri

b : Öğrenme sabiti

$$\emptyset = 2^{-b} \cdot 100$$

$\emptyset$: Öğrenme eğimi

$\emptyset$, üretim miktarı iki katına çıktıkça, yürütme sürelerinde umulan azalmaları verecektir. $\emptyset$, iş yapılmasındaki güçlüğün bir işlevidir. Eşit süreli A ve B görevleri için A, B'den daha karmaşık ise $\emptyset_A < \emptyset_B$ olacaktır. Yâni, A ile daha büyük öğrenme oluşacaktır. Daha büyük öğrenme eğimi ile, daha az öğrenme ortaya çıkar. %100'lük öğrenme eğiminin anlamı, hiç öğrenme olmadığıdır.

Bir sonraki problem, iş güçlüğünün nasıl ölçüleceğidir. Birçok araştırmacı, bundaki enönemli etmenin, çevrim süresinin büyüklüğü olduğu fikrini savunurlar. Oysa bazı etkinlikler, birçok yinelemeli iş ögesini içerir. Bazı etkinlikler ise, genel olarak, edimleri için başarılı performans gerektiren yinelemesiz işleri içerir. Dolayısıyla çevrim süresi çok duyarlı bir ölçü değildir. Yinelemesiz süreler, açıkça daha iyi bir ölçüdür.

Öğrenilmesinin uzun süreceği iş demekle işin çok zor olacağı anlamını veririz. Standart performans gibi, iş performansının standart bir düzeyine ulaşmak için bir işçinin, çok yineleme yapmasına gerek duyulur.

Öğrenme mâliyeti modelini geliştirmek için, çevrim süresi ve tekrar sayısı N arasındaki ilişkiyi bilmek gereksinimindeyiz:

$$C_o = y(1) \cdot N^{-b}$$

C_0 : Bir istasyon için işlemin çevrim süresi

N : Standart performansı başarmak için gereken yineleme sayısı

$$y(1) = C_0 \cdot N^b$$

$$N = a + d \cdot C_0$$

a : 300 - 500 arası bir sabit

d : 300 - 700 " " "

Öğrenme karakteristikleri, her istasyonda özdeştir [$y(1)$, $y(n)$ ve b , değişmez].

Öğrenme, standart süre öncesinde sürer. Vâni yineleme sayısı N 'ye çıkınca, edim süreleri standart süreden az olmaya başlar.

$$\bar{Y}(n) = \frac{y(1) \cdot n^{-b}}{1-b}$$

$$\bar{Y}(M) = \frac{y(1) \cdot M^{-b}}{1-b} = \frac{C_0}{1-b} \left(\frac{a+d \cdot C_0}{M} \right)^b$$

$\bar{Y}(n)$: Ortalama edim süresi

M : Tasarlama dönemi boyunca toplam üretim gereksinimi

$\bar{Y}(M)$: M yinelemeyi tamamlamak için geçen ortalama süre

$$LC = \frac{W \cdot L}{60} \{M \cdot \bar{Y}(M)\}$$

W : Saatlik ortalama işçi ücreti (\$)

LC : Öğrenme mâliyeti

$$L = \left[\frac{TA}{C_0} \right]^+$$

TA : Toplam montaj süresi

$[x]^+$: x 'den büyük olan enküçük tamsayı

$$LC = \left[\frac{TA}{C_0} \right]^+ + \frac{W \cdot M}{60} \frac{C_0}{1-b} \left(\frac{a+d \cdot C_0}{M} \right)^b$$

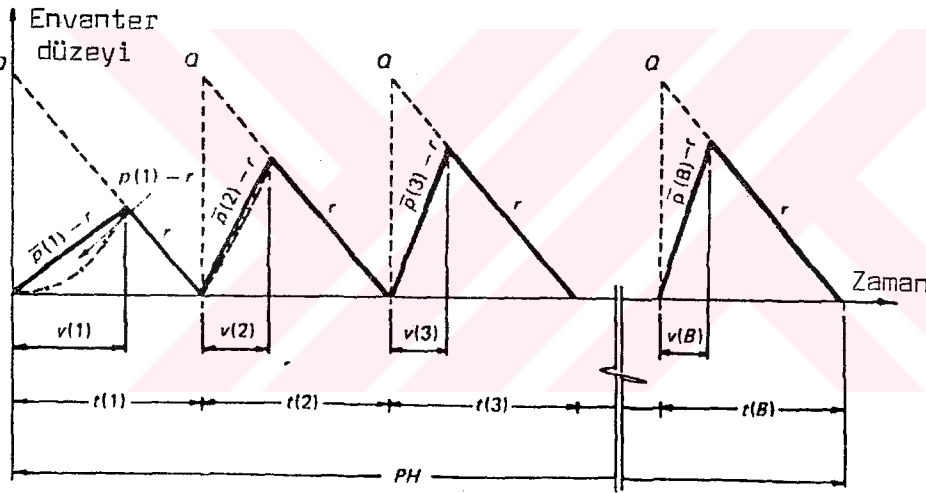
$$= \frac{TA \cdot WM}{60} \frac{1}{1-b} \left(\frac{a+d \cdot C_0}{M} \right)^b$$

5.5.4. Envanter Mâliyeti Etmeni

Bu mâliyetin saptanması; Üretimin, tüm tasarlama dönemi boyunca alınan eşit yığınlar içinde edimlenmesi varsayımı temelinde yapılmaktadır.

Başlangıç varsayımları şöyledir:

- 1) Enküçük üretim periyodu 1 gündür ve 8 saat/gün çalışılır.
- 2) Stok çıkışları engellenmiştir.
- 3) İşçilerin montaj yapmadığı süreler, daha verimli olarak kullanılabilir.



Şekil 5.17. Üretim Programı ve Envanter Düzeyi Programı

Envanter, $(\bar{p}(i)-r)$ oranında, (i) üretim çalışması periyodu boyunca birikimlenir. Üretim oranı gerçekte zamana bağlı olarak değişmekle birlikte biz, bu oranı sabit kabul ediyoruz. Ayrıca üretim periyodları, her bir başarılı yığın ile azaltılır (Şekil 5.17.).

$$\bar{I}(i) = \frac{1}{2} \{ \bar{p}(i)-r \} v(i) = \frac{Q}{2} \left\{ 1 - \frac{r}{\bar{p}(i)} \right\}$$

i: i. yığının üretim periyodu (i = 1, 2, 3, 4, ..., B)

B: Tasarlama dönemi boyunca yığın sayısı

Q: Yığın büyüklüğü

I(i): t(i) periyodu boyunca ortalama envanter

$\bar{p}(i)$: Çalıştırma zamanı boyunca ortalama üretim oranı (ürün/saat)

r: Ürünler için sabit istem oranı

v(i): Yığın için üretim çalıştırma zamanı (periyod t(i) zamanı)

$$r = \frac{M}{PH}$$

M : Tasarlama dönemi boyunca yapılan
toplam montaj sayısı

PH: Tasarlama dönemi

$$IC(i) = \frac{C_h \cdot I(i) \cdot t(i)}{PH} = \frac{C_h \cdot t(i)}{PH} \cdot \frac{Q}{2} \cdot \left\{ 1 - \frac{r}{\bar{p}(i)} \right\}$$

IC(i) : t(i) periyodu boyunca envanter mâliyeti

C_h : Tasarlama dönemi boyunca ünite tutma mâliyeti

t(i) : Komşu yığınların çalıştırılmaları arasında periyot

(t(1) = t(2) = ... = t(B))

$$\begin{aligned} TIC &= \frac{C_h \cdot Q}{2 PH} \sum_{i=1}^B \left\{ 1 - \frac{r}{\bar{p}(i)} \right\} t(i) \\ &= \frac{C_h \cdot t(i) \cdot Q}{2 PH} \left\{ B - r \sum_{i=1}^B \frac{1}{\bar{p}(i)} \right\} \end{aligned}$$

TIC : Toplam envanter mâliyeti

$$\bar{p}(i) = \frac{60}{Y(Q_i)}$$

$Y(Q_i)$ = v(i) periyodu boyunca Q parçalı
üretimi için ortalama edim süresi(dk)

Bu eşitlikte kastedilen, verilen aralara rağmen öğrenmenin
sürdüğü sınırlamasıdır.

$$\sum \frac{1}{\bar{p}_i} = \frac{B \cdot \bar{Y}(M)}{60}$$

$$TIC = \frac{C_h \cdot t(i) \cdot Q \cdot B}{2 PH} \left\{ 1 - \frac{r \cdot \bar{Y}(M)}{60} \right\}$$

$$PH = B \cdot t(i)$$

$$TIC = \frac{C_h \cdot Q}{2} \left\{ 1 - \frac{r \cdot \bar{Y}(M)}{60} \right\} = \frac{C_h \cdot M}{2B} \left\{ 1 - \frac{r C_o}{60(1-b)} \left(\frac{a+dC_o}{M} \right)^b \right\}$$

5.5.5. Hazırlık Mâliyeti Etmeni

Hazırlık mâliyeti ile biz; tüm donatımın oluşturulması, taşıma sistemi, âletler, aparatlar ve diğerlerini içeren, tasarı içindeki ürünlerin sürekli üretimi için gereken çeşitli mâliyetleri kastediyoruz. Toplam hazırlık sayısı B ile sınırlanmıştır.

Buradaki varsayımlarımız şöyledir:

- 1) Hazırlık mâliyeti, tüm istasyonlar için aynıdır.
- 2) Hazırlık etkinlikleri için öğrenme sabiti, ürün başına aynı değere sahiptir.

$$S(i) = A(1) \cdot (i)^{-b}$$

S(i): i. üretim çalışması için istasyon başına hazırlık mâliyeti

A(1): 1. üretim çalışmasında, istasyon başına hazırlık mâliyeti

b : Öğrenme sabiti

$$\begin{aligned} SUC &= L \sum_{i=1}^B S_i = L \cdot A(1) \sum_{i=1}^B (i)^{-b} \approx L \cdot A(1) \int_1^B (i)^{-b} di \\ &\approx \frac{L \cdot A(1)}{1-b} (B)^{1-b} \end{aligned}$$

SUC : Toplam hazırlık mâliyeti

L : İstasyon sayısı

B : Toplam hazırlık sayısı

5.5.6. Enuygun Yığın Büyüklüğünün ve Yığın Sayısının Saptanması

Yığın büyüklüğü Q'dan etkilenen yalnızca 2 mâliyet etmeni vardır: Envanter ve hazırlık mâliyetleri.

$$\frac{\delta(TIC + SUC)}{\delta B} = 0$$

$$B^* = \left[\frac{C_h \cdot M}{2LA(1)} \cdot \left\{ 1 - \frac{rC_o}{60(1-b)} \left(\frac{a+dC_o}{M} \right)^b \right\} \right]^{1/(2-b)}$$

B* : Enuygun yığın sayısı

$$M = Q^* \cdot B^*$$

$$Q^* = M/B^*$$

Q* : Enuygun yığın büyüklüğü

M : Tasarlama dönemi boyunca yapılan toplam montaj sayısı

5.5.7. Dengeleme Mâliyeti Etmeni

$$\text{WEST Oranı} = \frac{K}{L}$$

K : Montaj görevindeki iş ögesi sayısı

L : İstasyon sayısı

$$PIT = e \cdot (C_o)^{-f}$$

PIT : % olarak boş zaman

e, f : Kullanılan dengeleme tekniğine bağlı olarak sabitler

C_o : Bir istasyon için işlemin çevrim süresi

Dar-El kaynak verisinin analizi, aşağıdaki sonuçları vermiştir [Mansoor (1970)]:

$$e = 10.88, \quad f = 1.317 \quad (C_o; \text{dk. olarak atanmıştır})$$

$$BC = \frac{L \cdot w}{60} \{M \cdot \bar{V}(M)\} \frac{e}{100} (C_o)^{-f}$$
$$= \frac{M \cdot w \cdot e \cdot TA}{6000(1-b)} \left(\frac{a + d \cdot C_o}{M} \right)^b (C_o)^{-f}$$

BC : Dengeleme mâliyeti

L : İstasyon sayısı

w(\$): Ortalama saatlik ücret

5.5.8. Bina Mâliyeti Etmeni

Şu mâliyetleri içerir:

- a) Yeniden tasarlama,
- b) Taşıma sistemi,
- c) Yer,
- d) Donatım,
- e) Aparat,
- d) Diğer tezgâh mâliyetleri.

$$FC = FA \cdot L = \frac{FA \cdot TA}{C_o}$$

FA : İstasyon başına ortalama bina mâliyeti

FC : Toplam bina mâliyeti

TA : Toplam montaj süresi

L : İstasyon sayısı

C_o : Bir istasyon için işlemin çevrim süresi

5.5.9. Toplam Mâliyet

Bu mâliyet, işlem çevrim süresinin (C_o) bir işlevi olarak aşağıdaki gibidir:

$$TM = LC + TIC + SUC + BC + FC$$

↓ ↓
B*'ı kullanarak

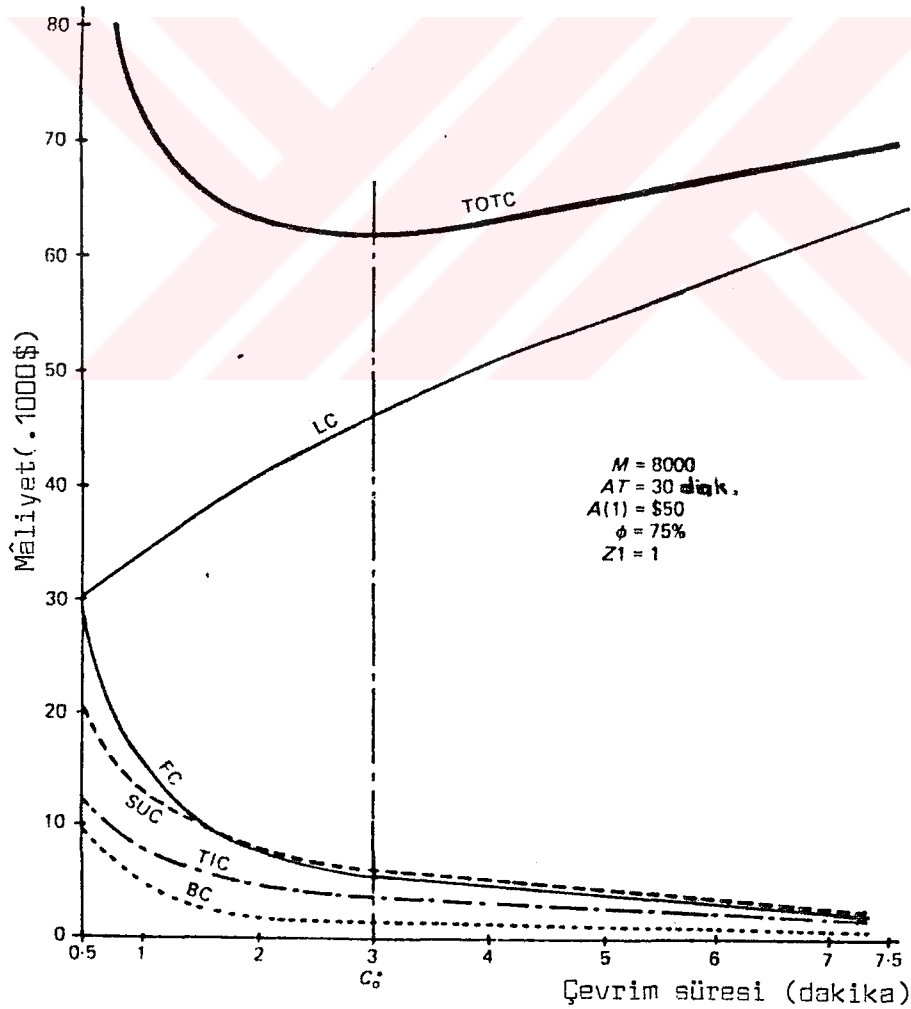
$\frac{\delta TM}{\delta C_0} = 0$ kısmî türevini alarak, enuygun çevrim süresi C_0^* ve ilişkili olarak L^* istasyon sayısını buluruz.

Bu türev eşitliğini çözmek için yöntemlerden biri, özgül $C_0^* - L^*$ karışımı için enküçük TOTC değeri bulununcaya kadar L içinde, denemeli değişiklikler yapılır.

$$RELC = \frac{C_0^*}{C_{MAX}} \quad \begin{array}{l} C_0^* : \text{Enuygun çevrim süresi} \\ C_{MAX} : \text{Çevrim süresinin üst sınırı} \end{array}$$

$$\% \text{ Mâliyet Azalması} = \frac{TM(C_{MAX}) - TM(C_0^*)}{TM(C_{MAX})} \times 100$$

Tüm mâliyetleri içeren bir örnek, Şekil 5.18'de görülmektedir.



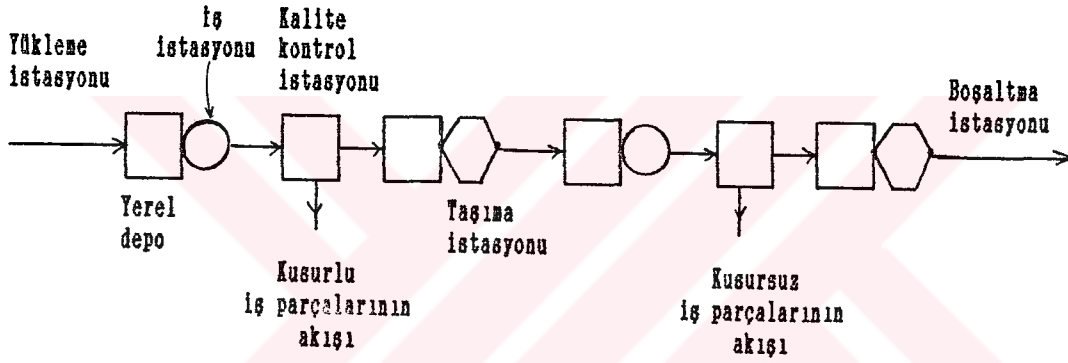
Şekil 5.18. Verilmiş Bir Operasyon Koşulları Altında Beş Mâliyet Etmeninin Görünüşü

5.6. BİR MONTAJ SİSTEMİNİN YEREL DEPO BÜYÜKLÜKLERİNİN ENUYGUN SEÇİMİ

5.6.1. Temel Bilgiler

Behnam Pourbabai'nin makalesi [Pourbabai (1989)], taşıma istasyonları kümesi ile sıralanan iş istasyonları ve kontrol istasyonları kümesini içeren bir montaj sisteminin tasarımını tanımlar. Amaç; sistem tıkanmasının, olası enaz düzeye indirilmesidir.

Genel yerleşim düzeni, Şekil 5.19'daki gibidir.



Şekil 5.19. Konuyla ilgili Montaj Sistemi

Bu sistemde genel olarak L adet ardıl iş istasyonu, L adet kalite kontrol istasyonu ve 1 yükleme istasyonu vardır. Şekil 5.19'daki sistemde L=2 alınmıştır. Malzeme işleme sistemi, L taşıma istasyonundan oluşur. Her taşıyıcı istasyon da, bir yerel depo ve bir otomatize güdümlü araçtan oluşur. İş parçaları, otomatize güdümlü araç sistemi ile, sistem içinde taşınır.

5.6.2. Başlangıç Varsayımları

- 1) Her iş istasyonu tasarımı, grup teknolojisi yöntemleri ile yapılır.

- 2) Her iş istasyonundaki iş süreleri toplamı, eksponansiyel dağılmış rastsal bir değişkendir (Bu kabul, her üretim çevrimi için gerçekçi değildir).
- 3) Yükleme süreci, bir poisson sürecidir.
- 4) Sonlu kapasiteli M/M/1 kuyruk sisteminin, bölümlerarası zamanlar arasındaki farklılıkları gözardı edilebilir.
- 5) Sonlu kapasiteli M/M/1 kuyruk sisteminin, bölümlerarası zaman dağılımı, eksponansiyeldir.
- 6) Her iş istasyonunda ve her taşıyıcı istasyondaki yükleme oranları; karşılık gelen işlem oranlarından küçüktür.
- 7) Kusurlu iş parçaları iskartaya çıkarılır.
- 8) Bulunan her iş istasyonunun ve her taşıma istasyonunun tıkanmasının kabul edilebilir olasılıkları 0'a yeterince yakındır.

5.6.3. Gösterimler

L : İş istasyonu sayısı

i : İş istasyonu indeksi ($j= 1, \dots, L$)

λ^a : Yükleme oranı

λ_j^a : İş istasyonu j 'ye varış oranı (Örneğin taşıma istasyonu $(j-1)$ 'den kalkış oranı)

λ_j^d : İş istasyonu j 'den doldurma oranı (Örneğin kontrol istasyonu j 'e varış oranı)

λ_j^b : Kalite kontrol istasyonu j 'den doldurma oranı (Örneğin taşıma istasyonu j 'ye varış oranı)

λ_j^e : Taşıma istasyonu j 'den doldurma oranı (Örneğin iş istasyonu $(j+1)$ 'e varış oranı)

μ_j [$\hat{\mu}_j$] : İş [Taşıma] istasyonu j 'nin işlem oranı

$N_{j-1}[M_{j-1}]$: İş [Taşıma] istasyonu j 'nin yerel depo sığası

$N_j^*-1[M_j^*-1]$: İş [Taşıma] istasyonu j 'nin enuygun yerel depo sığası

n_j ve $p(n_j \leq \cdot)$: İş [Taşıma] istasyonu j 'deki iş parçalarının sayısını

m_j ve $P(m_j \leq \cdot)$ gösteren rastsal değer ve onun dağılımı

$\alpha_j [\beta_j]$: İş [Taşıma] istasyonu j'nin tıkanmış olmasının kabul edilebilir olasılığı

p_j : Kontrol istasyonu j'yi terkeden iş parçalarının kusurlu olmayanlarının oranları

$d_j [\hat{d}_j]$: İş [Taşıma] istasyonu j'de, yerel depo büyüklüğünün 1 ünite artmasıyla ilgili marjinal mâliyet

$c_j [\hat{c}_j]$: İş [Taşıma] istasyonu j'nin bölümlerarası zaman dağılımının değişirlik (Varyasyon) katsayısı

5.6.4. Enuygunlaştırma Modeli

Bu bölümde, gösterimler kullanılarak çeşitli denklemler çıkarılacaktır:

$$\lambda_1^a = \lambda^a \quad (5.4)$$

$$\lambda_j^d = \lambda_j^a \quad (5.5)$$

$$\lambda_j^b = p_j \cdot \lambda_j^d \quad (5.6)$$

$$\lambda_j^e = \lambda_j^b \quad (5.7)$$

$$\lambda_{j+1}^a = \lambda_j^e \quad (5.8)$$

$$\text{Enk} \sum_{j=1}^L (d_j N_j + \hat{d}_j M_j) \quad (5.9)$$

$$P(n_j \geq N_j) \leq \alpha_j, \quad j=1, \dots, L \quad (5.10)$$

$$P(m_j \geq M_j) \leq \beta_j, \quad j=1, \dots, L \quad (5.11)$$

Burada N_j ve M_j , negatif olmayan tamsayı değişkenlerdir.

$$\left(\frac{\lambda^a}{\mu_1} \right)^{N_1} \leq \alpha_1 \quad (5.12)$$

$$\left[\left(\prod_{k=1}^{j-1} p_k \right) \frac{\lambda^a}{\mu_j} \right] N_j \leq \alpha_j \quad j=2, \dots, L \quad (5.13)$$

$$\left[\left(\prod_{k=1}^j p_k \right) \frac{\lambda^a}{\hat{\mu}_j} \right] M_j \leq \beta_j \quad j=1, \dots, L \quad (5.14)$$

$$\lambda_j^a = \left(\prod_{k=1}^{j-1} p_k \right) \lambda^a \quad j=2, \dots, L \quad (5.15)$$

$$\lambda_j^b = \left(\prod_{k=1}^j p_k \right) \lambda^a \quad j=1, \dots, L \quad (5.16)$$

$$N_1 \cdot \log \left[\frac{\lambda^a}{\mu_1} \right] \leq \log \alpha_1 \quad (5.17)$$

$$N_j \cdot \log \left[\left(\prod_{k=1}^{j-1} p_k \right) \frac{\lambda^a}{\mu_j} \right] \leq \log \alpha_j \quad j=2, \dots, L \quad (5.18)$$

$$M_j \cdot \log \left[\left(\prod_{k=1}^j p_k \right) \frac{\lambda^a}{\hat{\mu}_j} \right] \leq \log \beta_j \quad j=1, \dots, L \quad (5.19)$$

Eğer $\lambda^a < \mu_j$, $\lambda^a < \hat{\mu}_j$, $\alpha_j < 1$ ve $\beta_j < 1$ ise şu denklemler yazılabilir:

$$N_1^* = \left[\frac{\log \alpha_1}{\log \left(\frac{\lambda^a}{\mu_1} \right)} \right]^+ \quad (5.20)$$

$$N_j^* = \left[\frac{\log \alpha_j}{\log \left(\left(\prod_{k=1}^{j-1} p_k \right) \frac{\lambda^a}{\mu_j} \right)} \right]^+ \quad j=1, \dots, L \quad (5.21)$$

$$M_j^* = \left[\frac{\log \beta_j}{\log \left(\left(\prod_{k=1}^j p_k \right) \frac{\lambda^a}{\hat{\mu}_j} \right)} \right]^+ \quad j=1, \dots, L \quad (5.22)$$

ÖRNEK 5.4.

$L=2$, $\lambda^a = 0.7$, $P_j = 0.9$, $\alpha_j = \beta_j = 0.01 [0.001]$ ve tüm işlem yap-
ma oranları $\mu_j = 1$ olmak üzere iş ve taşıma istasyonlarının enuygun
yerel depo büyüklüklerini hesaplayalım:

$$\lambda^a = 0.7$$

$$P_1 = P_2 = 0.9$$

$$\mu_1 = \mu_2 = \hat{\mu}_1 = \hat{\mu}_2 = 1$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \beta_1 = \beta_2 = 0.01 \text{ için}$$

$$N_1^* = \left[\frac{\log \alpha_1}{\log \left(\frac{\lambda^a}{\mu_1} \right)} \right]^+ = \left[\frac{\log 0.01}{\log \left(\frac{0.7}{1} \right)} \right]^+ = [12.91]^+ = 13$$

$$N_2^* = \left[\frac{\log \alpha_2}{\log \left[\left(\prod_{k=1}^{j-1} P_k \right) \frac{\lambda^a}{\mu_2} \right]} \right]^+ = \left[\frac{\log 0.01}{\log \left[0.9 \times \frac{0.7}{1} \right]} \right]^+ = [9.967]^+ = 10$$

$$M_1^* = \left[\frac{\log \beta_1}{\log \left[\left(\prod_{k=1}^1 P_k \right) \frac{\lambda^a}{\hat{\mu}_1} \right]} \right]^+ = \left[\frac{\log 0.01}{\log \left[0.9 \times \frac{0.7}{1} \right]} \right]^+ = [9.967]^+ = 10$$

$$M_2^* = \left[\frac{\log \beta_2}{\log \left[\left(\prod_{k=1}^2 P_k \right) \frac{\lambda^a}{\hat{\mu}_2} \right]} \right]^+ = \left[\frac{\log 0.01}{\log \left[0.9 \times 0.9 \times \frac{0.7}{1} \right]} \right]^+ = [8.11]^+ = 9$$

Aynı şekilde

$$\lambda^a = 0.7$$

$$P_1 = P_2 = 0.9$$

$$\mu_1 = \mu_2 = \hat{\mu}_1 = \hat{\mu}_2 = 1$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \beta_1 = \beta_2 = 0.001 \text{ için}$$

$$N_1^* = 20$$

$$N_2^* = 15$$

$$M_1^* = 15$$

$$M_2^* = 13 \text{ olarak bulunur.}$$

5.7. SONLU SIĞALI TÜMLEŞİK MONTAJ SİSTEMİNİN ENUYGUN KULLANIMI

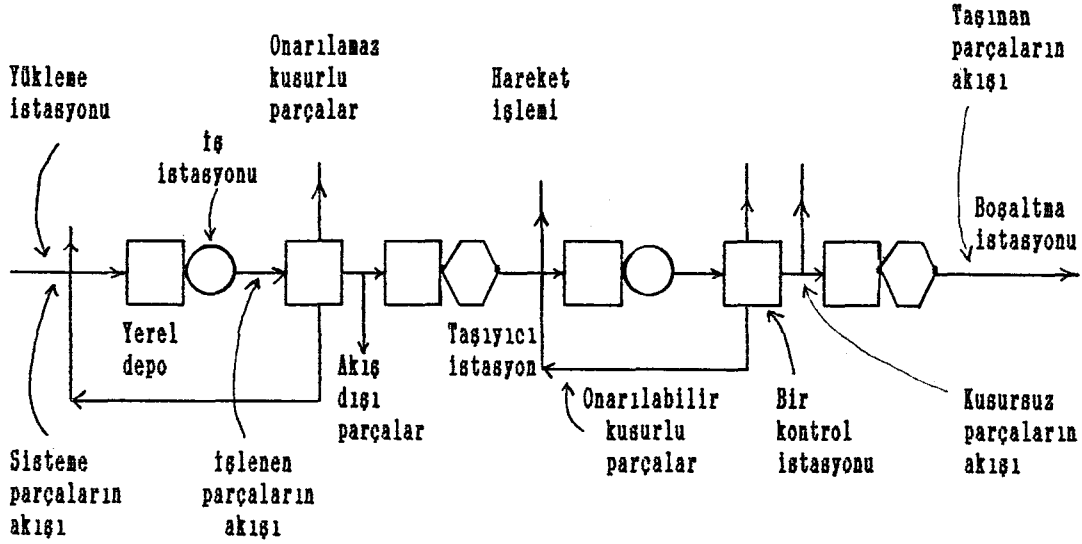
5.7.1. Genel Bilgiler

Behnam Pourbabai'nin bir diğer makalesinde [Pourbabai (1990)], sistemin tıkanmasının kontrolü sırasında, bir taşıyıcı istasyonlar kümesi ile birbirine bağlanan bir denetleme istasyonları kümesi, bir ardıl iş istasyonları kümesi, bir yükleme ve bir de boşaltma istasyonundan oluşan sonlu sığalı tümleşik montaj sisteminden doldurma oranını enbüyükleme için; bir sezgisel yöntem bilim geliştirilmiştir. Bu amaç için üç oran verilmiştir. Bunlar, her denetleme istasyonundaki:

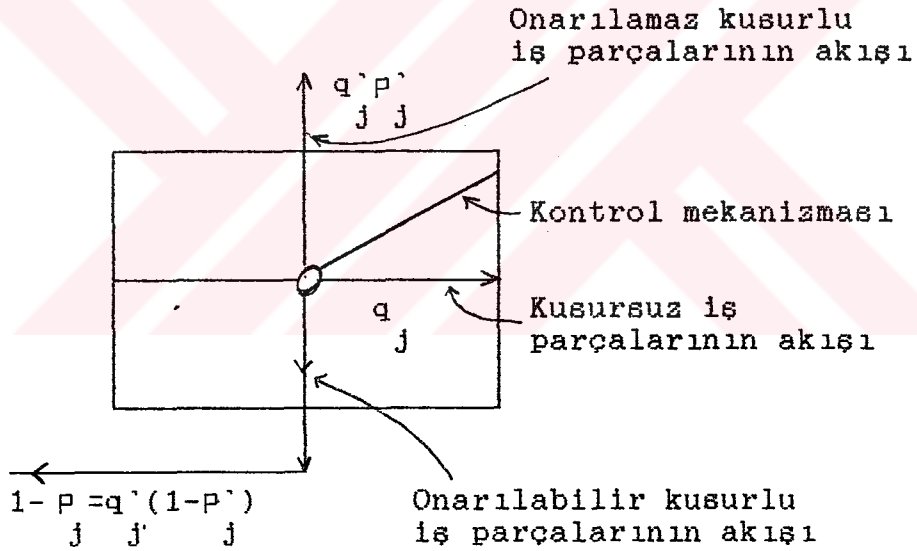
- 1) Onarılabilir kusurluların oranı,
- 2) Onarılamaz " " ,
- 3) Kusursuz iş parçalarının oranı.

Her iş istasyonunun ve her taşıma istasyonunun tıkanmasının kabul edilebilir olasılıkları, yerel depo büyüklükleri, tüm iş istasyonları ve taşıyıcı istasyonların iş görme oranları verilmiştir. Sistemden alınan enbüyük doldurma oranına yaklaşım için basit bir yaklaşım form ifadesi çıkarılmıştır.

Sistemin genel yerleşim düzeni, Şekil 5.20'deki gibidir. Ayrıca bir otomatize kontrol istasyonu, Şekil 5.21'deki gibidir.



Şekil 5.20. İki Taşıyıcı istasyon ile Bağlı, İki İş İstasyonu ve İki Kontrol İstasyonundan Oluşan Bir Montaj İstasyonu



Şekil 5.21. Bir Otomatize Kontrol Sisteminin Sunumu

İki durumda tıkanma olur:

- 1) Gelen iş parçaları, ilk geliş anlarında iş istasyonunu dolu bulursa,
- 2) Gelen iş parçaları, ilk geliş anlarında taşıma istasyonunu dolu bulursa.

Bir enuygun yükleme stratejisi geliştirmek için;

1) Montaj sisteminin performansı karakterize edilecektir.

2) Darboğaz probleminin kontrolu sırasında, sistemden alınan enbüyük doldurma oranına yaklaşmak için bir enuygunlaştırma modeli geliştirilecektir.

5.7.2. Varsayımlar

1) Her iş istasyonu tasarımı, bir grup teknoloji yöntembilimi temeline dayanır.

2) Her iş istasyonunda işlem görme sürelerinin toplamı, eksponansiyel dağılmış bir rastsal değışkendir.

3) Sistemin her bileşeni güvenilirdir ve bozulmaz.

4) Yükleme süreci, bir poisson sürecidir.

5) Sonlu sığalı bir M/M/1 kuyruk sisteminin hareket zamanları arası farklılıklar gözardı edilebilir.

6) Bir anlık Bernoulli geri itilim mekanizmasına sahip olan veya olmayan, sonlu sığalı bir M/M/1 kuyruk sisteminin hareket zamanları arası süreye, bir eksponansiyel dağılım ile yaklaşılır.

7) Her iş istasyonu ve her taşıma istasyonundaki yükleme oranları, karşılık gelen iş görme oranlarından daha küçüktür.

8) Onarılamaz kusurlu, onarılabilir kusurlu ve kusursuz iş parçalarının oranlarına, geniş kalite kontrol analizlerine dayanılarak yaklaşılır.

9) Her iş istasyonu ve her taşıma istasyonunda tıkanma bulunmasının kabul edilme olasılıkları 0'a yeterince yakındır.

10) Tıkanmış (Bekleyen) iş parçaları yoktur.

5.7.3. Gösterimler

L = İş istasyonu, kontrol istasyonu veya taşıyıcı istasyonların sayısı

$j(1, \dots, L)$ = İş ist., kontrol ist., taşıyıcı ist. indexi.

$\lambda^a, \lambda_j^d, \lambda_j^b, \lambda_j^e$ = Yükleme oranı, iş istasyonu j 'den doldurma oranı, kontrol istasyonu j 'den doldurma oranı, taşıma istasyonu j 'den doldurma oranı.

$\mu_j [\hat{\mu}_j]$ = İş [Taşıma] istasyonu j 'nin gerçek işlem oranı

$\rho_j [\hat{\rho}_j]$ = İş [Taşıma] " " kullanım oranı

$N_j^{-1} [M_j^{-1}]$ = İş [Taşıma] istasyonu j 'nin yerel güvenlik sığası

$n_j, p(n_j \leq \cdot)$ ve $\bar{N}_j$ = İş istasyonu j 'de [Taşıma istasyonu j 'de] bekleyen iş parçalarının sayısını gösteren rastsal değişken, onun dağılımı ve ortalaması

$w_j, p(w_j \leq \cdot)$ ve W_j = İş [Taşıma] istasyonu j 'nin yerel güvenli-
 $[v_j, p(v_j \leq \cdot)]$ ve V_j ğindeki iş parçalarının bekleme süresini gösteren rastsal sayı, onun dağılımı ve ortalaması

$\alpha_j [\beta_j]$ = İş [Taşıma] istasyonu j 'nin tıkanmış olarak bulunmasının kabul edilebilir olasılığı.

$1 - P_j$ = İş istasyonu j 'ye geri dönen kusurlu iş parçalarının onarılabilir oranı.

q_j = Kontrol istasyonu j 'yi terkeden ve taşıma istasyonu j 'nin yerel deposuna ulaşan iş parçalarının kusursuz oranı.

P_j' = Kontrol istasyonu j 'yi sürekli terkeden kusurlu iş parçalarının onarılamaz olanlarının oranı.

q_j' = Kontrol istasyonu j 'deki iş parçalarının toplam (onarılabilir + onarılamaz) kusurlu oranı

λ^* = Sistemden enbüyük doldurma oranı.

5.7.4. Enuygunlaştırma Modeli

Her kontrol istasyonunda, iş parçaları:

- a) Onarılabilir kusurludur ve iş istasyonuna geri dönerek yine işlenir.
- b) Onarılamaz kusurludur ve iskartaya çıkarılır.
- c) Kusursuzdur ve otomatize güdümlü araca yüklenir.

Şimdi denklemlere geçebiliriz:

$$\lambda_1^a = \lambda^a \quad (5.23)$$

$$\lambda_j^b = \lambda_j^d \cdot q_j \quad j = 1, \dots, L \quad (5.24)$$

$$* \quad q_j = 1 - q_j' p_j' \quad (5.25)$$

$$\lambda_{j+1}^a = \lambda_j^e \quad j = 1, \dots, L-1 \quad (5.26)$$

$$Enb \{ \hat{\lambda}_L^e \} \quad (5.27)$$

$$P(n_j \geq N_j) \leq \alpha_j \quad j = 1, \dots, L \quad (5.28)$$

$$P(m_j \geq M_j) \leq \beta_j \quad j = 1, \dots, L \quad (5.29)$$

$$0 \leq \lambda^a \quad (5.30)$$

$$Enb \{ \lambda^a \} \quad (5.31)$$

$$\left(\frac{\lambda^a}{\mu_1 p_1} \right)^{N_1} \leq \alpha_1 \quad (5.32)$$

$$\left(\frac{\prod_{k=1}^{j-1} q_k \lambda^a}{\mu_j p_j} \right)^{N_j} \leq \alpha_j \quad j = 2, \dots, L \quad (5.33)$$

$$\left(\frac{\prod_{k=1}^j q_k \lambda^a}{\hat{\mu}_j} \right)^{M_j} \leq \beta_j \quad j = 1, \dots, L \quad (5.34)$$

$$0 \leq \lambda^a$$

$$* \quad 1 - p_j = q_j'(1 - p_j')$$

$$\text{Enb } \{\lambda^a\}$$

$$\lambda^a \leq \mu_1 p_1 (\alpha_1)^{1/N_1} \quad (5.35)$$

$$\lambda^a \leq \frac{\mu_j p_j (\alpha_j)^{1/N_j}}{j-1 \prod_{k=1}^j q_k} \quad j=2, \dots, L \quad (5.36)$$

$$\lambda^a \leq \frac{\hat{\mu}_j (\beta_j)^{1/M_j}}{j \prod_{k=1}^j q_k} \quad j=2, \dots, L \quad (5.37)$$

$$0 \leq \lambda^a$$

Eğer $0 < (\alpha_j, \beta_j, p_j \text{ ve } q_j) < 1$, $j=1, \dots, L$ ise

$$\lambda^* = \text{Enk} \left[\mu_1 p_1 (\alpha_1)^{1/N_1}, \frac{\mu_j p_j (\alpha_j)^{1/N_j}}{j-1 \prod_{k=1}^j q_k}, \frac{\hat{\mu}_j (\beta_j)^{1/M_j}}{j \prod_{k=1}^j q_k} \right] \quad (5.38)$$

olacaktır. Çünkü (5.35), (5.36) ve (5.37) no.lu eşitsizlikler gözönüne alınarak bulunan enküçük λ^a değeri λ^* olacaktır.

$$\rho_j = \begin{cases} \lambda^a / \mu_1 \cdot p_1 & j=1 \\ \frac{j-1 \prod_{k=1}^j q_k \lambda^a}{\mu_j p_j} & j=2, \dots, L \end{cases} \quad (5.39)$$

$$\bar{N}_j = \frac{\rho_j^2}{1 - \rho_j} \quad j=1, \dots, L \quad (5.40)$$

$$\bar{W}_j = \frac{\rho_j}{\mu_j \cdot p_j \cdot \rho_j} = \frac{1}{\mu_j p_j} \quad j=1, \dots, L \quad (5.41)$$

5.8. ÇEVİRİM SÜRESİ VE İŞ İSTASYONLARININ DENGELENMESİ

5.8.1. Genel Bilgiler

Richard F. Deckro, makalesinde [Deckro (1989)], bir montaj hattı dengeleme probleminde, iş istasyonlarının sayısı ve çevrim süresinin enküçülenmesini eşzamanlı olarak düşünen bir model geliştirilmiştir. Model, 0-1 tamsayılı programlama formülasyonu ile geliştirilmiştir.

Burada sunulan model, Thangavelu ve Shetty'nin çalışmasından [Thangavelu, Shetty (1971)] yararlanarak geliştirilmiş, Patterson ve Albract tarafından verilen [Patterson, Albract (1975)] değişik tanımlar ile genişletilmiştir. Belirlenmiş bir (C_{lb}, C_{ub}) aralığında değişen bir çevrim süresini uygun duruma getirmek için, Patterson-Albract tanımlaması biraz düzeltilmiştir.

5.8.2. Gösterimler

- N : Görev sayısı
 M : Olası enbüyük iş istasyonu sayısı
 P_i : i görevinden önce gelmesi gereken tüm görevlerin altkümesi
 S_i : i görevini izlemesi gereken tüm görevlerin altkümesi
 W_j : Görev öncelik kısıtlamalarının etkisiyle, istasyon- j 'ye özgülenebilecek tüm görevlerin altkümesi
 T_i : i etkinliğinin görev süresi
 E_i : i görevinin, verilmiş sıralama gereksinimlerine özgülenebileceği en erken iş istasyonu
 L_i : i görevinin, verilmiş sıralama gereksinimlerine özgülenebileceği en geç iş istasyonu
 C_{lb} : Çevrim süresi için izin verilebilir alt sınır
 C_{ub} : " " " " " Üst sınır
 μ : C_{ub} 'de, iş istasyonlarının kuramsal enaz sayısı
 C : Çevrim süresi

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & ; \quad i \text{ görevi } j \text{ istasyonuna } \text{özgülenirse} \\ 0 & ; \quad \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$X_j = \begin{cases} 1 & ; \quad \text{iş istasyonu } j \text{'den yararlanılırsa} \\ 0 & ; \quad \text{diğer durumda} \end{cases}$$

5.8.3. Sınırlama Denklemleri

5.8.3.1. Başlangıç Kabulleri

$$C_{lb} \leq C \leq C_{ub}$$

$$E_i = \begin{cases} 1, & (T_i + \sum_{j \in P_i} T_j) = 0 \text{ ise } i = 1, \dots, N \\ [(T_i + \sum_{j \in P_i} T_j) / C_{ub}]^+, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$
$$L_i = \begin{cases} M, & \text{eğer } (T_i + \sum_{j \in S_i} T_j) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \\ M+1 - [(T_i + \sum_{j \in S_i} T_j) / C_{ub}]^+, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

5.8.3.2. Özgüleme Sınırlamaları

Her görev, ençok 1 iş istasyonuna atanabilir. Görev bölünmesine izin verilmez.

$$\sum_{j \in E_i}^{L_i} X_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N$$

5.8.3.3. Öncelik Sınırlamaları

$$X_{qk} \leq \sum_{i=1}^k X_{pi}$$

$$q \in W_k$$

$$P \in P_q$$

P, q'yu önceler

$$X_{qk} - \sum_{i=1}^k X_{pi} \leq 0$$

P, q'dan önceki bir iştir. Dolayısıyla p, ilk k istasyondan birine özgülenebilir (q, k'ya özgülenebileceğinden). Dolayısıyla $X_{qk} = 0$ veya 1

$$\sum_{i=1}^k X_{pi} = 1$$

olur.

5.8.3.4. Bölgeleme Sınırlamaları

1) Uyumsuz Bölgeleme Sınırlamaları

Aynı iş istasyonuna özgülenemeyen görevlerle ilgilidir.

$$\sum_{i=E_a}^{L_a} i(X_{ai}) - \sum_{j=E_b}^{L_b} j(X_{bj}) \geq 1 \quad (a, b'yi \text{ izliyor})$$

2) Uyumlu Bölgeleme Sınırlamaları

Aynı iş istasyonuna özgülenmesi istenen görevlerle ilgilidir.

Eğer a ve b görevleri birlikte gruplanmalıysa

$$\sum_{i=E_a}^{L_a} i(X_{ai}) - \sum_{j=E_b}^{L_b} j(X_{bj}) = 0$$

a görevi, b görevini doğrudan izlemeliyse

$$\sum_{i=E_a}^{L_a} i(X_{ai}) - \sum_{j=E_b}^{L_b} j(X_{bj}) \leq 1$$

5.8.3.5. Sıralama Sınırlaması

$$\sum_{j=1}^{\mu+k} X_j - (\mu+k) X_{\mu+k} \geq 0, \quad k = 0, 1, 2, \dots, M-\mu$$

5.8.3.6. İş istasyonu Sınırlaması

W_j ; iş istasyonu j 'ye özgülenebilen tüm görevlerin kümesidir. Verilmiş öncelik ilişkileri için $\|W_j\|$, W_j 'nin önemliliği olsun.

$$\sum_{i \in W_j} X_{ij} \leq \|W_j\| \cdot X_j \quad j = 1, 2, \dots, M$$

$$\sum_{i \in W_j} X_{ij} - \|W_j\| \cdot X_j \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, M$$

5.8.3.7. Çevrim Süresi Sınırlaması

$$\sum_{i \in W_j} T_i(X_{ij}) - C \leq 0$$

5.8.4. Nesnel İşlev (Objektif Fonksiyon)

$$\text{Enk } Z = \sum_{j=1}^M f_j X_j + cC$$

f_j : İş istasyonu- j ile ilgili bir sabit ağırlık

c : Çevrim süresi ile " " " "

f_j ve c ; iş istasyonları ve çevrim süresinin dengesinde, karar vericinin önceliklerini ifâde etmek için seçilebilir.

f_j ; iş istasyonu- j 'nin 1 artırılması ile ilgili bir sabit mâliyet olabilir.

c ; tüm montaj hattı için zaman ünitesi başına değişken mâliyet olabilir.

Bu işlevi biraz daha geliştirelim:

$$\text{Enk } Z = \sum_{j=1}^M f_j X_j + cC + \sum_{i=1}^N \sum_{j=E_i}^{L_i} t_{ij} X_{ij}$$

t_{ij} : j istasyonununa, i görevinin özgülenmesinin standart mâlîyeti

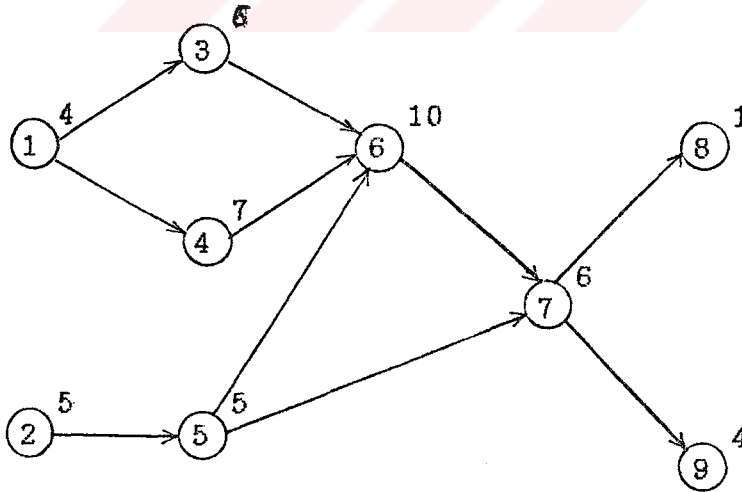
c : Montaj hattı için zaman ünitesi başına dolaysız mâlîyet

f_j : j iş istasyonu ile ilgili sabit mâlîyet

ÖRNEK 5.5.

Şekil 5.22. ve Tablo 5.6., problemin koşullarını özetler.

$C_{lb} = 15$ ve $C_{ub} = 20$ olup M ; 5'lik bir kümedir. M için enbüyük değer N olabilir. Bununla birlikte M 'yi olabildiğince küçük tutmak, hesaplama kolaylık sağlayacaktır. C_{lb} 'de, iş istasyonlarının kuramsal en-küçük sayısı 4'tür. Bu değer C_{ub} için 3'tür. Uzlaşık değer 5 alınmıştır. Çözüm, Tablo 5.7'de görüldüğü gibi bulunmuştur.



Şekil 5.22. Öncelik ilişkileri ve Görev Süreleri

Tablo 5.6. Örnek 5.5. için Problemin Özellikleri

Görev i	Görev Süresi	Doğrudan Önceleyenler	E i	L i
1	4	-	1	4
2	5	-	1	4
3	6	1	1	4
4	7	1	1	4
5	5	2	1	4
6	10	3-4-5	2	4
7	6	5-6	2	5
8	1	7	2	5
9	4	7	2	5

Tablo 5.7. Örnek 5.5.'in İki Farklı Durum için Çözümü

	$f_1 = f_2 = f_3 = 15$ 1 2 3			$f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = 1$ 1 2 3 4			
	$f_4 = f_5 = 20$ c=3 4 5			c=3			
İstasyon	1	2	3	1	2	3	4
Özgünlendirilmiş Görevler	1-3-4	2-5-6	7-8-9	1-2-3	4	5-6	7-8-9
İstasyon Süresi	17	20	11	15	7	15	11
Boş Süre	3	0	9	0	8	0	4
İş İstasyonu Sayısı	3			4			
Çevrim Süresi	20			15			
Hedef Değer	105			49			

5.9. MONTAJ SİSTEMLERİNİN SEÇİMİ İÇİN BİR YÖNTEMBİLİM

5.9.1. Giriş

Montaj sistemi tasarımı oldukça karmaşıktır. Seçenek sistem görünüşleri genişleyince, her seçeneğin ayrıntılı tasarımı pahalı olmakta ve uzun sürmektedir. A. Shtub ve E.M.Dar-El'in makalesinde, öznel [mâliyet/yarar] ölçütüne göre olası seçeneklerin düzenlenmesiyle, karar vericiye yardımcı olan bir yöntembilim geliştirilmiştir [Shtub, Dar-El (1989)].

Bir ürünün yaşam devresi içindeki temel karar; üretim sisteminin tipi ve yapısıdır.

Üretim/Operasyon yönetimi literatürü; istem oranı temeline bağlı olarak üç sınıfa ayrılan üretim sistemlerine göre bazı genel tüzükler oluşmasını sağlar. Buna bağlı olarak çok küçük bir istem (Örneğin tek bir ünite veya bir ürünün en çok birkaç ünitesi), işleme üretimi yaklaşımını çağırıştırır. Aralıklarla oluşan yığın tipi üretim sistemleri, ivedi istem oranı için önerilir. Ve kütle üretimi veya sürekli süreçler, yüksek istemler için kullanılabilir.

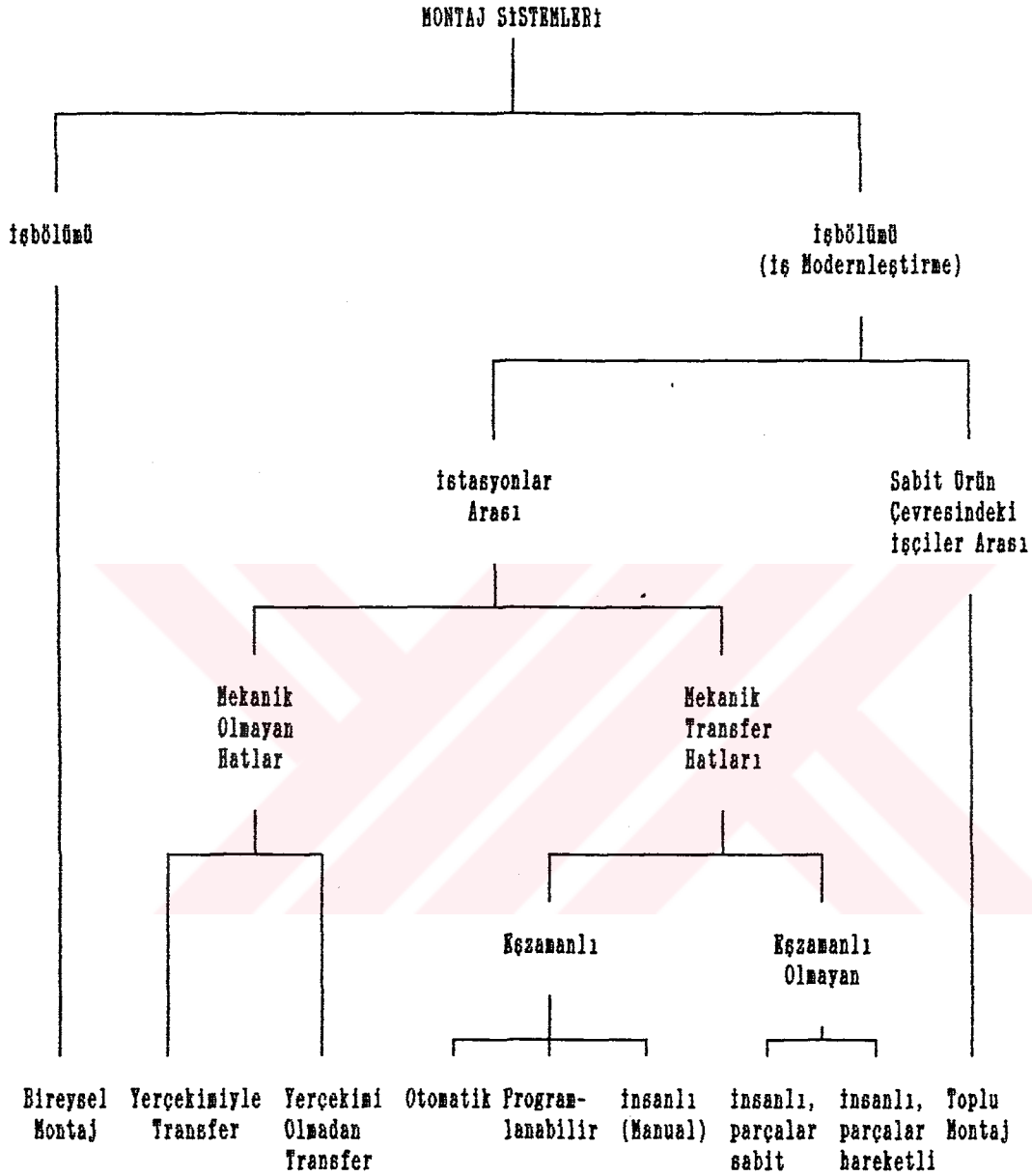
Üretim sisteminin seçimi ölçütü, istemden başka birçok etmeni içerir.

Burada iki genel amaç gözönüne alınmıştır:

- 1) Analitik sıradüzen süreci,
- 2) Yaşam çemberi mâliyeti teknikleri.

Şekil 5.23'de montaj sistemlerinin bir sınıflandırması sunulmaktadır.

Montaj sistemlerinin sınıflandırılmasında ilk olarak, çalışanların işbölümü düşünülür. İkinci etmen, malzemelerin işlenme tarzı veya taşıma sistemleriyle ilgilidir. Üçüncü etmen ise, işletme sistemi içindeki işlemci tipleridir (Otomatik, robot, insan).



Şekil 5.23. Montaj Sistemlerinin Bir Sınıflandırması

Bu yöntem bilim, üretilen her montelenmiş ürün için gerekli, uygun montaj sürecinin tasarımı ve seçimi varsayımına dayanır. Yöntembilim, izleyen üç kararı vermeye yardımcı olmak için tasarlanmıştır :

- 1) Malzeme yönetim sistemi tipi,
- 2) İşlemci tipi ve işleme sistemleri,
- 3) İşlem modu.

Malzeme yönetim sistemi;

- a) Mekaniktir veya değildir,
- b) Eşzamanlıdır veya değildir,
- c) Hareketli veya hareketsiz parçalar vardır.

İşlemciler;

- a) İnsan,
- b) Robot,
- c) Otomatik makinalar

olabilir.

İşlem modu; bireysel montaj, toplu montaj veya bireysel iş istasyonları olarak, birçok farklı görünüşle ilişkilidir: Tek, karışık veya çoklu model hatları ve son olarak düzenli veya düzensiz hatlar.

Malzeme yönetimi sistemleri, işlem sistemleri ve işlem modlarının her karışımı yoktur ama uygun karışımların sayısı; tüm analizler için gerekli seçenek tasarım sayısını olası enaza indirmede bir yöntembilim gelişimine motive etmek için yeterince büyüktür.

Shtub ve Dar-El'in makalesindeki yaklaşım, aday montaj sistemlerinin kârları ve yaşam çemberi mâliyetlerinin nesnel değerlendirilmesi temeline dayanır. Montaj sisteminin temel altsistemlerinin performans göstergeleri yâni taşıma, işleme, tasarlama ve kontrol; montaj sisteminin görece performansını kestirmek için kullanılır.

Yaşam çemberi mâliyeti için dört temel katkı şunlardır:

- 1) Montaj sisteminin araştırma ve geliştirme işlemi ve ürün montajı için tasarım,
- 2) Üretim ve edinim,

- 3) Sistemin işletimi ve desteklenmesi,
- 4) İşten çekilme ve bırakma.

Bunlar, her aday sistemin görece mâliyetini kestirmek için kullanılır.

5.9.2. Montaj Sistemi İlkeleri

Çoğu montaj sistemlerinin çatısını oluşturan dört temel ilke vardır:

- 1) İşbölümü ve uzmanlaşma,
- 2) İş akışı,
- 3) Parçalar arası değiştirilebilirlik,
- 4) Enküçük uzaklık hareketi.

İşbölümü, yığın tipi üretim sistemlerinde yıllardır kullanılan, belki eneski ilkedir. Özellikle, aynı sınırlanmış görevin yinelemeli olarak yapılmasında çok etkili olan, eğitimsiz işçiler arası işbölümü oldukça avantajlıdır. Bunun yanında; can sıkıntısı ve anlamlı işten çıkarmalardan dolayı azalmış bir güdüleme, yüksek iş başında olmama eğilimi ve çevrim oranlarına yol açar. Bunlar da işbölümünün dezavantajlarıdır.

İş akışı ilkesi; rafineriler gibi süreç endüstrilerinde uç noktasına taşınır ama benzer koşullar, bazı "kesikli ürün" üretim fabrikalarında da gerçekleşir. Ürün, önceden saptanmış bir rota boyunca hareket eder ve o rota boyunca iş istasyonlarına yerleştirilmiş işlemciler (İnsan veya mekanik), ürün üzerinde gereken işlemleri yaparlar. Ürünün hat boyunca hareket etmesiyle iş daha mükemmel olma-ya başlar.

Değiştirilebilirlik ilkesi, ya montaj ya da işlev için gereken, çok parça içeren ürünlerin montajı için gereklidir. Parçalar arası değiştirilebilirlik, montaj işlemleri, her ürün montajında tamamen aynı davranış ile yapılabilirdiğinden, hat üzerinde mekanik işlemcilerin kullanımına olanak sağlar.

Enküçük uzaklık hareketi; bina tasarımcıları tarafından geniş anlamda kullanılır. Doğru kullanımıyla bu ilke; daha düşük bina mâliyetlerini ve daha etkin malzeme yönetim sistemlerini sağlar.

Bu ilkelerden yararlanarak montaj sistemlerini, iki doğal alt sisteme ayırabiliriz:

- 1) Malzeme yönetimi alt sistemi,
- 2) İşleme alt sistemi.

Bu alt sistemler, tasarlama ve kontrol alt sistemi ile eşgüdümленir (Koordine edilir).

Malzeme yönetimi alt sistemi, iş akışı ve enküçük uzaklık hareketi ilkelerine bağlı olarak; işleme alt sistemi ise, işbölümü ve parçalar arası değiştirilebilirlik ilkelerine bağlı olarak tasarımlanır. Bundan sonra tasarım hedefi; sistem gereksinimlerini, enküçük mâliyetle sağlamaktır.

5.9.3. Birinci Devre :Hiyerarşik Yapı Geliştirme

Verilmiş bir ürün için enuygun montaj sisteminin seçilmesi, çok hedefli, çok nitelikli bir karar verme problemidir. Bu tür problemlerin çözümü için iki yaklaşım vardır:

- 1) Ayrışma,
- 2) Evrensel.

Ayrışma Yaklaşımı: Bir değerlendirme üretmek için, özgül kanı-ları ve bilgiyi, sistematik olarak birleştiren bir yöntemdir. Bir karar probleminin öğeleri, enküçük uygun alt öğelere ulaşıncaya kadar, birçok düzeyde ayrıştırılır. Her alt öğeye bir ağırlık atanır ve endüşük düzeyden itibaren planların ağırlıklı toplamının alınmasıyla, her seçenek için bir toplam puan çıkartılabilir.

Evrensel Yaklaşım: Bir tüm sistemin sınıflandırmaları olan evrensel kanılardan oluşur. Bu yaklaşım için yaygın bir ölçek, parasal

ölçektir. Vâni bir sistemden istenen kâr veya etkililik için endüşük mâliyetli olanı, eniyi aday olacaktır.

Makalede, iğerilen nitel etmenler için yaygın bir ölçek tanımlamanın zorluğundan dolayı, ayrışma yöntemi kullanılmıştır.

Ayrışma yaklaşımından, çeşitli öğeler için ağırlıkları ve puanları saptamada Saaty'nin [Saaty (1980)] analitik hiyerarşi süreci kullanılmıştır. Bunun avantajı, analiz için gereken bir sıra veri miktarının enküçük olması ve girdilerin sistem tasarımcısının deneyimi ve kanısına dayanmasıdır.

Şekil 5.24'deki gibi bir hiyerarşinin iğeriklerini puanlandırma ile ilk devre bitirilir.

5.9.4. İkinci Devre: Mâliyet Analizi Yapısı Geliştirme

Bu devrede, birinci devrede anılan montaj sistemleri için yaşam çemberi mâliyetleri kestirilir.

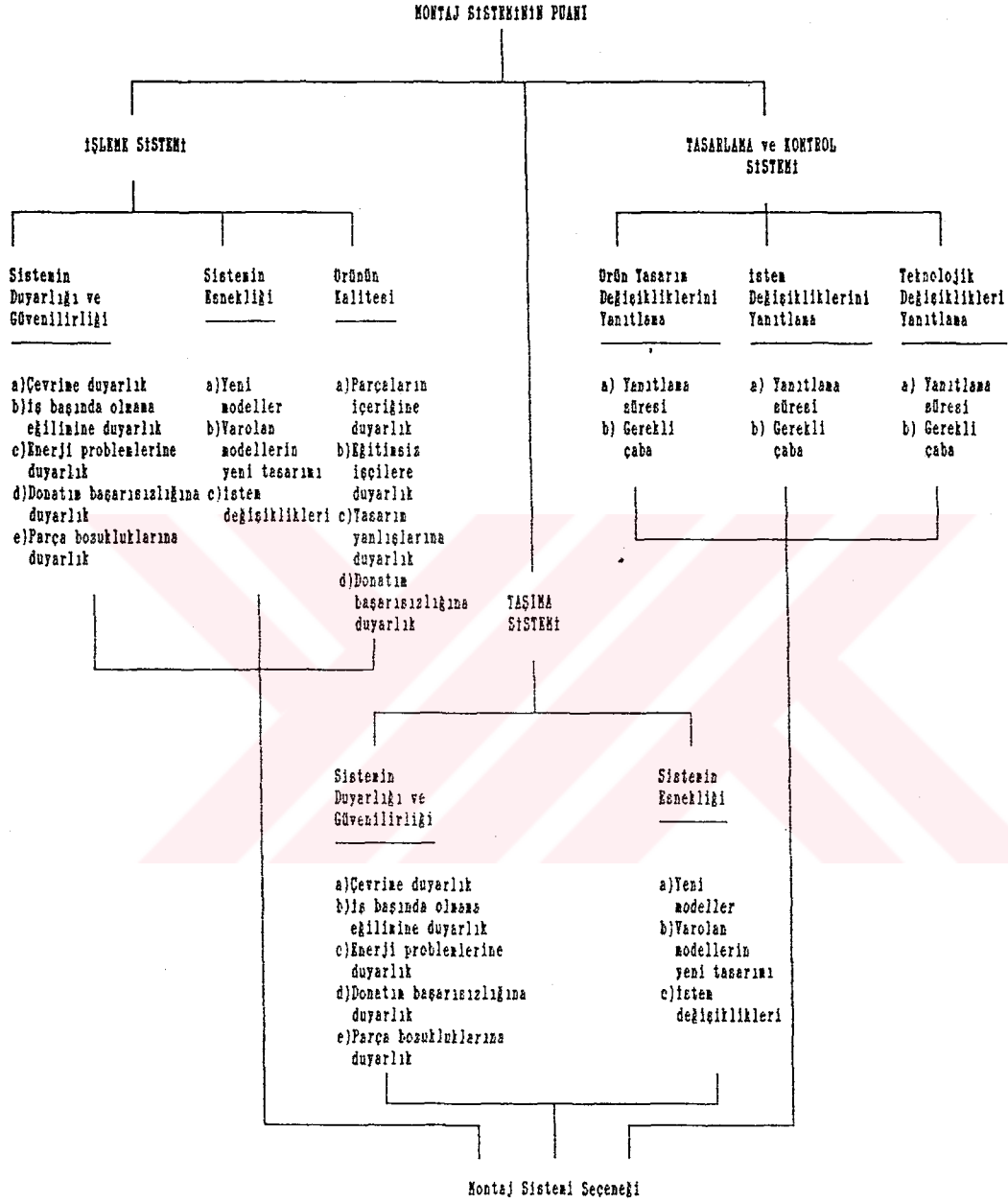
Bir sistemin yaşam çemberi mâliyeti; gelişim, edinim, etkinlik, destekleme, uygulanabildiği yer ve işten çekilme mâliyetlerini iğerir. Bir tipik yaşam çemberi mâliyeti analizi, izleyen adımları iğerir:

1) Sahiplik mâliyetlerini üreten etkinlikler ve sistem yaşam çemberinin tanımlanması.

2) Bilgisayar aksamı mâmiletine karşı etkinlikleri bir bütün olarak düşünen yanıtlama mâliyetinin gelişimi.

3) Yaşam çemberi mâliyet yapısı içindeki her öğe için, mâliyet kestirimi ilişkisinin gelişimi.

4) Yaşam çemberi mâliyetinin kestirimi.



Şekil 5.24. Montaj Sisteminin Alt Sistemleri ve Bileşenlerini Değerlendirme Şeması

Yaşam çemberi mâliyeti analizi, mâliyet analizi yapısı temeline dayanır. Toplam sistem mâliyeti şu şekilde bulunur:

$$C = C_R + C_P + C_O + C_D$$

C : Sistemin yaşam çemberi mâliyeti

C_R : Montaj sisteminin araştırma ve geliştirme mâliyeti

C_P : Alt sistemlerin edinimi ve üretimi, binaların yapımı ve alt sistemlerin, bir işleme montaj sistemine tümlenmesi mâliyeti.

C_O : Montaj sisteminin yararlı yaşamı boyunca, işleme ve destekleme mâliyeti.

C_D : İşten çekilme ve bırakma mâliyeti.

Bu dört yardımcı mâliyet, analitik sıradüzen sürecinin kullanımıyla kestirilir. Yaşam çemberi mâliyeti kestirimi için kullanılan hiyerarşi, Şekil 5.25'de gösterilmiştir.

Bu yöntem bilim, sistemlerin mâliyet ve kârlarının kestirimiyle, aday sistemlerin sayısının azaltılmasını amaçlamaktadır.

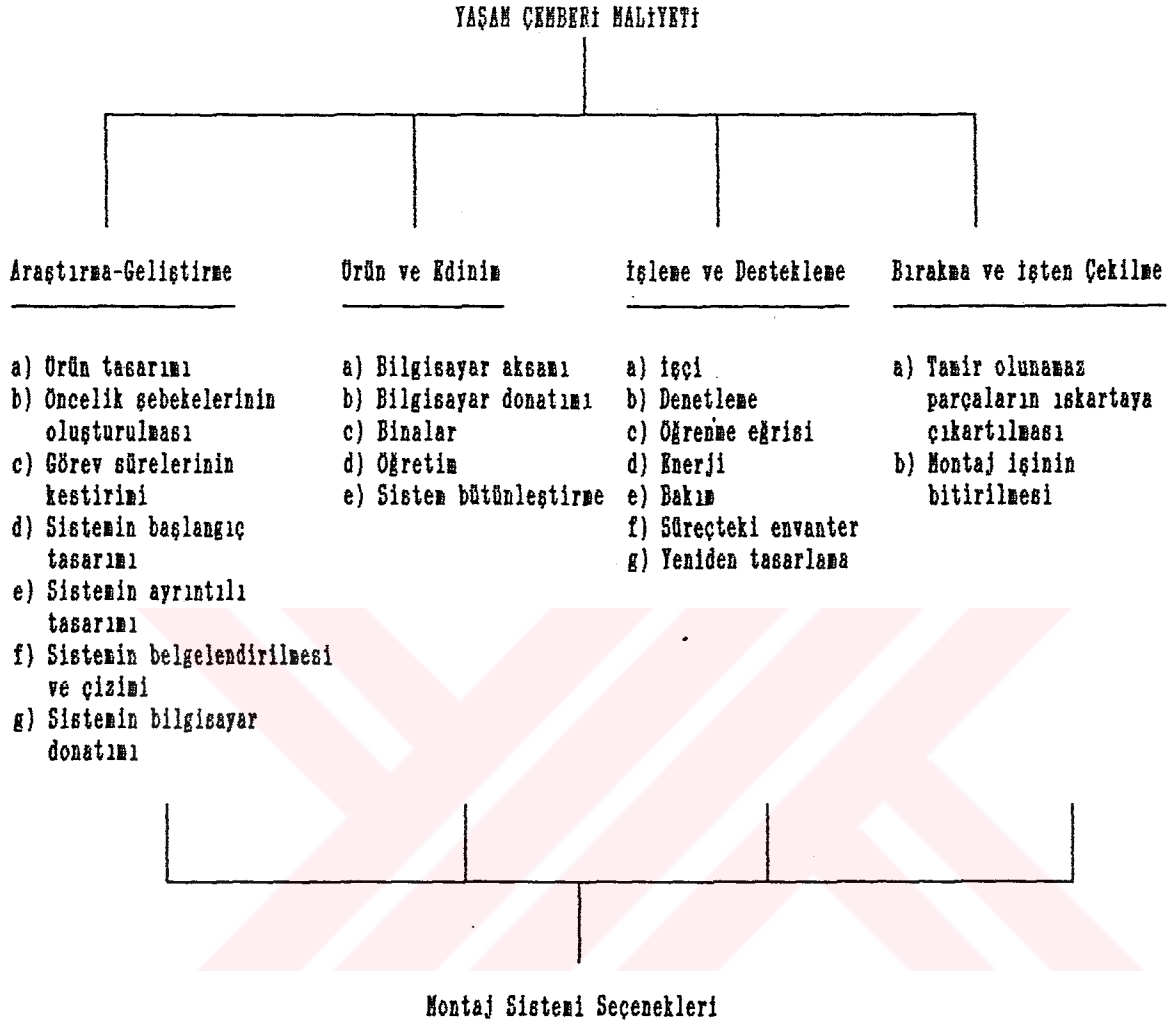
1. adımda aday sistemler, görece kârlarının kestirimi için bir ayrıştırma yaklaşımının kullanımıyla analiz edilir.

2. adımda; mâliyet analizi yapıları ve görece mâliyet bileşenlerinin nesnel değerlendirmesi temeline dayanan her sistem üzerinde, bir yaşam çemberi mâliyeti analizi yapılır. İkinci adımın sonucu; ilk adımda elde edilen puan ile birleştirildiğinde bir mâliyet/etkinlik ölçüsü veren, öznel bir yaşam çemberi mâliyeti kestirimidir.

5.10. BASİT MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ İÇİN ETKİLİ BİR SEZGİSEL YÖNTEM

5.10.1. Giriş

Bir montaj sisteminde, ürün veya ürünlerin montajı için farklı enküçük mantıksal iş öğelerinin bir kümesi yapılır. Bu sistem; bir



Şekil 5.25. Montaj Sisteminin Yaşam Çemberi Maliyetinin Maliyet Analizi Yapısı Şeması

taşıma mekanizması ve ürünlerin bir istasyondan diğerine akışlarının montajı şeklinin ayrıntılı tanımlaması ile birbirine bağlanmış iş istasyonları kümesinden oluşur. Bir en küçük mantıksal iş ögesi, en küçük bölünemez iş ögesidir. İş istasyonu, görevlerin yapıldığı yerdir.

Bir görev; iki veya daha fazla istasyon arasında bölünemeyen ve bağımsız olarak edimlenebilen diğer etkinliklerden ayrılır ve buna göre en küçüktür ve bölünemez. Bir görevin tamamlanması için gerekli süre, "görev edim süresi" olarak adlandırılır. Bir istasyon, insan veya robot işçiler ve/veya makina, donatım ve makina cinsi aygıtlardan oluşur.

Taşıma mekanizması, genellikle bir "taşıyıcı bant" (Montaj hattı) olarak anılır. Taşıyıcı bant, çevrim süresi olarak bilinen her T zaman Ünitesi arasında hareket eder. Üretim oranı, bu nedenle, zaman Ünitesi başına $1/T$ Ünitedir. Bir istasyona atanan tüm görevleri edimlemek için gerekli toplam süre T'yi aşamaz. Bir montaj sisteminin tasarımıındaki anahtar sorunlardan biri, tek tek her istasyonda edimlenecek görevlerin ayrıntılı tanımlanmasıdır. Bu, nitel (Keyfî) olarak yapılamaz. Çünkü, çevrim süresi kısıtlamasına ek olarak, "öncelik ilişkileri" olarak bilinen teknolojik sıralama gereksinimleri vardır. Öncelik ilişkileri, geleneksel olarak, öncelik şebekesi/diyagramı ile şematik şekilde simgelenir. Bu tip bir şebekenin her düğümü, ayrı bir göreve karşılık gelir. Eğer i görevi, j görevinin bir önceli ise, i görevi bitmeden j görevi başlayamaz.

Kaynakları tümüyle yararlı duruma getirmek için belirli bir istasyona özgülenen görevlerin koleksiyonu seçilmelidir. Öyle ki o istasyondaki boş süre enküçük olsun. Hat boyunca tüm istasyonların boş sürelerinin toplamı olası olduğu kadar küçük ise, bu montaj hattı dengelenmelidir. Bir sabit çevrim süresi için buna, istasyon sayısını enküçüklemeyle ulaşılabilir. Eğer görevler gruplanabilirse (İstasyon süreleri tam olarak eşit ise), hattın mükemmel dengeye sahip olduğu ve üretimin pürüzsüzce akmasının umulabileceği söylenebilir. Çoğu uygulamada, mükemmel dengeyi başarmak çok zordur. İstasyon süreleri eşit olmadığında, enyavaş istasyon yâni "darboğaz istasyonu", hattın baştanbaşa etkili üretim oranını belirler.

5.10.2. Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi

5.10.2.1. Problem Tanımlama

Montaj hattı dengelemenin enbasit şeklinde, yalnızca iki tip sabit düşünülür: Çevrim süresi sabiti ve öncelik sınırlamaları. Burada işlem sürelerinin kesinlikle -deterministik olarak - bilindiği varsayılır ve aynı şekilde tüm istasyonların da donatılmış ve işçilerin yerleşmiş bulunduğu düşünülür. Ayrıca toplam hat serîdir, hiç bir besleyicisi ve paralel altmontaj hattı yoktur.

Görevler, edim süreleri ve sabit çevrim süresi verildiğinde, basit montaj hattı dengeleme problemi, montaj hattı boyunca, istasyonlara bir görev özgülenmesidir. Burada söylemek istenen; oluşma gereksinimleri (Her görev, bir istasyona özgülenmelidir) ve bölünmezlik gereksinimleridir (Hiçbir görev, iki veya daha çok istasyon arasında bölünmez). Ayrıca hat boyunca istasyon sayısı enküçüklendiği zaman, toplam boş süre de enküçüklendir. Çünkü tüm görevleri edimlemek için toplam iş süresi ve çevrim süresinin her ikisi de sabittir. Bu nedenle toplam boş süre, kullanılan istasyonların sayısının basit bir doğrusal işlevidir.

Basit montaj hattı dengeleme problemi, tek modelli deterministik hat dengeleme problemi olarak bilinir. "Tek modelli" bir anlamda, bir tek ürünün yalnız bir modelinin/yapımının montajı/üretimi için tasarlanan bir sistemdir. "Deterministik". sözü ise bir anlamda, kesinlikle belirli görev sürelerini göstermektedir. Çevrim süresi verilmiştir ve değişmez bir sabittir. Bu, "tip-1 montaj hattı dengeleme problemi" olarak bilinir. Çevrim süresini enuygunlaştırmak için gereken istasyon sayısını saptama problemi ise, "tip-2 montaj hattı dengeleme problemi" olarak anılır.

Açıkça tanımlanan basit durum, bir montaj sisteminin tüm zorluklarını göstermez. Literatürde, birçok sayıda basit montaj hattı dengeleme problemi çeşitleri tanımlanmıştır. Bunlar, "genel montaj hattı dengeleme problemi" olarak anılır (İster deterministik, ister stokastik olsun).

5.10.2.2. Karışık Tamsayılı Programlama Olarak Basit Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Formülasyonu

Basit montaj hattı dengeleme problemi, ilk olarak, E.H.Bowman tarafından bir matematiksel program olarak formüle edilmiştir [Bowman (1960)]. Bowman'ın modeli de, W.W.White'nin [White (1961)] biraz değiştirilmiş olarak sunulmuştur:

I : Görev kümesi ($I = \{1, 2, \dots, i, \dots, m\}$)

t_i : i görevinin işlem süresi ($i \in I = \{1, 2, \dots, m\}$)

$P(i)$: i görevinin yakın öncelleri

T : Çevrim süresi

Karar değişkeni X_{ij} alsun ve şu şekilde tanımlansın :

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ görevi } j \text{ istasyonuna özgülenirse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$j = 1, 2, \dots, n \quad (n \leq m)$$

İzleyen 0-1 programlama, basit montaj hattı dengelemeyi simgelemektedir.

Amaç denklemi:

$$\text{Enk } Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_j X_{ij} \quad (5.42)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \quad (5.43)$$

$$\sum_{i=1}^m t_i X_{ij} \leq T, \quad \forall j \in J \quad (5.44)$$

$$X_{ik} \leq \sum_{j=1}^k X_{hj}, \quad \forall i \in I, \forall k \in J \text{ ve } \forall h \in P(i) \quad (5.45)$$

$$X_{ij} = 0 \text{ veya } 1, \quad \forall i \in I \text{ ve } \forall j \in J \quad (5.46)$$

$$C_{j+1} \geq M \cdot C_j, \quad \forall j \in J - \{n\} \quad (5.47)$$

Burada C_j , (5.47) koşulu altında, j . istasyonu kullanma mâliyeti, M ise yeterli derecede büyük pozitif tamsayıdır.

Hedef işlev (5.42), istasyon kullanma mâliyetidir ve bu nedenle enküçüklenmelidir. İlişki (5.47), ek istasyon kullanmanın gerektiği

durumlarda yeni istasyon kullanmanın getirdiği mâliyetlerdir. Oluşma sınırlaması olarak bilinen (5.43), her görevin bir istasyona özgülenmesini garanti eder ve çevrim süresi sınırlaması (5.44), istasyonlara özgülenen tüm görevler için toplam işlem süresinin ençok, önceden belirlenen çevrim süresi olmasını garanti eder (5.45), öncelik ilişkilerini simgeler. Eğer $X_{ik}=1$ ise i, k istasyonuna özgülenmiş demektir. i görevinin her h yakın önceli, j istasyonuna özgülenmelidir ($j \leq k$), yâni h görevi, i görevi başlamadan bitirilebilir. Diğer taraftan $X_{ik}=0$ olup i'nin yakın önceli h; ilk k istasyona özgülenebilir veya özgülenemez. Sınırlama (5.46) doğal olarak her değişkenin, yalnız 0 veya 1 değerlerini alabileceğini varsayabilmeyi garanti eder (Bir görev, iki veya daha çok istasyon arasında bölünemez).

Yukarıdaki formülasyonda verilen hedef işlevinin geliştirilmiş bir versiyonu, J.H.Patterson ve J.J.Albracht tarafından verilmiştir [Patterson ve Albracht (1975)]. Bir genel tamsayılı programlama problemi olarak bir seçenek formülasyon, F.B. Talbot ve J.H.Patterson tarafından sunulmuştur [Talbot ve Patterson (1984)]. Eğer n^* , gerekli enuygun istasyon sayısı ise

$$\frac{(\sum_{i=1}^m t_i)}{T} \leq n^* \leq m \quad (5.48)$$

ilişkisi sözkonusudur.

İlişki (5.48)'deki eşitlik durumları, gerekli kuramsal enküçük ve enbüyük istasyon sayısı (n_{enk} , n_{enb}) olarak anılır. Benzer kavramların kullanılmasıyla, Patterson ve Albracht, her i görevi için, enerken ve engeç istasyonları tanımlamışlardır. Bu yönetim, şebeke diyagramında izleyicisi olmayan görevlerden enaz birinin hattın son istasyonuna özgülenmesinin gerekli olduğu gerçeği ile, Patterson ve Albracht'ın yeni bir formülasyonu ile sonuçlanmıştır. Ayrıca, hedef işlevinde yalnız n_{enk} , $n_{enk-1}, \dots, n_{enb}$ düşünülmelidir. Bu nedenle enaz n_{enk} adet istasyonun gerekli olduğu bilinir.

5.10.2.3. Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi ve Diğer İlişkili Problemler

Basit montaj hattı dengeleme problemi, hem öncelik hem de kaynak kısıtları ile zorlaştırılan bir sıralama/tasarlama problemidir. Diğer sıralama/tasarlama problemleriyle yakın ilişkilidir. Örneğin, eğer önceki formülasyonda, öncelik sınırlamaları (5.47) yerine, bir erken istasyona özgülenmesi gereken her görevin yakın öncelleri olsa problem, bir tek kaynak sınırlamalı tasarlama problemi olur.

Hiç öncelik ilişkisi yoksa, problem bir bin-packing problemi olarak bilinir. Bu nedenle, bin-packing probleminde verilmiş bir görevler kümesi, her biri eşit çevrim süresine sahip, enküçük istasyon sayısına yüklenir.

Sonuçta, bazı önceden özgülenmiş ölçütlerin enuygunlaştırılması sırasında parçalara ayrılan birçok altkümeye bölünmesi gereken hedeflerin verilmiş bir koleksiyonu içinde, iyi bilinen "parçalara ayırma problemi" vardır. Eğer, önceden belirtildiği gibi, $I_j(j \in J)$, basit montaj hattı dengeleme problemi içinde, j istasyonuna özgülenen görevlerin kümesi ise; $l_1, l_2, \dots, l_n$, l 'nin bölümleridir. Bu nedenle, basit montaj hattı dengeleme problemi, bin-packing probleminin bir kısaltılmışıdır.

5.10.3. Etkili Bir Sezgisel Algoritma

İlker Baybars'ın makalesinde sunulan algoritma beş aşamaya sahiptir [Baybars (1986)]. Aşama-1'de, problemin büyüklüğü, olası olduğu zaman, belirli görevlerin eliminasyonu ile azaltılır. Aşama-2, özgüleme kararlarının karşılıklı tek olduğunu tanırlar. Aşama-3'te problem, olası olduğunda, daha küçük problemlere ayrışır. Aşama-4'te, aynı istasyona atanması olası görevlerin bir koleksiyonu tanırlar ve sonuç olarak aşama-5'te, daraltılmış şebeke/problem için çeşitli sezgilerin kullanımıyla bir çözüm aranır.

5.11. DİĞER YAKLAŞIMLAR

5.11.1. Paralel hatlarla Montaj Sistemleri Üzerinde Öğrenme ve İş Büyütmenin Etkilerini Modelleme [Chakravarty, Shtub (1988)]

Sabit işçi sayılı bir montaj sisteminde iş büyültme, paralel hatlara kılavuzluk eder. İş büyültme, görev başında olmama eğilimi ve çevrimin azaltılması ile değiş-tokuş edilmelidir. Makalede; Chakravarty ve Shtub, bir enuygun iş tasarımı göstermeye ve bu tip bir tasarım için bunu başaracak bir analitik model sunmaya çalışmışlardır. Bu iş tasarımı, sistem yanıtı süresi konusunda ortaya çıkar. Yeni bir sistem düşünüldüğünde ve belirli bir öğrenme gerçekleştiğinde bir enuygun iş tasarımının çok önemli olduğu görülür.

5.11.2. JIT Üretim Sistemlerinde Karışık Model Montaj Hatları İçin Düzey Programları [Miltenburg (1989)]

Karışık model montaj hatları, büyük envanterler taşımaksızın, birçok farklı ürünü üretmekte kullanılır. Bu hatların etkin kullanımı, farklı ürünlerin montajı için bir programın saptanmasına gereksinim gösterir. Yalnız gerekli zamanlarda, gerekli miktarlarda, gerekli miktarlarda, gerekli üretimin yapılmasını gereksinen JIT üretim sistemleri için hedef, hatta kullanılan tüm parçaların kullanımını sabit bir oranda tutmaktır. Bu, düzey veya dengeleme programı olarak adlandırılır. Bu makale, bu sistemlerin programı için kuramsal bir temel geliştirir ve yeni program algoritmaları ve sezgileri sunar.

5.11.3. Montaj Hattı Dengeleme Çözümlerini Değerlendirmek İçin Bir Benzetim Yaklaşımı [Driscoll, Abdel-Shafi (1985)]

Kitle üretimi için montaj hatlarının tasarımı ve özellikle, bir montaj hattında, istasyonlar arasındaki iş öğelerinin özgülmesi ve istasyonların dengelenmesi konusunda sık sık, dengeleme aşamasında tanımlanan problem koşullarının kestirimi temeline güvenilir. Birçok montaj hattı etkinliğinde, özellikle karışık model ve çoklu model

tipi üretimde, problem koşullarının sürekliliğinin bu kestiriminin kabulü, montaj hattı tasarımı başlangıcında yol gösterebilir. Bu tasarımın, gerçek kullanıma hazır koşullar altında etkisiz olduğu kanıtlanmıştır. Olay, bu nedenle, kestirilmiş dengeleme koşulları ve gerçek dengeleme koşulları arasında incelenen bu benzer değişirliğin başarılabılır bir yaklaşımı için ortaya çıkar. Ayrıca, montaj hattı tasarımı aşamasında yüklenilen hattın çok yönlülüğünün kontrolü, ayrı bir yarar olabilir. Bu makalede, tamamlanmış dengeleme ve bu görevin başarılmada dengelenmiş sistem yeteneğinin içinde bulunduğu bir benzetim modeli tanımlanmıştır. Benzetim programlarının kullanımı; 200 benzetimin üzerindeki test programının çizimini içeren örnekler ile gösterilmiştir. Ve özel sonuçlar, bu benzetim yaklaşımının kullanımıyla açıklanmıştır.

5.11.4. Esnek Montaj Sistemleri : Yakın Gerçek Zaman Programları ve Karışık Ürünlerin Rotalaması İçin Bir Yaklaşım [Donath, Graves (1989)]

Bu makale, daha önce yayınlanan bir makalede tanımlanan bir algoritmanın, daha büyük test koşulları ile kullanımıyla, birleştirilmiş sonuçlar ve genişletilmiş test şunları içerir:

- 1- Daha geniş ve daha karmaşık montaj için algoritma performans sonuçları,
- 2- Daha geniş iş yükleri,
- 3- İlk makaledeki algoritma içindeki ivedi etmen gruplaştırması üzerinde parametreleştirme,
- 4- İş teslim zamanlarının rastsallaştırılması,
- 5- Esnek montaj sistemlerine ayrılmış iş yükleri için iş bırakma zamanlarının dağılımı.

5.11.5. Paralel İş İstasyonları İle Montaj Hattı Dengeleme ve Ölölü Zaman [Bard (1989)]

Bard'ın makalesi, paralel iş istasyonlu montaj hattı dengeleme problemi için bir dinamik programlama (DP) algoritması sunar. Çözümler, bir denge sağlamak için gerekli enküçük istasyon sayısı ve ek tesis kurma mâliyeti arasında bir değış-tokuşu simgeler. Hem görev hem de donatım mâliyetleri gözönüne alınır. Algoritmanın ikinci bir özelliğı, bu çevrim sırasındaki verimsiz zamanın da hesaba katılmasıdır. DP yaklaşımının bir avantajı, paralelliğinin mâliyetini uygunlaştırmak için biraz değışiklik yapmak amacıyla bir seri montaj hattı dengeleme problemiyle ilgili eğrisel ilişkiye düzenlice izin vermesidir. Çözümler, bilinen küçük sınırları kullanan bir sayma programı ile saptanır. Bu makalede, hesaplamalara dikkati çekmek için; endüstri temelli bir test problemleri serisinden iki örnek ve sonuçları sunulmuştur. Genel olarak algoritma iyi işlemekte ama öncelik diyagramının temelini oluşturan sipariş gücü 0 veya 1'e yaklaştığı zaman sorunlar başlamaktadır.

5.11.6. Montaj Hattı İş Sıralama İlkeleri [Burns, Daganzo (1987)]

Montaj hattında iş sıralama; bir montaj hattında işleme tâbi tutulan işlerin sırasını belirler. Bu araştırma, aynı iş sıralamasını kabul eden iş istasyonlarına sahip montaj hatları için iş sıralama yöntemleri üzerinde toplanır. Bunlar birleştirilir ve dengelenir. Süreçte iş birikmesi olmaz ve bu nedenle işler, değışmez bir hızda, aralarında sürekli hareket eder. Otomobil montaj hattı, sık sık bu karakteristiklere sahip olur. Basit analitik ilkeler, farklı iş sıralama hedefleri arasında değış-tokuş değıerlendirme yardımı ile çıkarılır. Bu ilkeler; ya elle veya basit bir sıralama rutini yardımıyla uygulanabilen bir iş sıralama yöntemi için temel geliştirir. İçerilenler; her iş üzerinde ama farklı seçenekler ile yapılan (Örneğın oto boyama) etkinlikler ile ilgili hazırlık mâliyeti hedefleri ve her iş üzerinde yapılmayan etkinlikler ile ilgili sığa yararlanılma hedefleridir.

BÖLÜM 6 ÇOK MODELLİ MONTAJ HATLARI İÇİN YENİ BİR Dengeleme Yöntemi

6.1. GİRİŞ

Günümüze kadar yapılan çalışmaların çok büyük bir bölümü, tek modellenli hatlar konusunda olup, çok modellenli ve karışık modellenli hatlar konusunda fazla bir çalışma yapılmamıştır.

Bu bölümde; çok modellenli hatlarda denge kaybını azaltmaya yönelik yeni bir dengeleme yöntemi tanıtılacaktır. Önce problem tanımlanacak, yapılan varsayımlar belirtilecek; daha sonra yöntemin algoritması anlatılıp akış diyagramı çizilecek, avantaj ve dezavantajlarından sözedilecektir. Son olarak bu yöntem, bir örnek üzerinde açıklanmaya çalışılacaktır.

6.2. TANIM VE VARSAYIMLAR

6.2.1. Problemin Tanımı

Burada ele alınan problemde, aynı tip ürünün birden fazla modelde üretilmektedir. Yani problem, çok modellenli montaj hatları için uygulanmaktadır. Paralel iş istasyonları kullanılacaktır. Farklı modellerde aynı işler yapılabilmektedir. Ancak farklı modellerde farklı sürelerde yapılan benzer işler, ayrı işler olarak düşünülecek ve numaralanacaktır. Bu problem, dengeleme kaybının enküçüklenmesi ve toplam işletme mâliyetinin (Yatırım ve bakım) enküçüklenmesi amaçları altında çözülecektir.

6.2.2. Yapılan Varsayımlar

- 1) Tüm işlem süreleri deterministiktir.
- 2) Her işlemin yapılma mâliyeti belirlidir ve deterministiktir.

3) Kusurluluk yoktur;Üretime giren parçalar, istenene uygun şekilde ve kusursuz olarak hattan ayrılmaktadır.

4) Ön stok yoktur. Üretim stoksuz başlamaktadır. Ayrıca istasyonlar arası stok bulunmamaktadır.

5) İstasyonlar arası taşıma süreleri ihmâl edilmiştir.

6) İstasyonlardaki makinaların arıza vb. nedenlerle durması sözkonusu değildir.

6.3. ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE ALGORİTMASI

6.3.1. Yöntemin Temel Felsefesi

Bu yöntem, çok modellenli hatlara yönelik bir dengeleme yöntemi-
dir. Çok modellenli hatlarda, birden fazla ürün veya aynı ürünün birden
fazla modellenli hat içine partiler hâlinde girmekte ve ürün olarak hat-
tan ayrılmaktadır. Yöntemde, farklı ürünler/modeller için işlemlerin
süreleri ve teknolojik öncelik diyagramlarından yararlanılarak, be-
lirli bir tek modellenli hat dengeleme tekniği kullanılmakta ve her bir
ürün/model için dengeleme yapılmaktadır. Daha sonra bu farklı çözüm-
lerden çıkan tüm farklı istasyon sayısı çözümleri üzerinde ayrı ayrı
durulmakta, her bir ürün/model için yeni çevrim süreleri düşünülüp
yeniden dengeleme yapılmakta ve çıkan sonuçlar -yâni her farklı durum
için dengeleme kayıpları ve toplam maliyetler- karar vericiye sunul-
maktadır. Bundan sonrası, karar vericinin vereceği karara bağlıdır.

6.3.2. Yöntemin Algoritması

1) 1. modellenli al.

2) Bu modele ilişkin teknolojik öncelik diyagramını çiz.

3) Toplam üretim ve toplam çalışma süresinden yararlanarak çev-
rim süresini bul.

4) Gerekli en az istasyon sayısını bul.

5) Bu model için hattı, belirli bir dengeleme yöntemine (Örne-
ğin konum ağırlıklı dengeleme tekniğine) göre dengele.

- 6) Bu model son model ise adım-8'e, aksi durumda adım-7'ye git.
- 7) Bir sonraki modeli al. Adım 2-6 arasını yinele.
- 8) Her modeli, kendi içinde, dengeleme sonucunda bulunan işlem sırasına göre diz ve birikimli işlem sürelerini hesapla.
- 9) Birinci istasyon sayısı seçeneğini ele al.
- 10) Bu istasyon sayısı için her modelin çevrim süresini bul.
- 11) Adım-8'de yaptığın sıralamaya uyarak, her istasyona, çevrim süresini en çok % 25 aşacak şekilde işlemleri özgüle (% 25'i zorunlu olarak aşma durumu varsa aş). Bunu her model için yinele.
- 12) Her istasyonda, her model için yapılan özgülemeleri istasyonlar bazında birleştir; istasyonlarda, genel olarak yapılabilen işler bütünü oluştur.
- 13) Enson elde edilen oluşumdan, her ayrı modele, istasyon bazında ve teknolojik öncelik diyagramını gözeterek işlem dağıtımı yap (Bu durumda özellikle ilk istasyonlarda işlerin büyük kısmı yapılmış olacaktır).
- 14) Her bir model için başlangıçtaki çevrim sürelerini gözönüne alarak, her istasyon için gerekli paralel istasyon sayılarını hesapla.
- 15) Yine her istasyon için işlem birleştirmesi yap (Bu durumdaki özgülenmiş işler, adım,12'dekilere göre bir azalma gösterecektir).
- 16) Her bir istasyon için gerekli paralel istasyon sayısını, modeller bazında bulunan değerlerin enbüyüğü olarak al.
- 17) Bu, incelediğin son istasyon sayısı seçeneği ise adım-19'a, aksi durumda adım-18'e git.
- 18) Yeni bir seçenek al ve adım-10'a git.
- 19) Her istasyon sayısı seçeneği için modeller bazında denge kayıplarını bul. Burada istasyon sayısı olarak, o modele ilişkin paralel istasyon sayılarının toplamını; çevrim süresi olarak da, o modelin başlangıçtaki çevrim süresini al. O istasyon sayısı seçeneği için ortalama denge kaybını, farklı modellerin denge kayıplarının aritmetik ortalamasını alarak bul.

20) Her istasyon sayısı seçeneği için, son dengelemede bulunan, istasyon bazında işlerin yapılma mâliyetlerini hesapla. Bunların toplamını, o seçenek için toplam mâliyet olarak al.

21) Her farklı istasyon sayısı için toplam mâliyet ve denge kayıpları belirlenmiştir. Bu verileri karar vericiye sun.

6.3.3. Yöntemin Akış Diyagramı

Şekil 6.1.'de çözüm yöntemine ilişkin akış diyagramı gösterilmiştir.

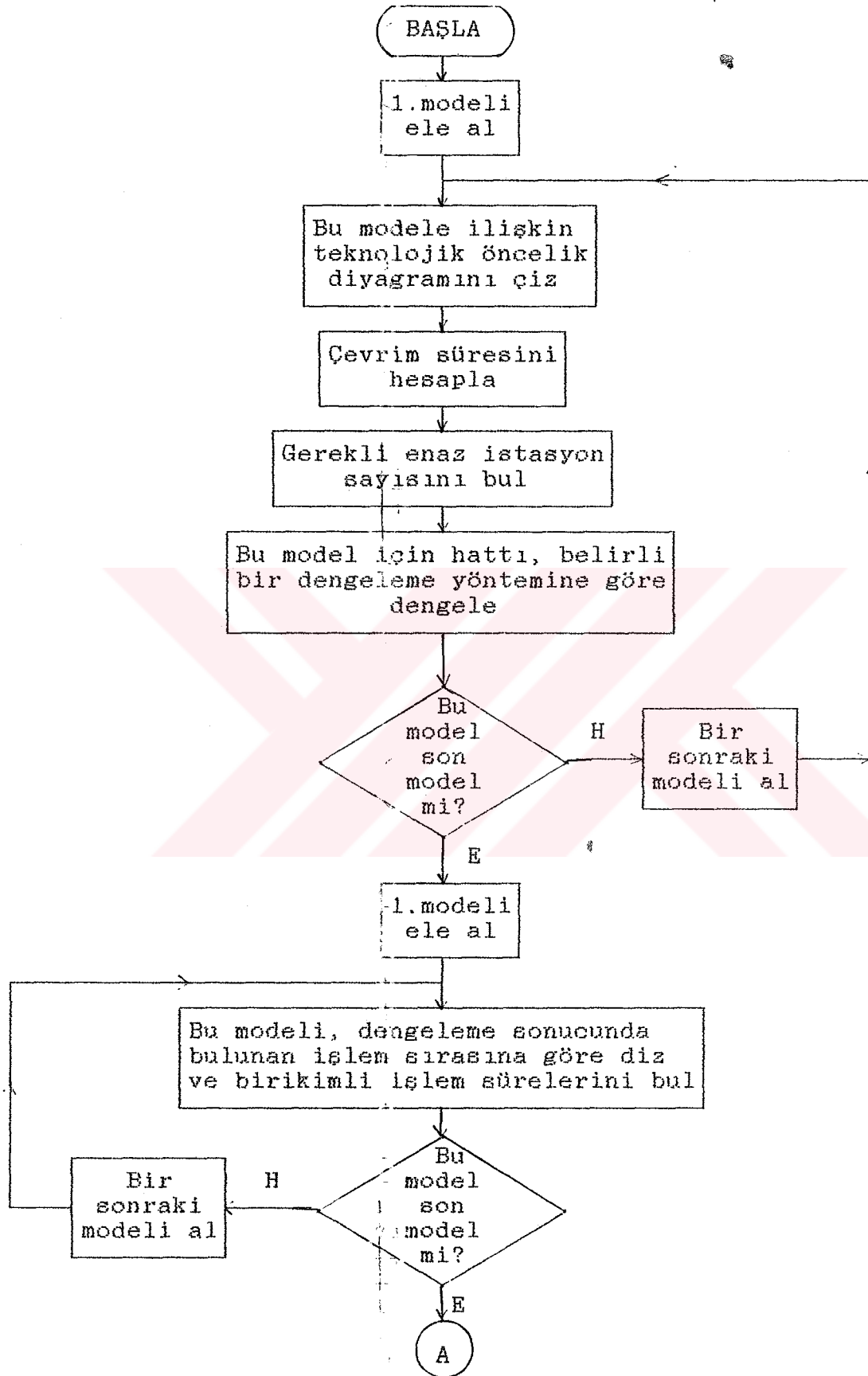
6.4. YÖNTEMİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

6.4.1. Yöntemin Avantajları

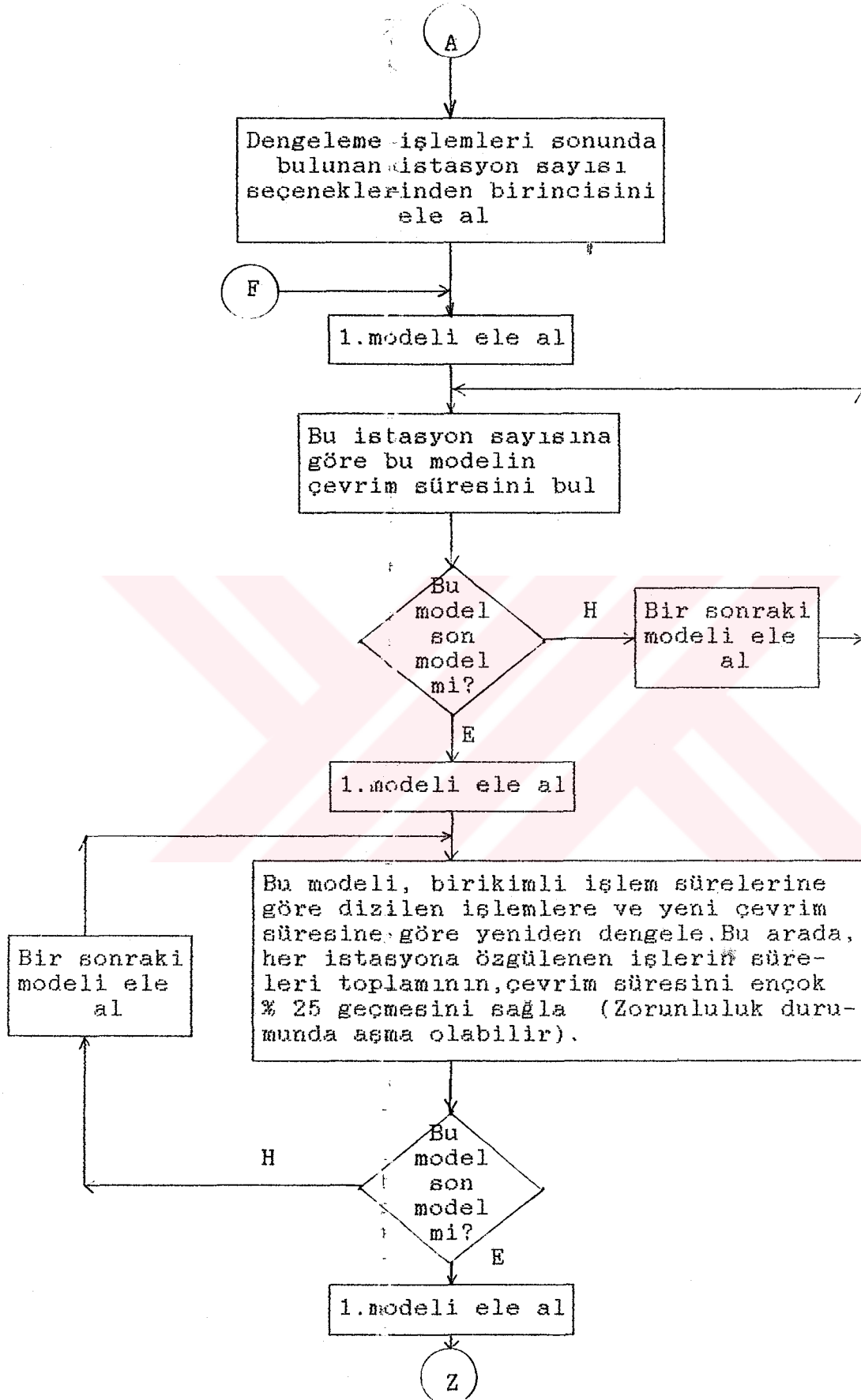
- 1) Birden fazla model kullanılabilmektedir.
- 2) Partiler hâlinde yapılan hat üretimine uygundur. Bu nedenle çok geniş uygulama alanına sahiptir.
- 3) Birden fazla amacı temel almaktadır. Burada hem denge kaybı, hem de hattın toplam mâliyeti gözönüne alınmaktadır.
- 4) Analitik yöntemlere göre çok daha gerçekçi olup uygun sürede çözülebilmektedir.

6.4.2. Yöntemin Dezavantajları

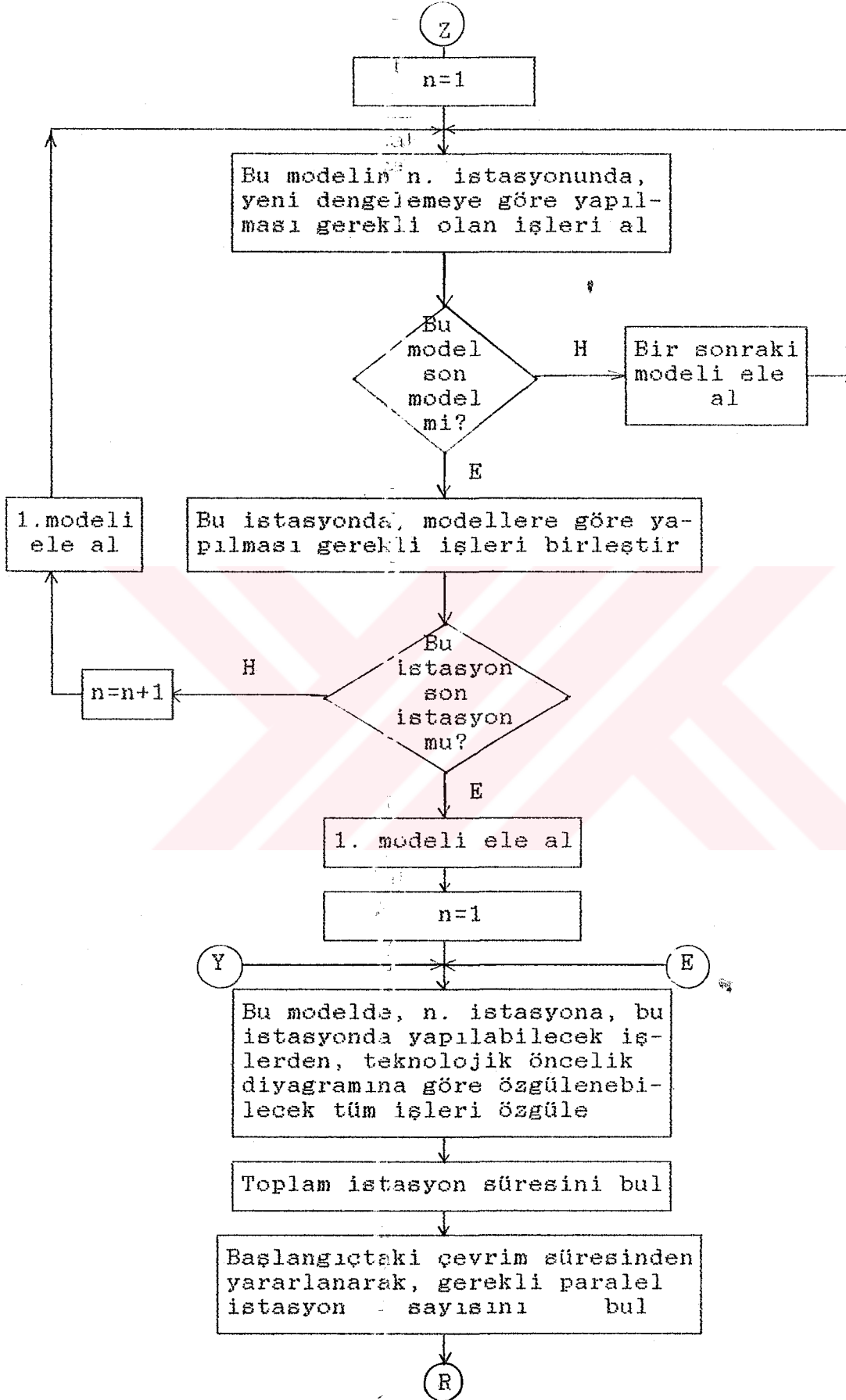
- 1) Sadece model farklı dikkate alınmakta, tip farkı gözönüne alınmamaktadır.
- 2) Toplam iki amaç temel alınmaktadır.
- 3) Analitik değildir.
- 4) Tek modellenli çözüm yöntemlerine göre daha karmaşıktır.



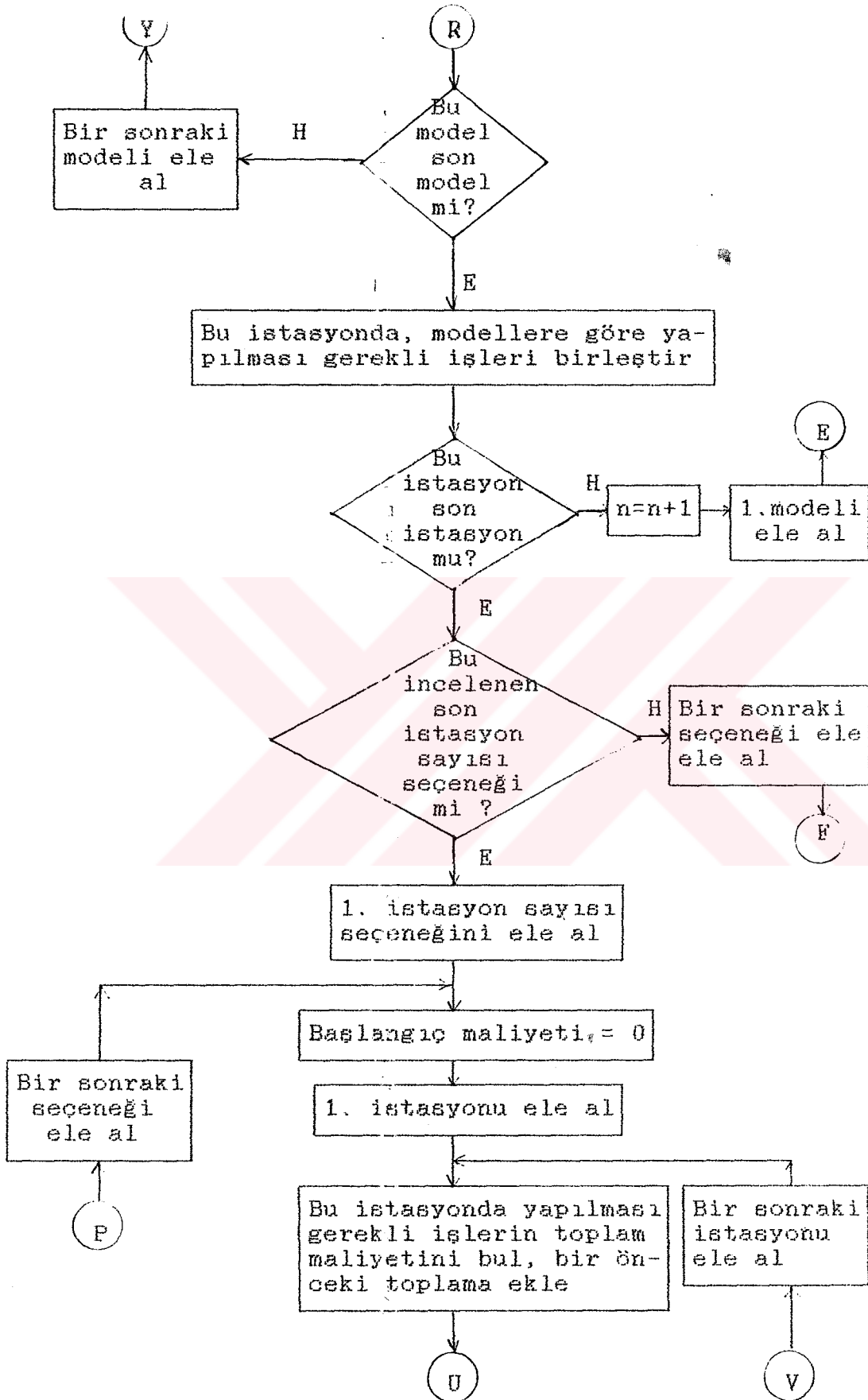
Şekil 6.1.Çözüm Yöntemine ilişkin Akış Diyagramı



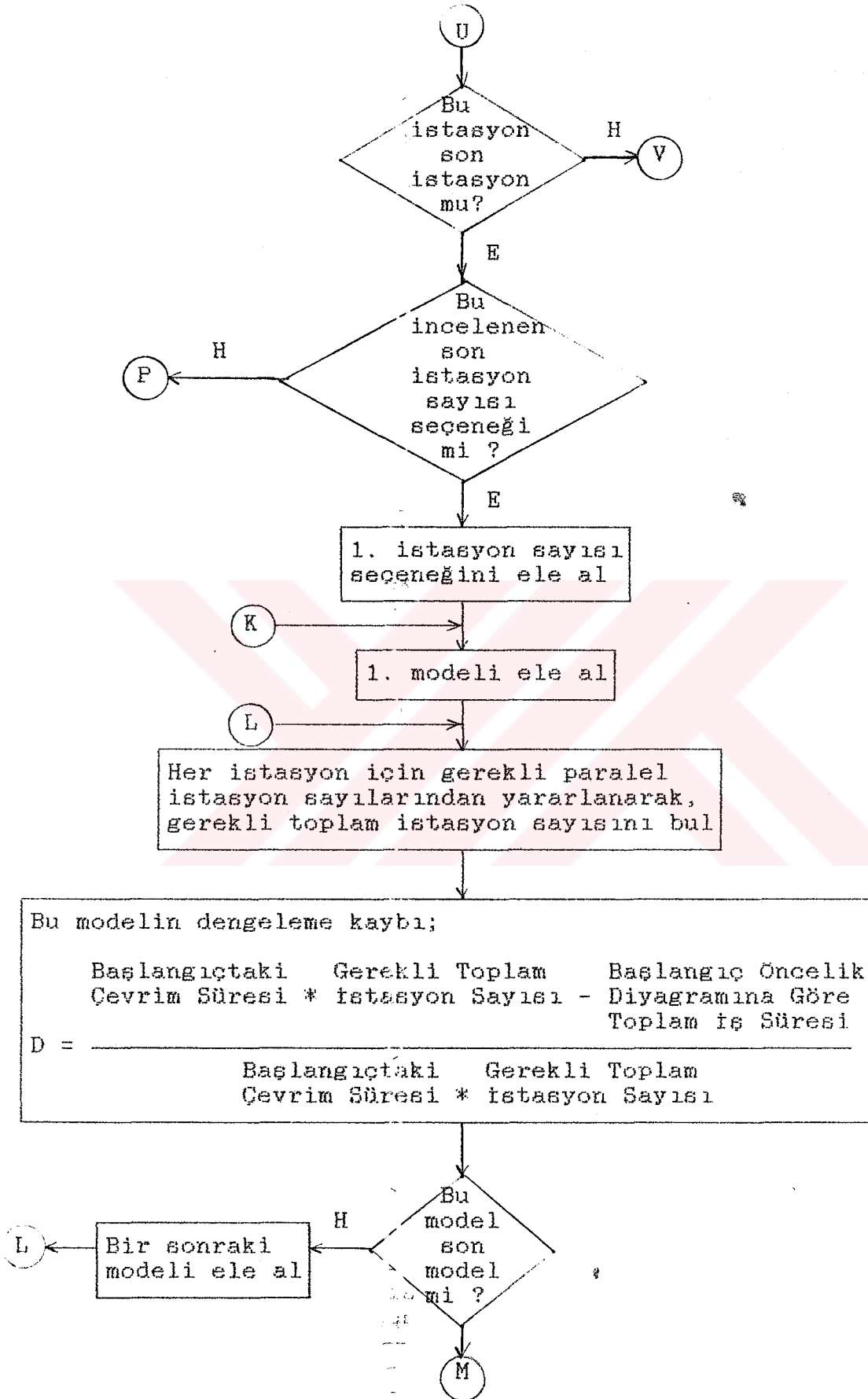
Şekil 6.1. (Devam)



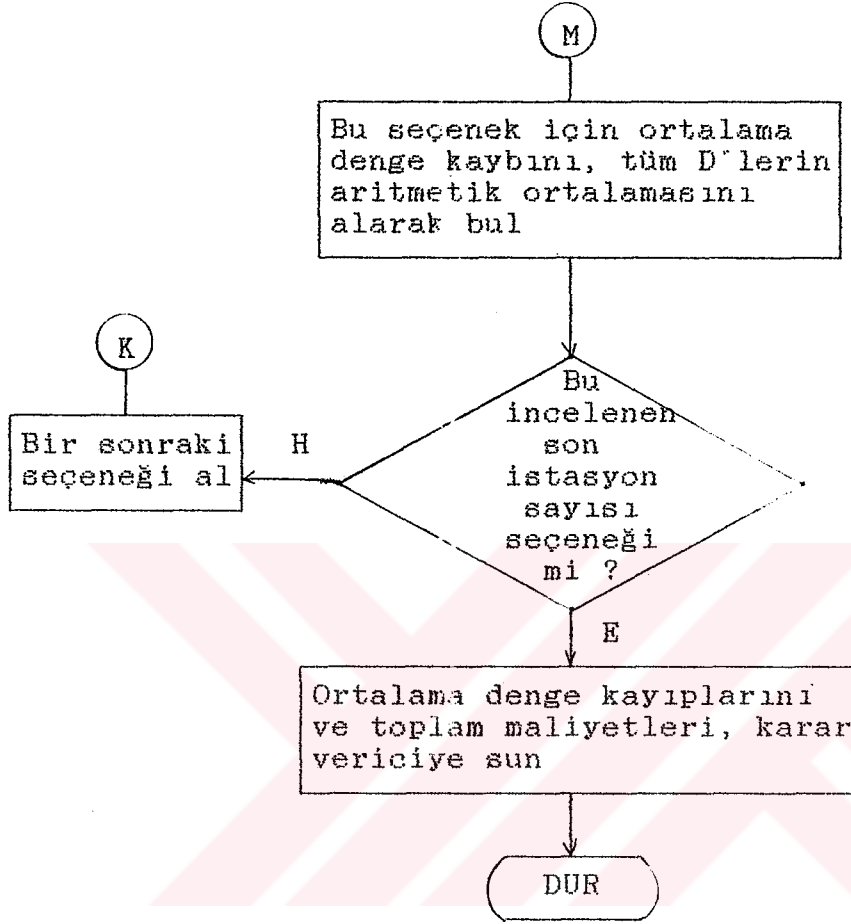
Şekil 6.1. (Devam)



Şekil 6.1. (Devam)



Şekil 6.1. (Devam)

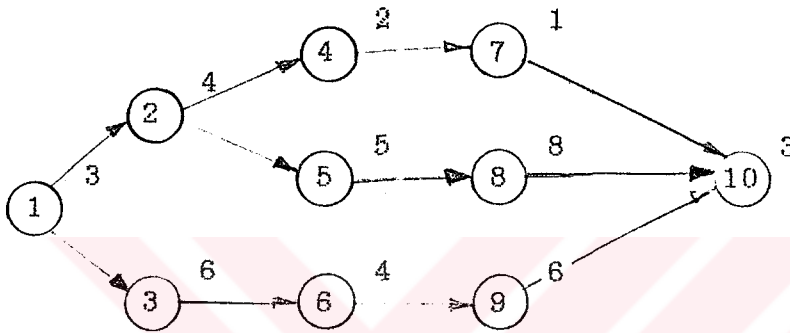


Şekil 6.1. (Devam)

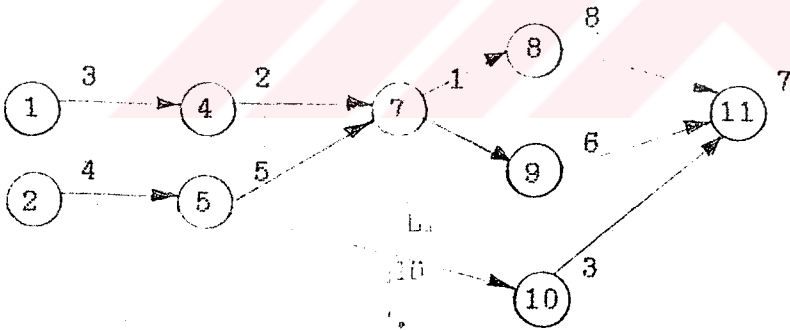
6.5. UYGULAMA

6.5.1. Örnek Problem

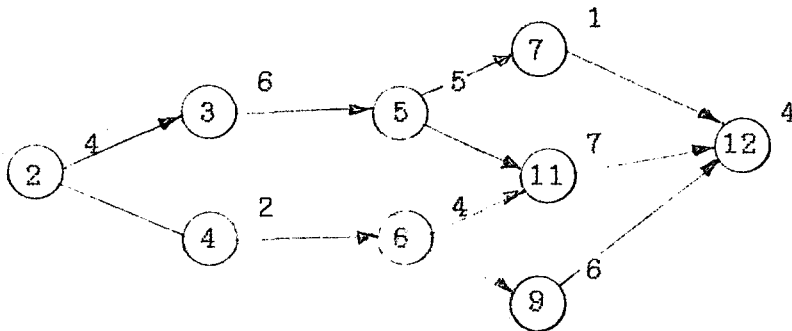
Bir üretim işletmesinde bir ürünün üç farklı modeli üretilmekte, bu modeller, ikili veya üçlü olarak bazı işleri benzer şekilde ve sürede yapmaktadır. Şekil 6.2., 6.3. ve 6.4.'te bu modellere ilişkin öncelik diyagramları görülmektedir.



Şekil 6.2. 1. Modele ilişkin Öncelik Diyagramı



Şekil 6.3. 2. Modele ilişkin Öncelik Diyagramı



Şekil 6.4. 3. Modele ilişkin Öncelik Diyagramı

1. modelden günde 60 adet, 2. modelden günde 53 adet, 3. modelden de günde 48 adet üretilmesi istenmektedir. Günlük çalışma süresi 8 saat (=480 dk.)'tir. Teknolojik öncelik diyagramlarında görülen toplam 12 işe ilişkin iş gerçekleştirme maliyetleri, Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. İşleri Gerçekleştirme Maliyetleri (P.B.)

İş No	Maliyet (PB)	İş No	Maliyet (PB)
1	15	7	9
2	10	8	4
3	12	9	18
4	8	10	13
5	8	11	12
6	12	12	7

Şimdi denge kaybını ve toplam maliyeti enazlama amaçlarına yönelik olarak, üç ürünün de istenen miktarda üretilmesi için montajları tek bir hatta yapabilmek için nasıl bir düzenleme yapılması gerektiğini, önceki bölümlerde açıklanan yöntemle göre bulmaya çalışalım.

6.5.2. Yöntemin Uygulanması

Öncelikle her modelin, belirli bir yöntemle göre dengelenmesi gerekmektedir. Dengeleme yöntemi olarak, "Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği"ni seçelim.

Her modelin çevrim süresini hesaplayalım:

$$\text{Çevrim Süresi} = C = \frac{\text{Montaj İçin Eldeki Süre}}{\text{İstenen Toplam Üretim}}$$

olduğuna göre;

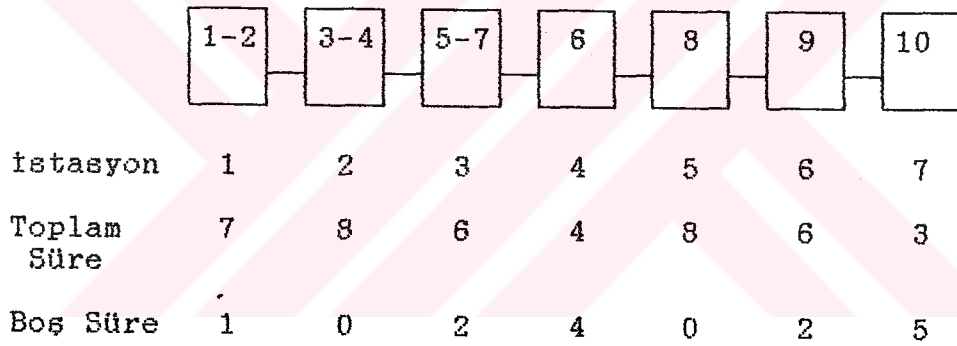
$$C_1 = \frac{480}{60} = 8 \text{ dk/ürün}$$

$$C_2 = \frac{480}{53} = 9 \text{ dk/ürün}$$

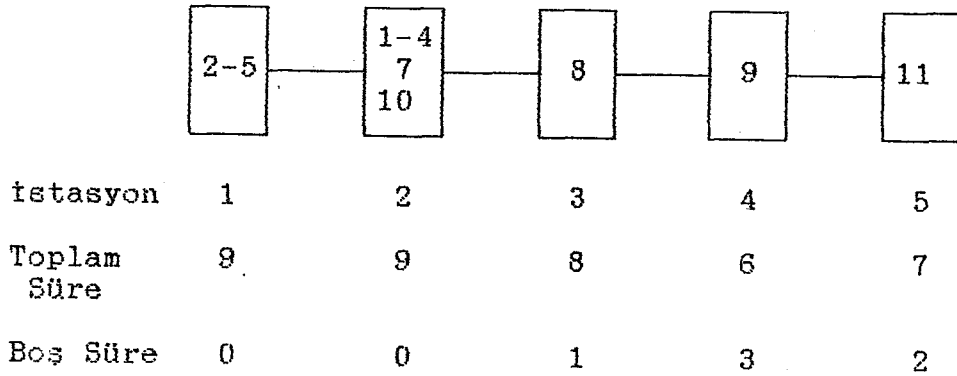
$$C_3 = \frac{480}{48} = 10 \text{ dk/ürün}$$

bulunur.

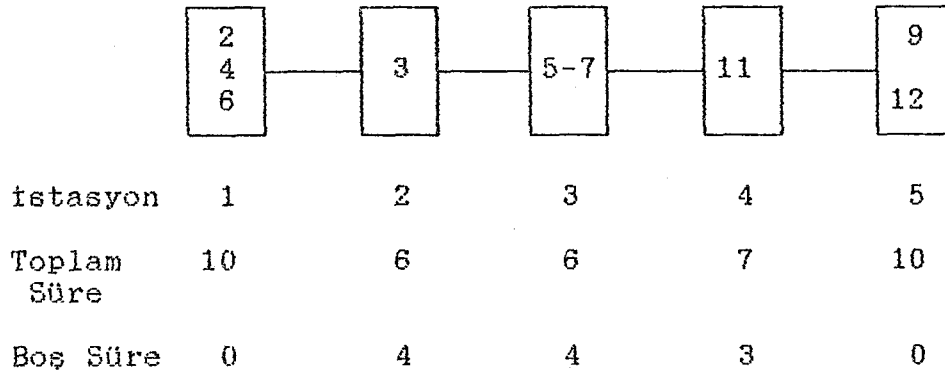
Bu çevrim süresi değerlerinden yararlanarak, modelleri "Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği"'ne göre dengelersek, sırasıyla 1,2 ve 3. modeller için Şekil 6.5., Şekil 6.6 ve Şekil 6.7.'de görülen dengeleme sonuçları elde edilir:



Şekil 6.5. 1. Modelin Dengeleme Sonucu



Şekil 6.6. 2. Modelin Dengeleme Sonucu



Şekil 6.7. 3. Modelin Dengeleme Sonucu

Her modeli, kendi içinde, dengeleme sonucunda bulunan işlem sırasına göre dizer ve birikimli işlem sürelerini hesaplırsak, Tablo 6.2'deki durumu elde ederiz.

Tablo 6.2. Örneğe İlişkin Birikimli İşlem Süreleri

Model 1'in İş Sırası	Birikimli İşlem Süresi	Model 1'in İş Sırası	Birikimli İşlem Süresi	Model 1'in İş Sırası	Birikimli İşlem Süresi
1	3	2	4	2	4
2	7	5	9	4	6
3	13	1	12	6	10
4	15	4	14	3	16
5	20	7	15	5	21
7	21	10	18	7	22
6	25	8	26	11	29
8	33	9	32	9	35
9	39	11	39	12	39
10	42				

3 farklı modelin çözümleri, görüldüğü gibi 5 veya 7 istasyon şeklindedir.

Şimdi 5 ve 7 istasyon durumları için, referans çözümler üzerinde yeniden dengeleme yapacağız. Bu dengeleme öncesi, her istasyon sayısı seçeneği için modellerin çevrim sürelerini hesaplayalım:

5 istasyon durumu için çevrim süreleri

1. model için $C_1 = \frac{42}{5} = 8,4 \text{ dk.}$

2. model için $C_2 = \frac{39}{5} = 7,8 \text{ dk.}$

3. model için $C_3 = \frac{39}{5} = 7,8 \text{ dk.}$

7 istasyon durumu için çevrim süreleri

1. model için $C_1 = \frac{42}{7} = 6 \text{ dk.}$

2. model için $C_2 = \frac{39}{7} = 5,57 \text{ dk.}$

3. model için $C_3 = \frac{39}{7} = 5,57 \text{ dk.}$

Şimdi dengeleme işlemine geçebiliriz. Burada her istasyon seçeneği için, 1. istasyondan başlayarak istasyonlar, çevrim sürelerini en çok % 25 oranında aşacak şekilde düzenleniyor. Zorunlu olarak % 25'ten fazla aşma durumu varsa, bu durumun son istasyonlarda olmasına çalışılıyor. Ancak işlem süresinin çevrim süresini aşması durumunda buna uyulmuyor.

Bu yeni dengeleme durumu için her istasyonda modeller bazında yapılabilecek işleri birleştiriyor, genel olarak o istasyonda yapılabilecek işleri buluyoruz.

Tablo 6.3. 5 istasyonlu Durum için Yeniden Dengeleme

Model	1. istasyon	2. istasyon	3. istasyon	4. istasyon	5. istasyon
1	1-2	3-4	5-7-6	8	9-10
2	2-5	1-4-7-10	8	9	11
3	2-4	6	3	7	11-9-12
GENEL	1-2-4-5	1-3-4-6 7-10	3-5-6-7 8	7-8-9	9-10 11-12

Bundan sonraki işlem, her istasyonda genel olarak yapılabilecek işleri, modeller bazında ve teknolojik öncelik diyagramları gözönüne alınarak istasyonlara yeniden dağıtmak ve son bir, genel olarak yapılabilecek işler sıralaması yapmaktır. Bu arada her bir modelin başlangıçtaki çevrim süresi gözönüne alınarak, o istasyonun kaç paralel istasyondan oluşabileceği de hesaplanacaktır.

Sözedilen adımları uygulamamız durumunda, Tablo 6.4.'de görülen son dengeleme durumunu elde ederiz.

Bu tablonun oluşturulması sırasında bir örnek yapalım. Örneğin 1 no.lu modelde 1. istasyonda yapılabilecek işler 1-2-4-5'tir (Tablo 6.3.). 1. modelin teknolojik öncelik diyagramına göre bu dört iş ardarda aynı istasyonda yapılabilir. Bu işlerin süreleri toplamı 14 dk. olup, çevrim süresi 8 dk. olduğundan işler, 2 paralel istasyonda yapılmalıdır. Tablo 6.3'ü izlemeyi sürdürürsek, 2. istasyonda 1-3-4-6-7-10 no.lu işlerin yapılabileceğini görürüz. Son dengelemeye göre 1. istasyonda 1-2-4-5 no.lu işler yapılacaktır. Bu nedenle 2. istasyona 3-6-7-10 no.lu işler özgülenebilir. Teknolojik öncelik diyagramına göre, 2. istasyonda 3-6-7 no.lu işler yapılabilecektir ve bu istasyona, 6-8-9 no.lu işlerin önceden yapılamamasından dolayı, 10 no.lu iş özgülenemeyecektir. 3-6-7 no.lu işlerin toplam süresi 11 olduğundan, 2 paralel istasyon gereklidir. Böylece 1-2-3-4-5-6-7 no.lu işler ilk 2 istasyona özgülenmiştir. Tablo 6.3.'e göre 3.

Tablo 6.4. 5 istasyonlu Durum için Son Dengeleme

Çevrim Süresi	Model		1. ist.	2. ist.	3. ist.	4. ist.	5. ist.
8	1	Süre	14	11	8	6	3
		istasyon	2	2	1	1	1
		işler	1-2 4-5	3-6 7	8	9	10
9	2	Süre	14	4	8	6	7
		istasyon	2	1	1	1	1
		işler	1-2 4-5	7-10	8	9	11
10	3	Süre	6	10	6	6	11
		istasyon	1	1	1	1	2
		işler	2-4	3-6	5-7	9	11 12
GENEL			1-2 4-5	3-6 7-10	5-7 8	9	10 11 12
GEREKLi PARALEL İSTASYON SAYISI			2	2	1	1	2

istasyonda 3-5-6-7-8 no.lu işler yapılabilir. Ama biz 3-5-6 ve 7 no.lu işleri daha önce özgülediğimizden, teknolojik öncelik diyagramını da gözönünde tutarak 8 no.lu ve işi 3. istasyona özgüleriz. Bu işin süresi 8 dk. olup, tek istasyon gereksinilir. İşlemler aynı şekilde sürdürülürse 4. istasyona 9 ve 5. istasyona 10 no.lu işleri özgüleriz. Bunların da süreleri sırasıyla 6 ve 3 olduğundan, her iki istasyonda da tek istasyon gereksinimi vardır.

Aynı işlemler 2. ve 3. modeller için yapıldıktan sonra istasyonlar bazında yapılması gereken işler birleştirilir. 5 istasyonlu modelde, 1. istasyonda 1-2-4-5, 2. istasyonda 3-6-7-10, 3. istasyonda 5-7-8, 4. istasyonda 9, 5. istasyonda ise 10-11-12 no.lu işler özgülenmiş olarak yapılacaktır.

Şimdi, 7 istasyon durumu için yeniden dengeleme ve son dengeleme işlemlerini yapalım. Daha önce hesaplandığı gibi 7 istasyon durumu için çevrim süreleri 1., 2. ve 3. modeller için sırasıyla 6, 5.57 ve 5.57 dk. olarak düşünülecektir. Yine son dengeleme durumu için çevrim süreleri, modeller için sırasıyla 8,9 ve 10 dk. olarak alınacaktır. Bu durum için yeniden dengeleme ve son dengeleme çözüm tabloları, sırasıyla Tablo 6.5 ve Tablo 6.6.'da görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

Tablo 6.5. 7 istasyonlu Durum için Yeniden Dengeleme

Model	1. istas.	2. istas.	3. istas.	4. istas.	5. istas.	6. istas.	7. istas.
1	1-2	3	4-5	7-6	8	9	10
2	2	5	1-4-7	10	8	9	11
3	2-4	6	3	5-7	11	9	12
GENEL	1-2 4	3-5 6	1-3-4 5-7	5-6-7 10	8-11	9	10-11 12

Böylece 5 ve 7 istasyon durumları için son dengeleme durumları bulunmuştur. Şimdiki iş, bu durumlar için ortalama denge kayıplarını ve toplam iş gerçekleştirme mâliyetlerini hesaplamaktır.

Önce 5 istasyonlu durum ile ilgilenelim:

Son dengelemeye göre, 1. modelin denge kaybı, toplam (2+2+1+1+1=) 7 istasyon gerektiğinden;

$$C_1 = \frac{7 \times 8 - 42}{7 \times 8} = \% .25$$

2. modelin denge kaybı, toplam (2+1+1+1+1=) 6 istasyon gerektiğinden;

$$C_2 = \frac{6 \times 9 - 39}{6 \times 9} = \% 27,77$$

Tablo 6.6. 7 istasyonlu Durum için Son Dengeleme

Çevrim Süresi	Model		1. ist.	2. ist.	3. ist.	4. ist.	5. ist.	6. ist.	7. ist.
8	1	Süre	9	15	1	0	8	6	3
		istasyon	2	2	1	0	1	1	1
		işler	1-2 4	3-5 6	7	-	8	9	10
9	2	Süre	9	5	1	3	8	6	7
		istasyon	1	1	1	1	1	1	1
		işler	1-2 4	5	7	10	8	9	11
10	3	Süre	6	15	1	0	7	6	4
		istasyon	1	2	1	0	1	1	1
		işler	2-4	3-5 6	7	-	8-11	9	10 11 12
GENEL			1-2 4	3-5 6	7	10	8-11	9	10 11 12
GEREKLİ PARALEL İSTASYON SAYISI			2	2	1	1	1	1	1

3. modelin denge kaybı, toplam (1+1+1+1+2=) 6 istasyon gerektiğinden ;

$$C_3 = \frac{6 \times 10 - 39}{6 \times 10} = \% 35,00$$

olarak bulunacaktır.

Ortalama denge kaybı

$$C = \frac{\% 25,00 + \% 27,77 + \% 35,00}{3} = \% 29,25$$

olarak bulunur.

Toplam mâliyetlere bakalım:

1. istasyon için	15+10+8+8	= 41
2. istasyon için	12+12+9+13	= 46
3. istasyon için	8+9+4	= 21
4. istasyon için	18	
5. istasyon için	13+12+7	= 32

olduğundan 5 istasyonlu durum için toplam mâliyet

$$41+46+21+18+32 = 158 \text{ PB'dir.}$$

Şimdi de 7 istasyonlu durum ile ilgilenelim:

Gerekli istasyon sayıları;

1. model için	2+2+1+0+1+1+1 = 8
2. model için	1+1+1+1+1+1+1 = 7
3. model için	1+2+1+0+1+1+1 = 7

olarak bulunur.

Denge kayıpları ise;

1. model için	$C_1 = \frac{8 \times 8 - 42}{8 \times 8} = \% 34,37$
2. model için	$C_2 = \frac{7 \times 9 - 39}{7 \times 9} = \% 38,09$
3. model için	$C_3 = \frac{7 \times 10 - 39}{7 \times 10} = \% 44,28$

bulunur. Ortalama denge kaybı ise;

$$C = \frac{\% 34,37 + \% 38,09 + \% 44,28}{3} = \% 38,91$$

olarak bulunur.

Toplam mâliyetlere bakalım:

1. istasyon için	$15 + 10 + 8 =$	33
2. istasyon için	$12 + 8 + 12 =$	32
3. istasyon için		9
4. istasyon için		13
5. istasyoın için	$4 + 12 =$	16
6. istasyon için		18
7. istasyon için	$13 + 12 + 7 =$	32

olduğundan 7 istasyonlu durum için toplam mâliyet;

$$33 + 32 + 9 + 13 + 16 + 18 + 32 = 153 \text{ PB'dir.}$$

Böylece istenen sonuçlar bulunmuştur. Bu sonuçlar karar vericiye sunulacaktır Tablo 6.7.'de ilgili küme sunulmuştur.

Tablo 6.7. Karar Vericiye Sunulan Çözüm Kümesi

Seçenekler	Ortalama Denge Kaybı	Toplam Maliyet
5 istasyon	% 29,25	158
7 istasyon	% 38,91	153

BÖLÜM 7 BİR KONFEKSİYON FABRİKASINDA UYGULAMA

7.1. GİRİŞ

Bu bölümde, ülkemizin köklü ve büyük kuruluşlarından birine ait bir konfeksiyon fabrikasındaki 10 farklı tip gömlek üretimi işi ele alınacak ve bu gömleklerin tek bir hatta üretilmesi durumunda hattın nasıl düzenlenmesinin daha avantajlı olacağı bulunmaya çalışılacaktır. Hat dengelemede, 6. bölümde tanıtılan yöntemden yararlanılacaktır.

7.2. ÜRETİLEN GÖMLEK TİPLERİ

Bu konfeksiyon fabrikasında 10 farklı tip gömlek üretilmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- 1- İmpex 31-A
- 2- Boba
- 3- Libica-5
- 4- Yaka ucu düğmeli impex 1
- 5- Yaka ucu düğmeli rimaro
- 6- İmpex-2
- 7- İmpex-2 3900
- 8- Erkek gömleği impex-6
- 9- 936 lüks gömlek
- 10- İmpex-9

Bu ürünler genellikle benzer işlemler sonucunda üretilmektedir. Bazı işlemler aynı olup süreleri farklıdır. Bu tür işlemlerin numaraları da farklı olacaktır.

Tablo 7.1.'de işlemlerin tam bir listesi verilmiştir. Bu listede işlem no.ları, işlemlerin adları, standart süreleri ve yapıldığı makinelerin no.ları veya adları bulunmaktadır. Buna karşılık bizim geliştirdiğimiz yöntemde öngörülen varsayıma göre her işlem her makineye yapılabilir. Bu nedenle, biz dengeleme yaparken tablodaki son sütunu dikkate almayacağız.

Tablo 7.2.'de ise, işlemlerin gerçekleştirilmesi maliyetleri verilmektedir. Burada aynı satırda verilen işlemler aynı olup, süreleri farklıdır. Bu tür işlemlerin dengeleme sonucuna göre aynı hatta bulunması durumunda, tek bir tanesinin maliyeti dikkate alınacaktır.

Şekil 6.1. ile Şekil 6.10. arasında, üretilen on modele ilişkin öncelik diyagramları görülmektedir.

7.3. İLK DENGELEME İŞLEMLERİ

Önce her modeli, derece konumlu ağırlık tekniğine göre dengelemek gerekir. Tüm modeller üzerindeki enuzun süreli iş 1,34 dk.'lık standart süreye sahip olup bu süre, her model için dengeleme çevrim süresi olarak alınacaktır.

Tablo 7.3. ile Tablo 7.12 arasında, tüm modeller için elde edilen dengeleme çözümleri görülmektedir.

Her modeli, kendi içinde, dengeleme sonucunda bulunan işlem sırasına göre dize ve birikimli işlem sürelerini hesaplırsak, Tablo 7.13., Tablo 7.14. ve Tablo 7.15.'deki durumları elde ederiz.

10 farklı modelin çözümleri, görüldüğü gibi 21,22 veya 23 istasyon şeklindedir.

7.4. YENİDEN DENGELEME ÇALIŞMALARI

Şimdi 21,22 ve 23 istasyon durumları için başlangıç çözümler üzerinde yeniden dengeleme yapacağız. Bu dengeleme öncesi, her istasyon

Tablo 7.1. işlemler, Süreleri ve Yapıldıkları Makinalar

işlem No	işlemin Tanımı	Süre (dk)	Makina No
1	Alt manşet kıvrırma	0.26	415
2	Manşet birleştirme	0.74	531
3	Manşet kesme, çevirme	0.16	makas
4	Manşet form	0.40	form
5	Manşet ütü	0.64	el-ütü
6	Manşet gaze	0.54	415
7	Yaka birleştirme	0.64	531
8	Yaka kesme, çevirme	0.23	el
9	Yaka form	0.25	form
10	Yaka ütü	0.30	el
11	Yaka gaze	0.45	415
12	Yaka regula	0.20	el
13	Yaka ayak kıvrırma	0.22	415
14	Yaka ayak regula I	0.13	makas
15	Yaka ayak regula II	0.11	2504
16	Yaka ayak birleştirme	0.93	531
17	Yaka kesme çevirme	0.43	makas
18	Yaka ütü	0.35	el-ütü
19	Yaka orta cıma	0.20	555
20	Yaka regula	0.12	2504
21	Etiket kesme kıvrırma	0.30	makas
22	Etiket takma	0.45	415
23	Arka pile hazırlık	0.32	415
24	Roba takma	0.80	490
25	Alt manşet pervaz kıvrırma	0.41	555

Tablo 7.1. (Devamı)

İşlem No	İşlemin Tanımı	Süre (dk)	Makina No
26	Üst manşet pervaz kıvrırma	0.40	el
27	Üst manşet pervaz ütü	0.38	el-ütü
28	Üst manşet pervaz dikişi	1.20	555
29	Sağ pat ütü	0.47	el-ütü
30	Sol pat ütü	0.47	el-ütü
31	Sol pat gaze	0.60	555
32	İlik	0.55	782
33	Düğme	0.44	373
34	Omuz birleştirme	0.89	490
35	Omuz çift iğne	0.43	1152
36	Kol pile dikişi	0.51	415
37	Kol takma	0.80	2516
38	Kol çift iğne	0.78	1152
39	Kol yan kavrama	1.33	191
40	Yaka işaretleme	0.14	el
41	Yaka takma	0.80	415
42	Yaka kapama	0.90	555
43	Manşet telafi ütü	0.46	el-ütü
44	Manşet takma	1.34	555
45	Etek regula	0.34	makas
46	Etek baskı	0.48	555
47	Yaka ilik	0.16	782
48	Manşet ilik	0.20	782
49	Yaka manşet düğme	0.46	373
50	Apertura ilik	0.28	782

Tablo 7.1. (Devamı)

İşlem No	İşlemin Tanımı	Süre (dk)	Makina No
51	Cep ağzı ütü	0.27	el
52	Cep ağzı dikişi	0.16	415
53	Cep kıvrırma	0.26	summit
54	Sağ pat baskı dikişi	0.30	415
55	Cep regula	0.26	el
56	Cep montaj	0.78	555
57	Omuz çıma	0.31	555
58	Kol gaze	0.80	555
59	Apertura düğme işaret	0.30	el
60	Apertura düğme	0.30	373
61	Yaka manset düğme	0.30	373
62	Yaka gaze	0.30	415
63	Yaka ucu ilik	0.28	782
64	Etiket takma	0.36	415
65	Düğme	0.41	373
66	Kol pile dikişi	0.39	415
67	Etek baskı	0.51	555
68	Yaka ucu düğme işaret	0.30	el
69	Yaka ucu düğme	0.30	373
70	Arka pile hazırlık	0.40	415
71	Roba çıma	0.31	555
72	Cep ağzı ütü	0.33	el
73	Cep ağzı dikişi	0.18	415
74	Cep montaj	0.74	555
75	Kol gaze	0.78	555

Tablo 7.1. (Devamı)

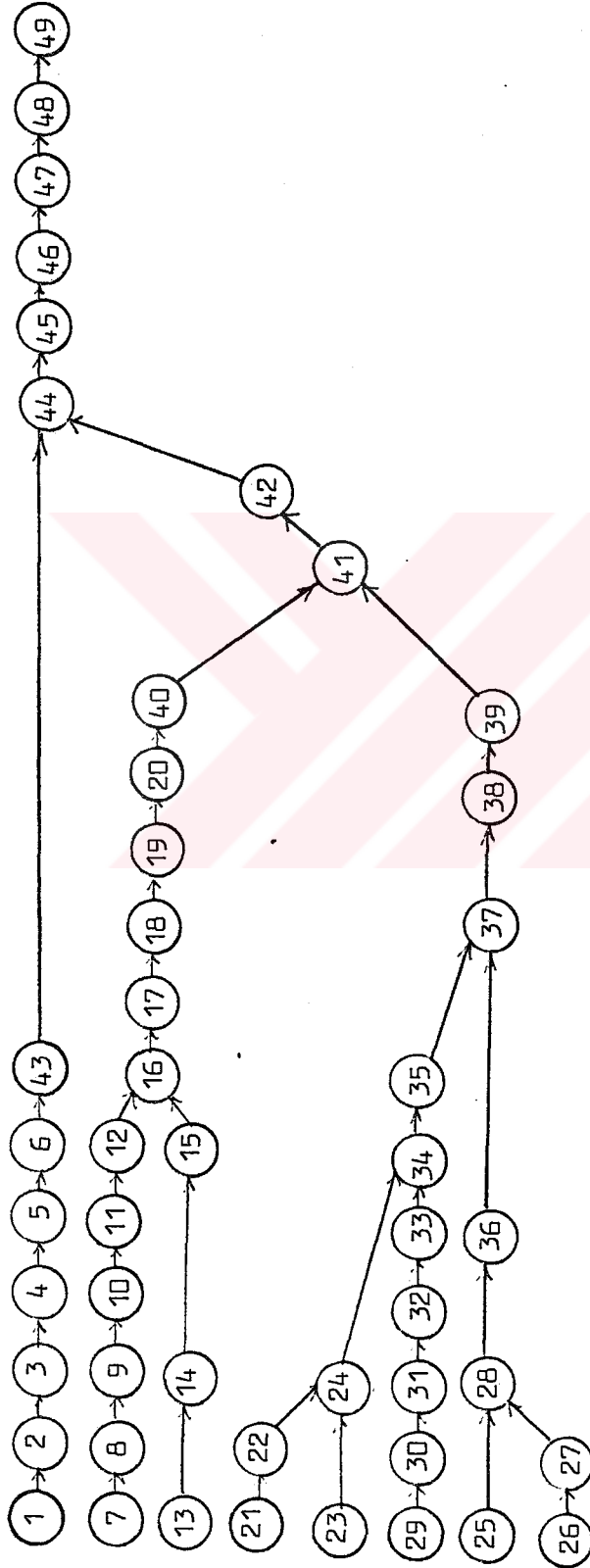
İşlem No	İşlemin Tanımı	Süre (dk)	Makina No
76	Yaka manşet düğme	0.40	373
77	Manşet çift iğne	0.62	1162
78	Yaka çift iğne	0.38	1162
79	Roba çift iğne	0.43	1152
80	Sağ pat dikişi	0.30	555
81	Sol pat çift iğne	0.70	1152
82	Cep montaj çift iğne	0.82	1162
83	Kol pile dikişi	0.61	415
84	Yaka ucu düğme (+ yedek düğme)	0.36	373
85	Cep montaj	0.79	555
86	Cep kıvrırma	0.52	summit
87	Etiket dikme	0.45	415
88	Alt manşet kıvrırma	0.30	415
89	Manşet birleştirme	0.83	531
90	Manşet ütü	0.84	el-ütü
91	Manşet gaze	0.61	415
92	Yaka birleştirme	0.66	531
93	Yaka ütü	0.36	el-ütü
94	Yaka gaze	0.33	415
95	Yaka regula	0.10	el
96	Yaka ayak kıvrırma	0.26	415
97	Yaka ayak birleştirme	1.03	531
98	Yaka ütü	0.38	el-ütü
99	Yaka orta çima	0.26	555
100	Sol pat baskı dikişi	0.30	555

Tablo 7.1. (Devamı)

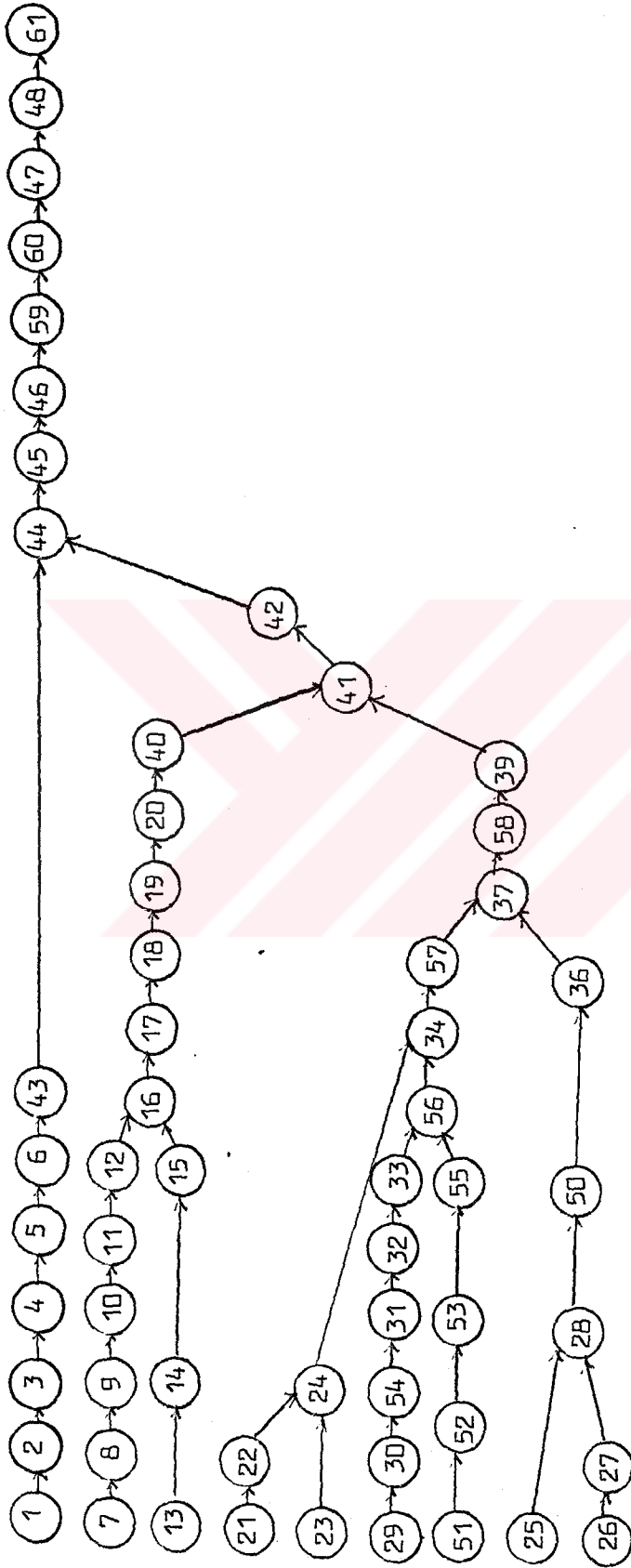
işlem No	işlemin Tanımı	Süre (dk)	Makina No
101	Yaka takma	0.86	415
102	Yaka kapama	0.98	555
103	Manşet takma	1.34	555
104	Yaka ayak kıvrırma	0.42	el-ütü
105	Roba takma	0.75	490
106	Kol yan kapama	0.93	2516
107	Etek baskı	0.40	555
108	Cep işaret	0.38	el
109	Yaka ayak kıvrırma	0.42	el

Tablo 7.2. işleri Gerçekleştirme Maliyetleri (P.B.)

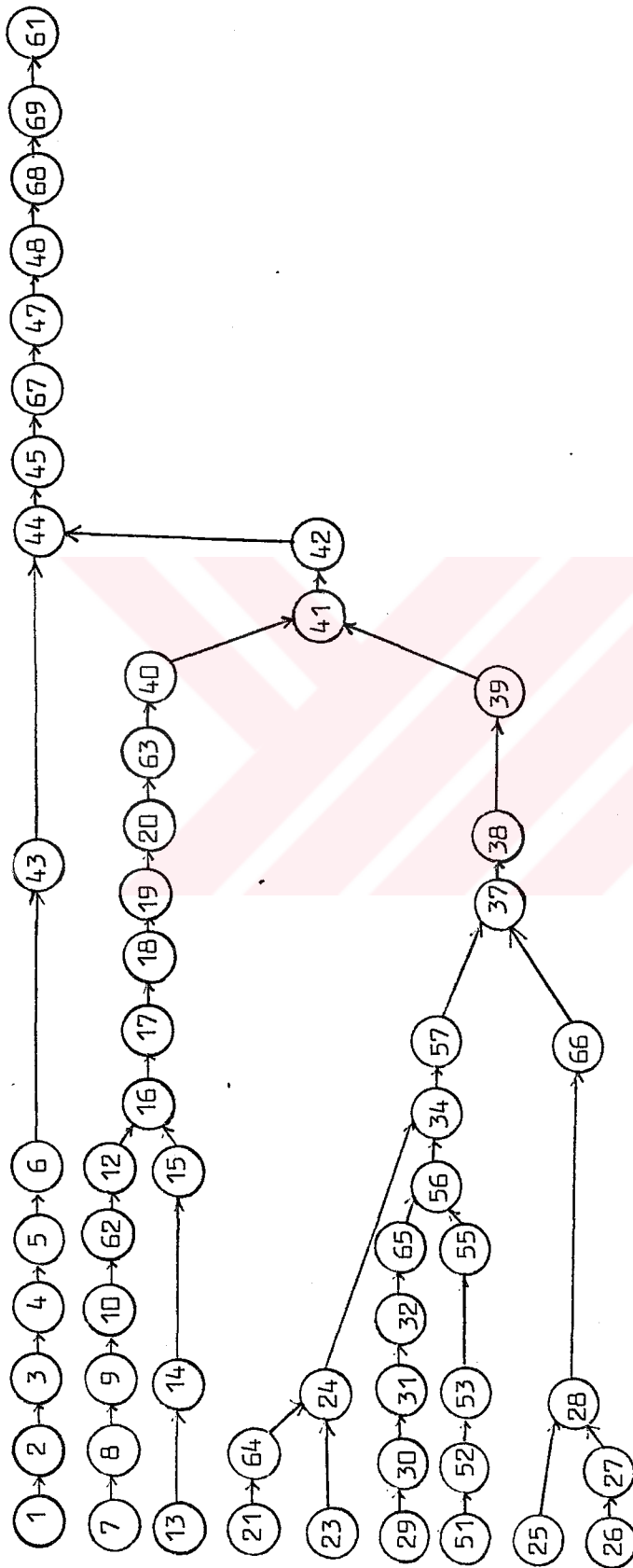
iş No	Maliyet	iş No	Maliyet	iş No	Maliyet
1	20	28	90	53-86	34
2-89	45	29	25	54	24
3	15	30	25	55	26
4	26	31	43	56-74-85	50
5-90	30	32	40	57	23
6-91	40	33-65	34	58-75	50
7-92	44	34	80	59	18
8-17	24	35	28	60	37
9	15	36-66-83	40	63	21
10-18-93-98	25	37	78	68	25
11-62-94	32	38	77	69-84	32
12-95	17	39	93	71	24
13-96	20	40	15	77	37
14	20	41-101	65	78	34
15	24	42-102	84	79	32
16-97	82	43	25	80	24
19-99	21	44-103	95	81	48
20	16	45	24	82	80
21	25	46-67-107	34	87	30
22-64	28	47	20	88	23
23-70	35	48	22	100	25
24-105	50	49-61-76	42	104-109	26
25	31	50	20	106	82
26	26	51-72	25	108	26
27	25	52-73	16		



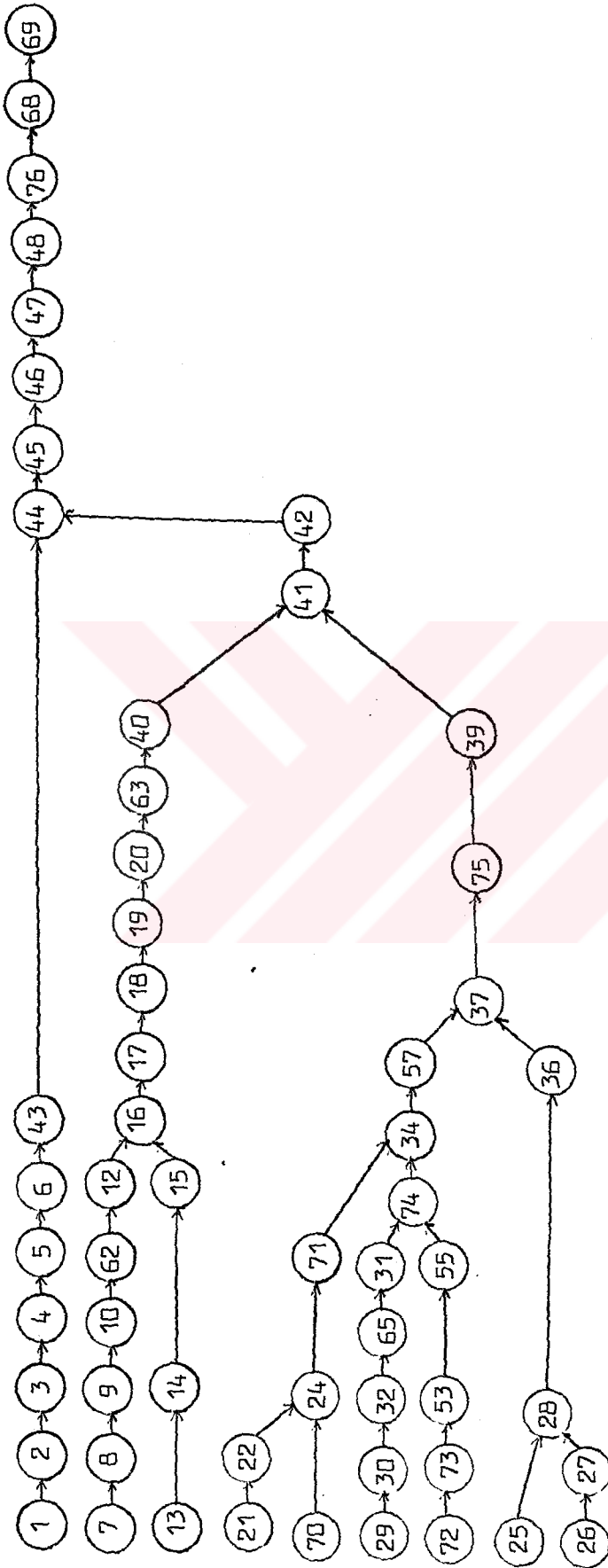
Şekil 7.1. 1. Modele İlişkin Üncelik Diyagramı



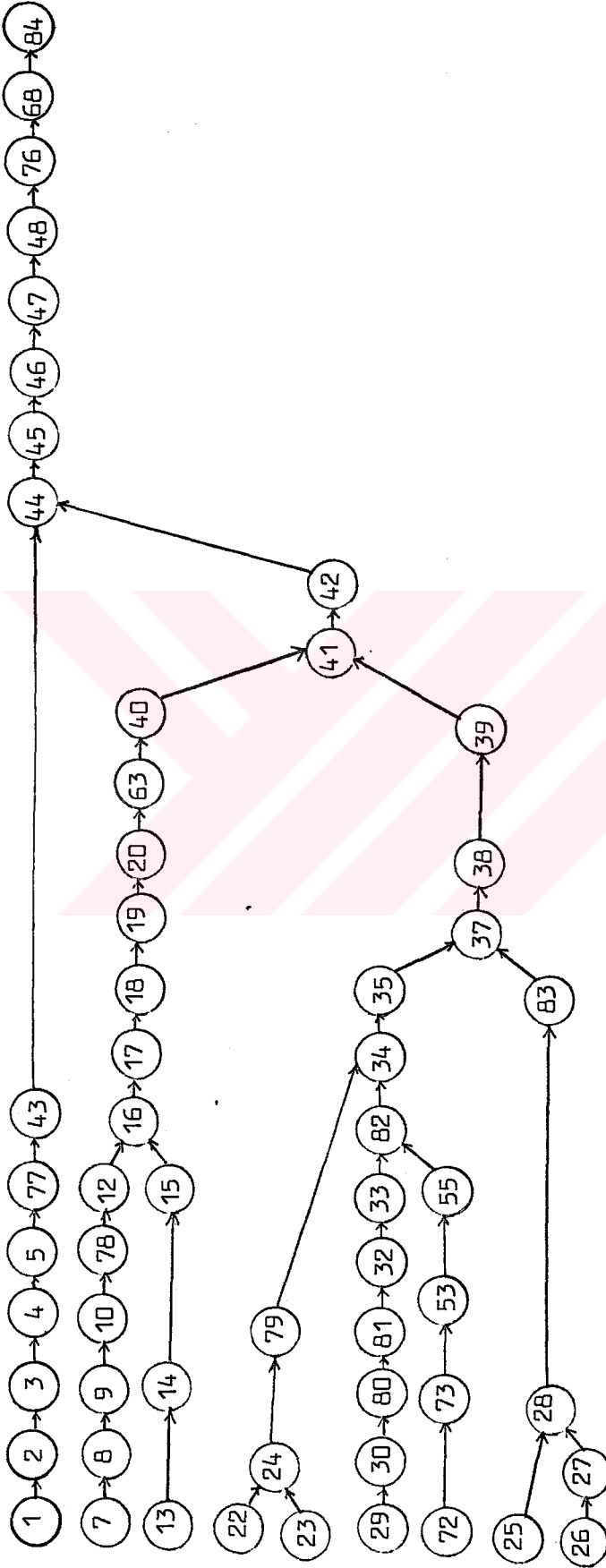
Şekil 7.2. 2. Modele ilişkin Üncelik Diyagramı



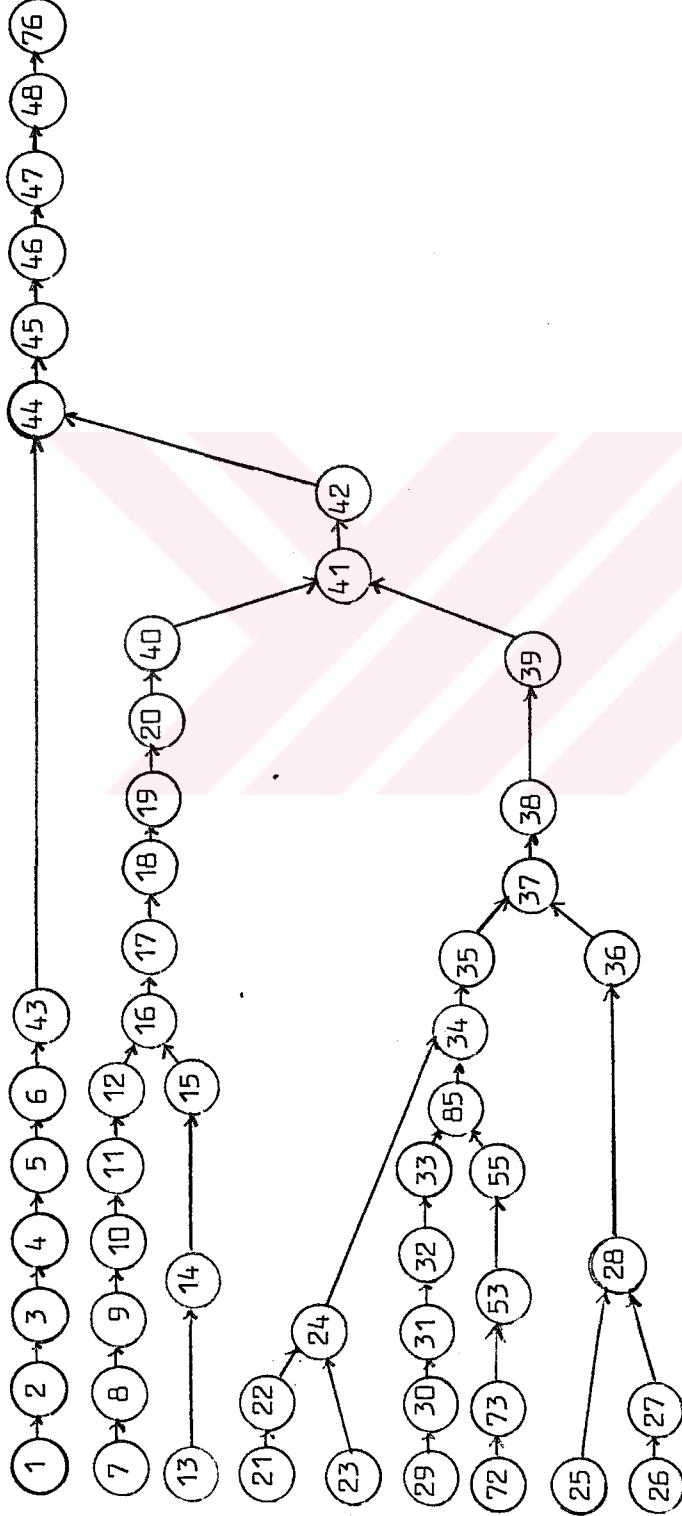
Şekil 7.3. 3. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı



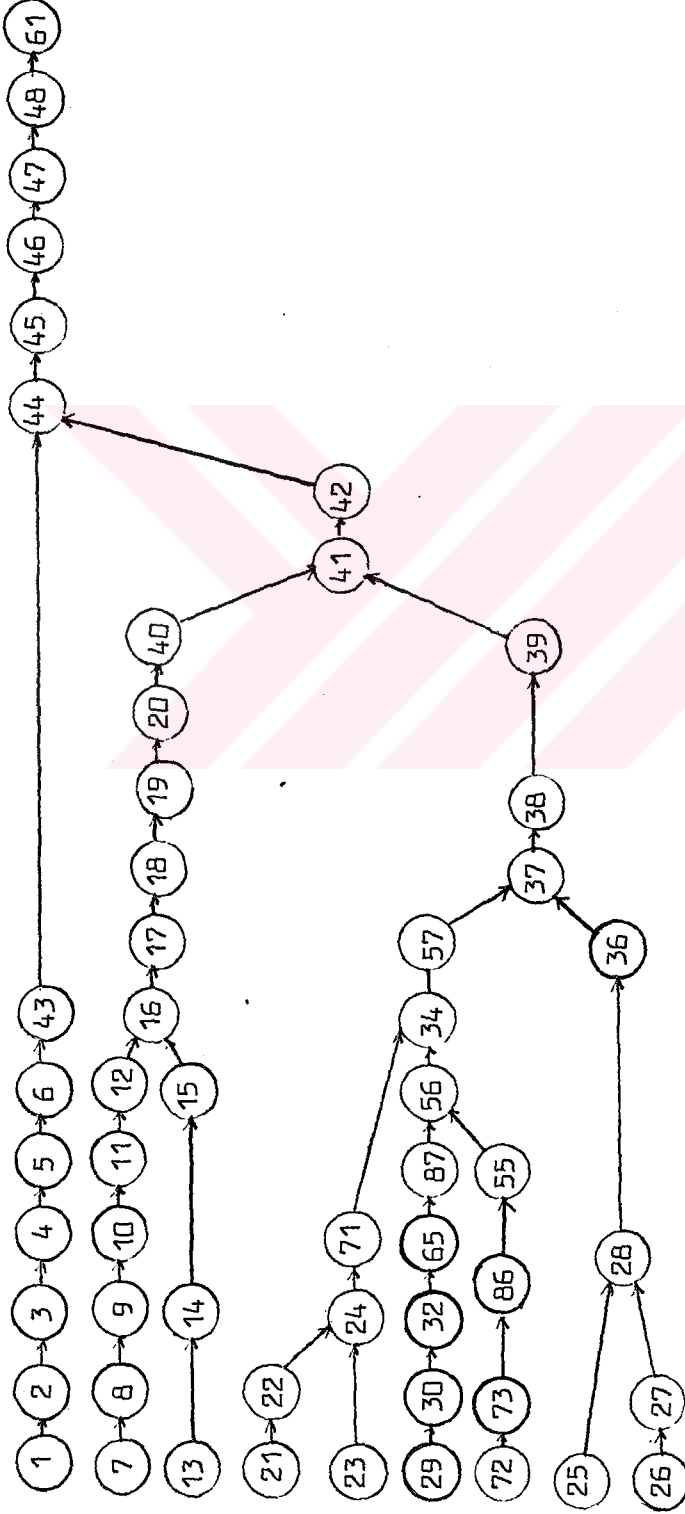
7.4. 4. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı



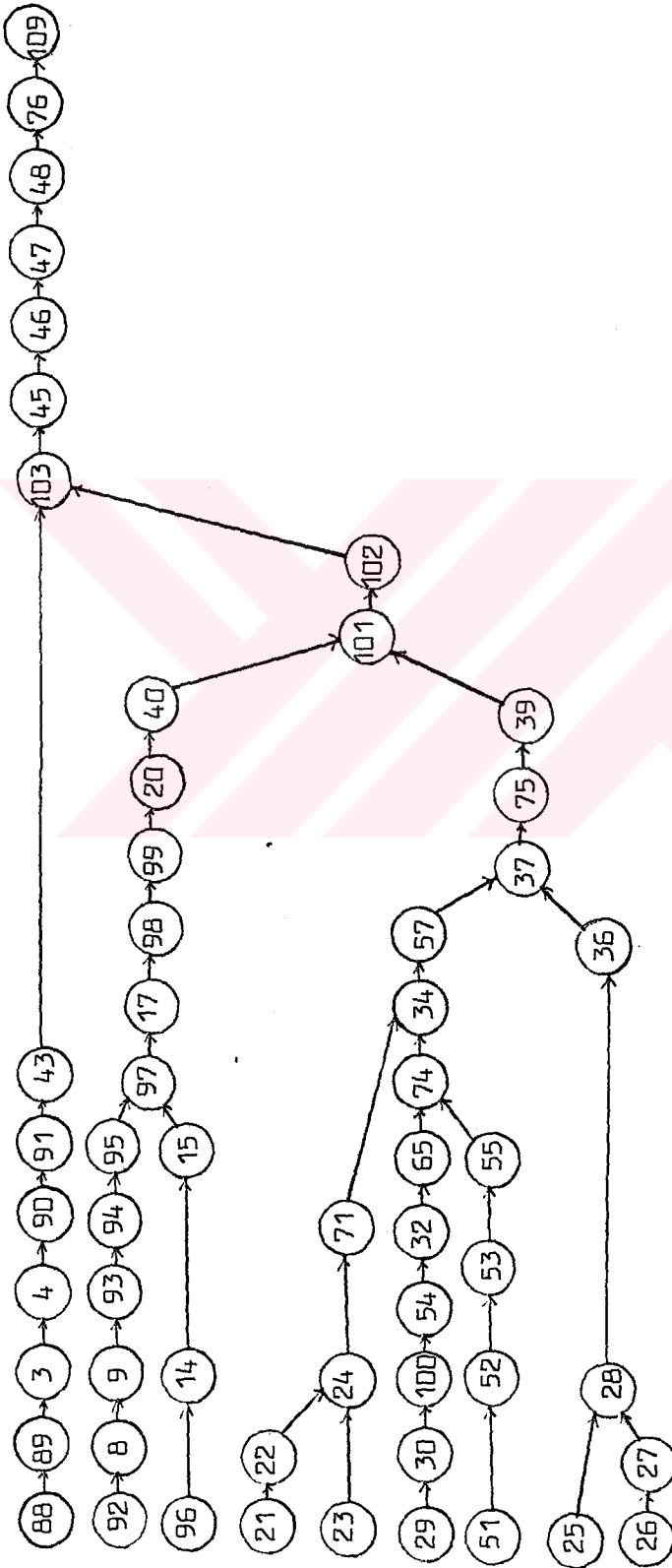
7.5. 5. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı



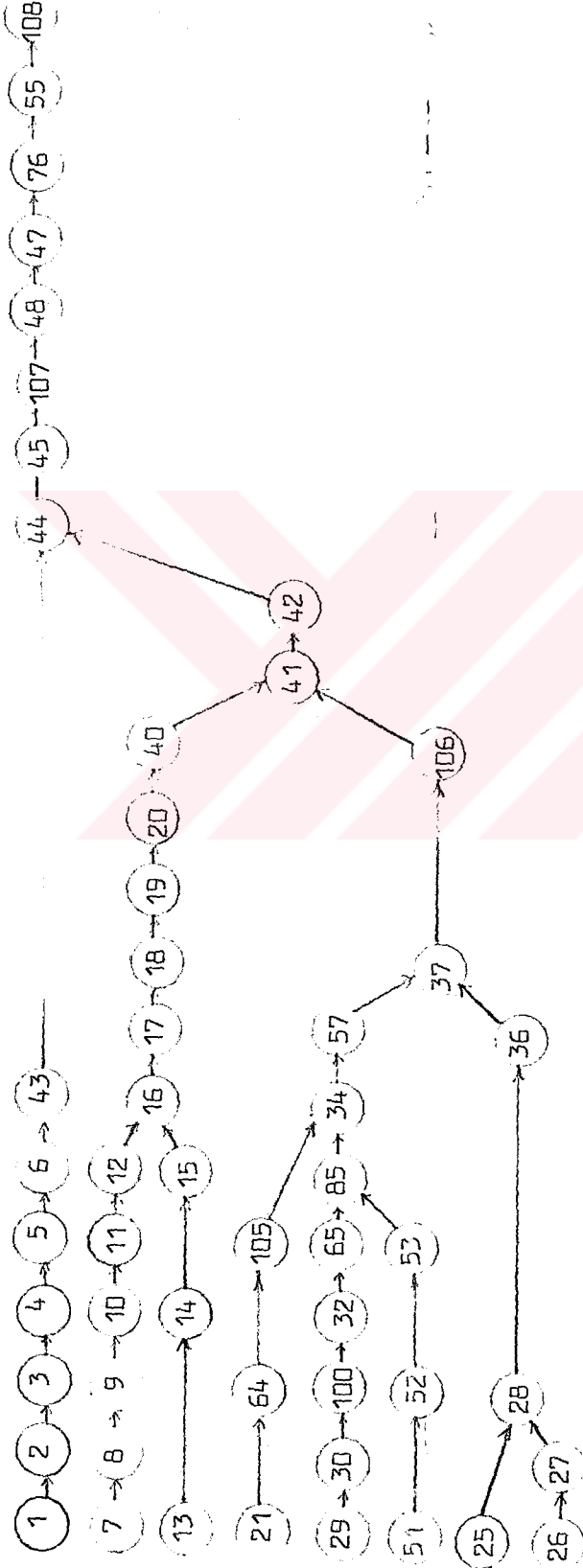
Şekil 7.6. 6. Modele İlişkin Üncelik Diyagramı



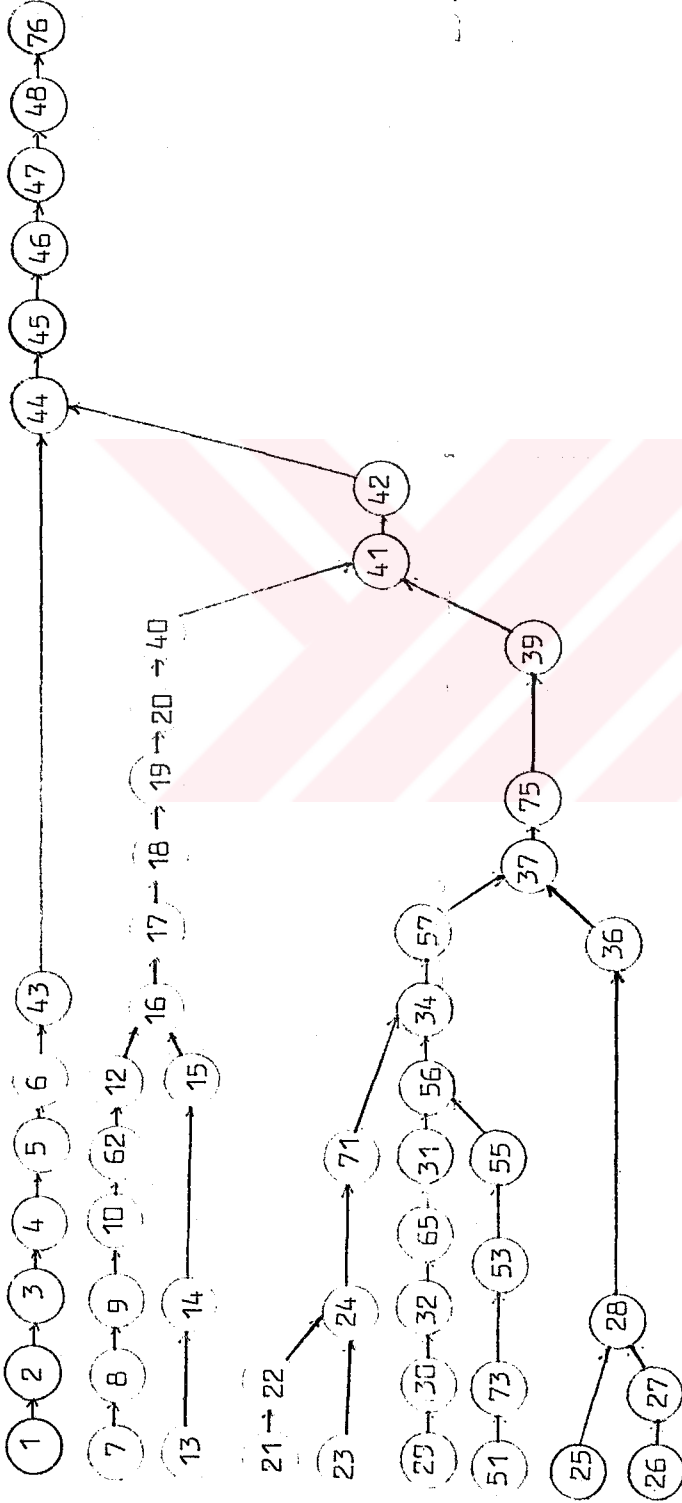
Şekil 7.7. 7. Modele İlişkin Öncelik Diyagramı



Şekil 7.8. 8. Modele İlişkin Üncelik Diyagramı



Şekil 7.9. 9. Modele ilişkin Öncelik Diyagramı



Şekil 7.10. 10. Modele ilişkin Öncelik Diyagramı

Tablo 7.3. 1. Modelin Dengeleme Çözümü

İstasyon No	Yapılacak işler	İstasyon Süresi
1	29-30-21	1.24
2	31-22-13	1.27
3	26-23-32	1.27
4	24-25-14	1.34
5	27-33-15-1	1.19
6	28	1.20
7	7-8-9	1.12
8	34-35	1.32
9	36-10-11	1.26
10	37-12	1.00
11	16	0.93
12	38-17	1.21
13	39	1.33
14	2-18-3	1.25
15	19-4-20-40	0.86
16	41	0.80
17	5-6	1.18
18	42	0.90
19	43	0.46
20	44	1.34
21	45-46-47-48	1.18
22	49	0.46

Tablo 7.4. 2. Modelin Dengeleme Çözümü

istasyon No	Yapılacak işler	istasyon Süresi
1	29-30-54	1.24
2	31-32	1.15
3	51-26-21-52	1.13
4	53-22-33	1.15
5	25-27-23-13	1.33
6	55-24-14-15	1.30
7	28	1.30
8	56-50-1	1.32
9	7-36	1.33
10	34-8-9-57	1.25
11	10-11-32	1.34
12	12-16	1.34
13	58-17	1.23
14	39	1.33
15	2-18-8	1.25
16	19-4-20-40	1.01
17	41	0.80
18	5-6	1.18
19	42	0.90
20	43	0.46
21	44	1.34
22	45-46-59	1.12
23	60-47-48-61	0.96

Tablo 7.5. 3. Modelin Dengeleme Çözümü

İstasyon No	Yapılacak işler	İstasyon Süresi
1	29-30-51	1.21
2	31-32-52	1.31
3	21-53-65-64	1.33
4	26-23-55-13-14	1.33
5	24-25-15	1.32
6	56-27	1.16
7	28	1.20
8	7-8-9	1.12
9	34-66	1.28
10	10-57-62-12	1.11
11	37-1	1.06
12	16	0.93
13	38-17	1.21
14	39	1.33
15	2-18-19	1.29
16	20-3-33-4-40	1.10
17	41	0.80
18	5-6	1.18
19	42	0.90
20	43	0.46
21	44	1.34
22	45-47-48-67	1.21
23	68-69-61	0.90

Tablo 7.6. 4. Modelin Dengeleme Çözümü

istasyon No	Yapılacak işler	istasyon Süresi
1	29-21-30	1.24
2	22-70-72	1.18
3	32-65-73	1.14
4	24-71-13	1.33
5	31-26-53	1.26
6	55-25-27-14	1.18
7	74-15-1	1.11
8	28	1.20
9	7-8-9	1.12
10	34-10	1.19
11	36-57-61-12	1.32
12	37	0.80
13	16	0.93
14	75-17	1.21
15	39	1.33
16	2-18-19	1.29
17	20-3-63-4-40	1.10
18	5-6	1.18
19	41-43	1.26
20	42	0.90
21	44	1.34
22	45-46-47-48	1.18
23	76-68-69	1.00

Tablo 7.7. 5. Modelin Dengeleme Çözümü

İstasyon No	Yapılacak işler	İstasyon Süresi
1	29-30-80	1.24
2	81-72-73	1.21
3	32-22-23	1.32
4	53-26-33-13	1.32
5	24-55-14-15	1.30
6	25-27-79	1.22
7	82-1	1.08
8	28	1.20
9	7-8-9	1.12
10	34-35	1.32
11	83-10-78	1.29
12	37-12	1.00
13	16	0.93
14	38-17	1.21
15	39	1.33
16	2-18-19	1.29
17	3-20-4-63-40	1.10
18	5-77	1.26
19	41-43	1.26
20	42	0.90
21	44	1.34
22	45-46-47-48	1.18
23	76-68-84	1.06

Tablo 7.8. 6. Modelin Dengeleme Çözümü

istasyon No	Yapılacak işler	istasyon Süresi
1	29-30-72	1.27
2	31-32-73	1.33
3	21-53-22-23	1.33
4	33-23-55-13	1.32
5	24-25-14	1.34
6	85-27-15	1.26
7	28	1.20
8	7-8-9	1.12
9	34-35	1.32
10	36-10-11	1.26
11	37-12-1	1.28
12	16	0.93
13	38-17	1.21
14	39	1.33
15	18-2+3	1.25
16	19-4+20-40	0.86
17	41	0.80
18	5-6	1.18
19	42	0.90
20	43	0.46
21	44	1.34
22	45-46-47-48	1.18
23	76	0.40

Tablo 7.9. 7. Modelin Dengeleme Çözümü

İstasyon No	Yapılacak işler	İstasyon Süresi
1	29-30-72	1.27
2	32-21-73-13	1.25
3	65-22-23-14	1.31
4	86-26-55-15	1.29
5	87-24	1.25
6	25-27-71	1.10
7	56-1	1.04
8	28	1.20
9	34-57	1.34
10	7-8-9-36	1.34
11	10-11-37	1.34
12	12-38	1.34
13	16	0.93
14	39	1.33
15	2-17-3	1.33
16	18-19-4-20-40	1.21
17	41	0.80
18	5-6	1.18
19	42	0.90
20	43	0.46
21	44	1.34
22	45-46-47-48	1.18
23	61	0.30

Tablo 7.10. 8. Modelin Dengeleme Çözümü

İstasyon No	Yapılacak işler	İstasyon Süresi
1	29-30-100	1.24
2	21-54-22-51	1.32
3	32-23-52-53	1.29
4	26-65-55-96	1.33
5	24-25-14	1.34
6	27-74-15	1.23
7	28	1.20
8	71-92-8	1.20
9	34-9	1.14
10	36-57-93	1.18
11	37-94-95	1.23
12	97-88	1.33
13	75-17	1.21
14	89-98	1.21
15	39	1.33
16	3-99-4-20-40	1.08
17	90	0.84
18	101	0.86
19	91-43	1.07
20	102	0.98
21	103	1.34
22	45-46-47-48	1.18
23	76-109	0.82

Tablo 7.11. 9. Modelin Dengeleme Çözümü

İstasyon No	Yapılacak işler	İstasyon Süresi
1	29-30-100	1.24
2	32-51-21-52	1.28
3	7-26-53	1.30
4	65-64-25	1.18
5	27-85	1.17
6	105-8-9	1.23
7	28	1.20
8	10-34	1.19
9	11-13-14-12-15	1.11
10	36-57-1	1.08
11	16	0.93
12	37-17	1.23
13	2-18-3	1.25
14	106-19-20	1.25
15	4-40-41	1.34
16	5-6	1.18
17	42	0.90
18	43	0.46
19	44	1.34
20	45-107-48-47	1.10
21	76-55-108	1.04

Tablo 7.12. 10. Modelin Dengeleme Çözümü

İstasyon No	Yapılacak işler	İstasyon Süresi
1	29-30-21	1.24
2	32-65-51	1.23
3	22-73-23-53	1.21
4	31-26-55	1.26
5	24-25	1.21
6	27-56	1.16
7	28	1.20
8	71-34	1.20
9	7-8-9-13	1.34
10	36-57-10-14	1.25
11	37-62-12	1.30
12	15-16-1	1.30
13	75-17	1.21
14	39	1.33
15	2-18-3	1.25
16	19-4-20-40	0.86
17	41	0.80
18	5-6	1.18
19	42	0.90
20	43	0.46
21	44	1.34
22	45-46-47-48	1.18
23	76	0.40

Tablo 7.13. Probleme ilişkin Birikimli işlem Süreleri
(Model 1,2,3 ve 4 için)

Model 1'in iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 2'nin iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 3'ün iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 4'ün iş Sırası	Birik. işlem Süresi
29	0.47	29	0.47	29	0.47	29	0.47
30	0.94	30	0.94	30	0.94	21	0.77
21	1.24	54	1.24	51	1.21	30	1.24
31	1.84	31	1.84	31	1.81	22	1.69
22	2.29	32	2.39	32	2.36	70	2.09
13	2.51	51	2.66	52	2.52	72	2.42
26	2.91	26	3.06	21	2.82	32	2.97
23	3.23	21	3.36	53	3.08	65	3.38
32	3.78	52	3.52	65	3.49	73	3.56
24	4.58	53	3.78	64	3.85	24	4.36
25	4.99	22	4.23	26	4.25	71	4.67
14	5.12	33	4.67	23	4.57	13	4.89
27	5.50	25	5.08	55	4.83	31	5.49
33	5.94	27	5.46	13	5.05	26	5.89
15	6.05	23	5.78	14	5.18	53	6.15
1	6.31	13	6.00	24	5.98	55	6.41
28	7.51	55	6.26	25	6.39	25	6.82
7	8.15	24	7.06	15	6.50	27	7.20
8	8.38	14	7.19	56	7.28	14	7.33
9	8.63	15	7.30	27	7.66	74	8.07
34	9.52	28	8.50	28	8.86	15	8.18
35	9.95	56	9.28	7	9.50	1	8.44
36	10.46	50	9.56	8	9.73	28	9.64
10	10.76	1	9.82	9	9.98	7	10.28

Tablo 7.13. (Devamı)

Model 1'in iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 2'nin iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 3'ün iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 4'ün iş Sırası	Birik. işlem Süresi
11	11.21	7	10.46	34	10.87	8	10.51
37	12.01	36	10.97	66	11.26	9	10.76
12	12.21	34	11.86	10	11.56	34	11.65
16	13.14	8	12.09	57	11.87	10	11.95
38	13.92	9	12.34	62	12.17	36	12.46
17	14.35	57	12.65	12	12.37	57	12.77
39	15.68	10	12.95	37	13.17	62	13.07
2	16.42	11	13.40	1	13.43	12	13.27
18	16.77	37	14.20	16	14.36	37	14.07
3	16.93	12	14.40	38	15.14	16	15.00
19	17.13	16	15.33	17	15.57	75	15.78
4	17.53	58	16.13	39	16.90	17	16.21
20	17.65	17	16.56	2	17.64	39	17.54
40	17.79	39	17.89	18	17.99	2	18.28
41	18.59	2	18.63	19	18.19	18	18.63
5	19.23	18	18.98	20	18.31	19	18.83
6	19.77	3	19.14	3	18.47	20	18.95
42	20.67	19	19.34	63	18.75	3	19.11
43	21.13	4	19.74	4	19.15	63	19.39
44	22.47	20	19.86	40	19.29	4	19.79
45	22.81	40	20.00	41	20.09	40	19.93
46	23.29	41	20.80	5	20.73	5	20.57
47	23.45	5	21.44	6	21.27	6	21.11
48	23.65	6	21.93	42	22.17	41	21.91

Tablo 7.13. (Devamı)

Model 1'in iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 2'nin iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 3'ün iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 4'ün iş Sırası	Birik. işlem Süresi
49	24.11	42	22.88	43	22.63	43	22.37
		43	23.34	44	23.97	42	23.27
		44	24.68	45	24.31	44	24.61
		45	25.03	47	24.47	45	24.95
		46	25.50	48	24.67	46	25.43
		59	25.80	67	25.18	47	25.59
		60	26.10	68	25.48	48	25.79
		47	26.26	69	25.78	76	26.19
		48	26.46	61	26.08	68	26.49
		61	26.76			69	26.79

Tablo 7.14. Probleme ilişkin Birikimli işlem Süreleri
(Model 5,6,7 ve 8 için)

Model 5'in iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 6'nın iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 7'nin iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 8'in iş Sırası	Birik. işlem Süresi
29	0.47	29	0.47	29	0.47	29	0.47
30	0.94	30	0.94	30	0.94	30	0.94
80	1.24	72	1.27	72	1.27	100	1.24
81	1.94	31	1.87	32	1.82	21	1.54
72	2.27	32	2.42	21	2.12	54	1.84
73	2.45	73	2.60	73	2.30	22	2.29
32	3.00	21	2.90	13	2.52	51	2.56
21	3.45	53	3.16	65	2.93	32	3.11
23	3.77	22	3.61	22	3.38	23	3.43
53	4.03	23	3.93	23	3.70	52	3.59
26	4.43	33	4.37	14	3.83	53	3.85
33	4.87	26	4.77	86	4.35	26	4.25
13	5.09	55	5.03	26	4.75	65	4.66
24	5.89	13	5.25	55	5.01	55	4.92
55	6.15	24	6.05	15	5.12	96	5.18
14	6.28	25	6.46	87	5.57	24	5.98
15	6.39	14	6.59	24	6.37	25	6.39
25	6.80	85	7.38	25	6.78	14	6.52
27	7.18	27	7.76	27	7.16	27	6.90
79	7.61	15	7.87	71	7.47	74	7.64
82	8.43	28	9.07	56	8.25	15	7.75
1	8.69	7	9.71	1	8.51	28	8.95
28	9.89	8	9.94	28	9.71	71	9.26
7	10.53	9	10.19	34	10.60	92	9.92

Tablo 7.14. (Devamı)

Model 5'in iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 6'nın iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 7'nin iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 8'in iş Sırası	Birik. işlem Süresi
8	10.76	34	11.08	57	10.91	8	10.15
9	11.01	35	11.51	7	11.55	34	11.04
34	11.90	36	12.02	8	11.78	9	11.29
35	12.33	10	12.32	9	12.03	36	11.80
83	12.94	11	12.77	36	12.54	57	12.11
10	13.24	37	13.57	10	12.84	93	12.47
78	13.62	12	13.77	11	13.29	37	13.27
37	14.42	1	14.03	37	14.09	94	13.60
12	14.62	16	14.96	12	14.29	95	13.70
16	15.55	38	15.74	38	15.07	97	14.73
38	16.33	17	16.17	16	16.00	88	15.03
17	16.76	39	17.50	39	17.33	75	15.81
39	18.09	18	17.85	2	18.07	17	16.24
2	18.83	2	18.59	17	18.50	89	17.07
18	19.18	3	18.75	3	18.66	98	17.45
19	19.38	19	18.95	18	19.01	39	18.78
3	19.54	4	19.35	19	19.21	3	18.94
20	19.66	20	19.47	4	19.61	99	19.20
4	20.06	40	19.61	20	19.73	4	19.60
63	20.34	41	20.41	40	19.87	20	19.72
40	20.48	5	21.05	41	20.67	40	19.86
5	21.12	6	21.59	5	21.31	90	20.70
77	21.74	42	22.49	6	21.85	101	21.56
41	22.54	43	22.95	42	22.75	91	22.17

Tablo 7.14. (Devamı)

Model 5'in iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 6'nın iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 7'nin iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 8'in iş Sırası	Birik. işlem Süresi
43	23.00	44	24.29	43	23.21	43	22.63
42	23.90	45	24.63	44	24.55	102	23.61
44	25.24	46	25.11	45	24.89	103	24.95
45	25.58	47	25.27	46	25.37	45	25.29
46	26.06	48	25.47	47	25.53	46	25.77
47	26.22	76	25.87	48	25.73	47	25.93
48	26.42			61	26.03	48	26.13
76	26.82					76	26.53
68	27.12					109	26.95
84	27.48						

Tablo 7.15. Probleme ilişkin Birikimli işlem Süreleri
(Model 9 ve 10 için)

Model 9'un iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 10'un iş Sırası	Birik. işlem Süresi
29	0.47	29	0.47
30	0.94	30	0.94
100	1.24	21	1.24
32	1.79	32	1.79
51	2.06	65	2.20
21	2.36	51	2.47
52	2.52	22	2.92
7	3.16	73	3.10
26	3.56	23	3.42
53	3.82	53	3.68
65	4.23	31	4.28
64	4.59	26	4.68
25	5.00	55	4.94
27	5.38	24	5.74
85	6.17	25	6.15
105	6.92	27	6.53
8	7.15	56	7.31
9	7.40	28	8.51
28	8.60	71	8.82
10	8.90	34	9.71
34	9.79	7	10.35
11	10.24	8	10.58
13	10.46	9	10.83
14	10.59	13	11.05

Tablo 7.15. (Devamı)

Model 9'un iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 10'un iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 9'un iş Sırası	Birik. işlem Süresi	Model 10'un iş Sırası	Birik. işlem Süresi
12	10.79	36	11.56	48	22.80	43	22.89
15	10.90	57	11.87	47	22.96	44	24.23
36	11.41	10	12.17	76	23.36	45	24.57
57	11.72	14	12.30	55	23.62	46	25.05
1	11.98	37	13.10	108	24.00	47	25.21
16	12.91	62	13.40			47	25.41
37	13.71	12	13.60			76	25.81
17	14.14	15	13.71				
2	14.88	16	14.64				
18	15.23	1	14.90				
3	15.39	75	15.68				
106	16.32	17	16.11				
19	16.52	39	17.44				
20	16.64	2	18.18				
4	17.04	18	18.53				
40	17.18	3	18.69				
41	17.98	19	18.89				
5	18.62	4	19.29				
6	19.16	20	19.41				
42	20.06	40	19.55				
43	20.52	41	20.35				
44	21.86	5	20.99				
45	22.20	6	21.53				
107	22.60	42	22.43				

sayısı seçeneği için modellerin çevrim sürelerini hesaplayalım. Bunun için önce her modelin standart yapılma sürelerini bulmak gerekir. Her modelin standart süresi, o modeli üretmek için yapılması gerekli tüm işlerin standart süreleri toplamıdır. Dolayısıyla modeller için standart süreler şöyle bulunur :

1. model : 24,11 dk.
2. model : 26,76 dk.
3. model : 26,08 dk.
4. model : 26,79 dk.
5. model : 27,48 dk.
6. model : 25,87 dk.
7. model : 26,03 dk.
8. model : 26,95 dk.
9. model : 24,00 dk.
10. model : 25,81 dk.

Şimdi istasyon sayısı seçenekleri için çevrim sürelerini bulalım. Her istasyon sayısı için modellere göre çevrim süresi, o modellerin standart sürelerinin, istasyon sayısına oranıdır. Buna göre 21 istasyon sayısı seçeneği için modellerin çevrim süreleri :

1. model : 1,15 dk.
2. model : 1,27 dk.
3. model : 1,24 dk.
4. model : 1,28 dk.
5. model : 1,31 dk.
6. model : 1,23 dk.
7. model : 1,24 dk.
8. model : 1,28 dk.
9. model : 1,14 dk.
10. model : 1,23 dk.

22 istasyon sayısı seçeneği için modellerin çevrim süreleri :

1. model : 1,10 dk.
2. model : 1,22 dk.
3. model : 1,19 dk.

4. model : 1,22 dk.
5. model : 1,25 dk.
6. model : 1,18 dk.
7. model : 1,18 dk.
8. model : 1,23 dk.
9. model : 1,09 dk.
10. model : 1,17 dk.

23 istasyon sayısı seçeneği için modellerin çevrim süreleri :

1. model : 1,05 dk.
2. model : 1,16 dk.
3. model : 1,13 dk.
4. model : 1,16 dk.
5. model : 1,19 dk.
6. model : 1,12 dk.
7. model : 1,13 dk.
8. model : 1,17 dk.
9. model : 1,04 dk.
10. model : 1,12 dk.

Şimdi yeniden dengeleme işlemine geçebiliriz. Burada her istasyon sayısı seçeneği için, 1. istasyondan başlayarak istasyonları, çevrim sürelerini ençok % 25 oranında aşacak şekilde işlem özgüllemeleriyle düzenliyoruz. Zorunlu durumlarda aşma oluyor. Bu yeni dengeleme durumu için her istasyonda modeller bazında yapılabilecek işleri birleştiriyor, genel olarak o istasyonda yapılabilecek işleri buluyoruz.

21, 22 ve 23 istasyon durumları için yeniden dengeleme çalışması sonucunda genel olarak istasyonlarda yapılabilecek işler, sırasıyla Tablo 7.16, Tablo 7.17 ve Tablo 7.18'de verilmiştir.

7.5. SON DENGELEME ÇALIŞMALARI

Şimdi yapılacak iş, her istasyonda genel olarak yapılabilecek işleri, modeller bazında ve teknolojik öncelik diyagramları gözönüne

Tablo 7.16. 21 istasyonlu Durum için Yeniden Dengeleme
Sonucunda istasyonlarda Yapılabilecek işler

istasyon No	Yapılabilecek işler
1	21-29-30-51-54-72-80-100
2	13-21-22-31-32-51-52-54-65-70-72-73-81
3	7-14-21-22-23-26-32-52-53-64-65-73
4	13-15-23-24-25-26-27-31-33-53-55-64-65-71- 86-96
5	1-13-14-15-24-25-26-27-31-33-53-55-85-87
6	8-9-14-15-27-28-56-71-74-79-85-105
7	1-7-8-9-15-28-50-56-71-74-82
8	7-8-9-10-28-34-35-36-92
9	7-8-9-10-11-12-13-14-15-34-35-36-57-66
10	1-7-8-9-10-11-12-14-34-35-36-37-57-93
11	1-10-11-12-15-16-36-37-57-62-78-83-94-95
12	1-12-16-17-37-38-75-88-97
13	2-3-16-17-18-38-39-58-75
14	2-3-16-17-18-19-20-38-39-75-89-98-106
15	2-3-4-18-19-20-39-40-41
16	2-3-4-5-6-17-18-19-20-40-41-63-99
17	3-4-5-6-18-19-20-40-41-42-43-63-77-90
18	5-6-41-42-43-44-91-101
19	6-42-43-44-45-46-47-48-102-107
20	43-44-45-46-47-48-49-55-59-60-76-103-108
21	45-46-47-48-61-67-68-69-76-84-109

Tablo 7.17. 22 istasyonlu Durum için Yeniden Dengeleme
Sonucunda istasyonlarda Yapılabilecek işler

İstasyon No	Yapılabilecek işler
1	21-29-30-51-54-72-80-100
2	13-21-22-31-32-51-52-54-65-70-72-73-81
3	7-21-22-23-26-32-52-53-64-65-73
4	13-14-22-23-24-25-26-31-33-53-55-64-65-71 86-96
5	1-13-14-15-23-24-25-26-27-31-33-53-55-87
6	14-15-24-25-27-28-55-56-71-74-79-85
7	1-7-8-9-15-28-56-71-74-82-105
8	1-7-8-9-28-34-35-50-56-71-92
9	7-8-9-10-11-13-34-35-36-57-66
10	7-8-9-10-11-12-13-14-15-34-35-36-37-57-62 93
11	1-10-11-12-16-36-37-57-62-78-83-94-95
12	1-12-15-16-17-37-38-88-97
13	16-17-37-38-39-75
14	2-3-16-17-18-38-39-58-75-89-98
15	2-3-4-18-19-20-39-40-106
16	2-3-4-17-18-19-20-40-63-99
17	3-4-5-6-18-19-20-40-41-63-90
18	5-6-40-41-42-43-77-91-101
19	5-6-41-42-43-44-102
20	42-43-44-45-46-47-48-103
21	44-45-46-47-48-49-67-107
22	47-48-55-59-60-61-68-69-76-84-108-109

Tablo 7.18. 23 istasyonlu Durum için Yeniden Dengeleme Sonucunda istasyonlarda Yapılabilecek işler

istasyon No	Yapılabilecek işler
1	21-29-30-51-54-72-80-100
2	13-21-22-31-32-51-54-65-70-72-73-81
3	7-13-21-22-23-26-32-52-53-65-73
4	13-14-22-23-24-25-26-31-32-33-53-55-64-65-71-86-96
5	13-14-15-23-24-25-26-27-31-53-55-87
6	14-15-24-25-27-33-55-56-71-74-79-85
7	1-8-9-15-27-28-56-74-82-105
8	1-8-28-34-50-56-71-92
9	7-8-9-10-34-36-57
10	7-8-9-10-11-12-13-14-15-34-35-36-57-66-93
11	1-10-11-12-14-36-37-57-62-78-83-94-95
12	1-12-15-16-37-88-97-98
13	1-16-17-37-38-75
14	2-16-17-18-38-58-75-89-98
15	3-39-106
16	2-3-4-17-18-19-20-40-41-99
17	3-4-18-19-20-40-41-63-90
18	5-6-20-40-41-77-101
19	5-6-41-42-43-91
20	42-43-102
21	43-44-103
22	44-45-46-47-48-59-60-67-107
23	45-46-47-48-49-55-61-68-69-76-84-108-109

alınarak istasyonlara yeniden dağıtmak ve böylece yapılabilecek işler sıralaması elde etmektir. Bu arada her bir modelin başlangıçtaki çevrim süresi gözönüne alınarak, her istasyonun kaç paralel istasyondan oluşabileceği de hesaplanacaktır.

21,22 ve 23 istasyon seçenekleri için son dengeleme çalışmaları sonunda her istasyonda genel olarak yapılabileceği bulunan iş listeleri, sırasıyla Tablo 7.19, 7.20. ve 7.21'de verilmiştir.

7.6. ORTALAMA DENGİ KAYIPLARI

3 ayrı istasyon sayısı seçeneği için son dengeleme işlemi yapıldıktan sonra, bu seçeneklerdeki her istasyonun, -çevrim süresi dikkate alınarak- kaç paralel istasyondan oluşacağını hesaplarsak şu sonuçları elde ederiz :

21 istasyonlu durum için :

1. model : Toplam 25
2. model : Toplam 30
3. model : Toplam 30
4. model : Toplam 31
5. model : Toplam 30
6. model : Toplam 27
7. model : Toplam 28
8. model : Toplam 30
9. model : Toplam 26
10. model : Toplam 28

22 istasyonlu durum için

1. model : Toplam 25
2. model : Toplam 29
3. model : Toplam 29
4. model : Toplam 29
5. model : Toplam 29
6. model : Toplam 27

Tablo 7.19. 21 istasyonlu Durum için Son Dengeleme
Sonucunda istasyonlarda Yapılabilecek işler

istasyon No	Yapılabilecek işler
1	21-29-30-51-54-72-80-100
2	13-22-31-32-52-65-70-73-81
3	7-14-23-26-52-53-64-65
4	15-24-25-27-31-33-53-55-64-71-86-96
5	1-14-15-24-25-27-85-87
6	8-9-56-74-79-85-105
7	50-82
8	10-34-35-36-92
9	8-9-11-12-36-57-66
10	37-93
11	12-16-37-62-78-83-94-95
12	17-38-75-88-97
13	2-3-17-18-39-58-75
14	3-19-20-89-98-106
15	4-40-41
16	5-6-20-40-41-63-99
17	40-41-42-43-77-90
18	43-44-91-101
19	45-46-47-48-102-107
20	45-46-47-48-49-55-59-60-76-103-108
21	47-48-61-67-68-69-84-109

Tablo 7.20. 22 istasyonlu Durum için Son Dengeleme
Sonucunda istasyonlarda Yapılabilecek işler

istasyon No	Yapılabilecek işler
1	21-29-30-51-54-72-80-100
2	13-22-31-32-52-65-70-73-81
3	7-23-26-32-53-64
4	14-24-25-31-33-55-64-71-86-96
5	1-15-27-31-87
6	28-56-74-79-85
7	8-9-82-105
8	8-9-34-35-50-92
9	10-11-36-57-66
10	12-37-62-93
11	12-16-37-78-83-94-95
12	17-38-88-97
13	39-75
14	2-3-18-38-39-58-89-98
15	4-19-20-40-106
16	20-40-63-99
17	5-6-41-90
18	42-43-77-91-101
19	44-102
20	45-46-47-48-103
21	47-48-49-67-107
22	47-48-55-59-60-61-68-69-76-84-108-109

Tablo 7.21. 23 istasyonlu Durum için Son Dengeleme
Sonucunda istasyonlarda Yapılabilecek işler

İstasyon No	Yapılabilecek işler
1	21-29-30-51-54-72-80-100
2	13-22-31-32-65-70-73-81
3	7-23-26-52-53
4	14-24-25-31-33-53-55-64-71-86-96
5	15-27-87
6	56-74-79-85
7	1-8-9-28-82-105
8	8-34-50-92
9	9-10-34-36-57
10	11-12-35-57-66-93
11	12-37-62-78-83-94-95
12	16-37-88-97
13	17-38-75
14	2-17-18-58-89-98
15	3-39-106
16	4-19-20-40-41-99
17	40-41-63-90
18	5-6-77-101
19	42-43-91
20	102
21	44-103
22	45-46-47-48-59-60-67-107
23	49-55-61-68-69-76-84-108-109

- 7. model : Toplam 28
- 8. model : Toplam 30
- 9. model : Toplam 27
- 10. model : Toplam 28

23 istasyonlu durum için

- 1. model : Toplam 27
- 2. model : Toplam 32
- 3. model : Toplam 31
- 4. model : Toplam 28
- 5. model : Toplam 31
- 6. model : Toplam 29
- 7. model : Toplam 29
- 8. model : Toplam 28
- 9. model : Toplam 27
- 10. model : Toplam 28

Her bir istasyon sayısı seçeneği için, her modeldeki denge kayıpları hesaplanıp, bunların toplamaları 10'a bölünerek, 3 ayrı durumun ortalama denge kaybı bulunursa şu sonuçları elde ederiz :

- 1. seçenek : % 31.81
- 2. seçenek : % 30.93
- 3. seçenek : % 33.02

7.7. TOPLAM MALİYETLERİN BULUNMASI

Başlangıçtaki varsayımımıza göre, aynı istasyonda yapılabilecek işler aynı olup, süreleri farklı ise bunların tümünün mâliyeti, bir tanesinin mâliyetine eşit olarak alınacaktır.

Buna göre 21, 22 ve 23 istasyon durumları için toplam istasyon mâliyetleri sırasıyla Tablo 7.22, 7.23 ve 7.24'de gösterildiği gibidir ve bu tablolarda gösterilen değerler toplanınca her istasyon sayısı seçeneğinin toplam işlem mâliyetleri elde edilir.

Tablo 7.22. 21 istasyon Seçeneği için Toplam Maliyetler

istasyon Numarası	Toplam Maliyet	istasyon Numarası	Toplam Maliyet	istasyon Numarası	Toplam Maliyet
1	173	8	217	15	106
2	264	9	151	16	208
3	237	10	103	17	256
4	339	11	283	18	225
5	219	12	256	19	184
6	171	13	252	20	344
7	100	14	204	21	201

Tablo 7.23. 22 istasyon Seçeneği için Toplam Maliyetler

istasyon Numarası	Toplam Maliyet	istasyon Numarası	Toplam Maliyet	istasyon Numarası	Toplam Maliyet
1	173	8	211	15	160
2	264	9	120	16	73
3	167	10	354	17	135
4	282	11	283	18	386
5	142	12	206	19	179
6	90	13	143	20	195
7	169	14	253	21	118
				22	254

Tablo 7.24. 23 istasyon Seçeneği için Toplam Maliyetler

istasyon Numarası	Toplam Maliyet	istasyon Numarası	Toplam Maliyet	istasyon Numarası	Toplam Maliyet
1	173	9	183	17	131
2	248	10	165	18	172
3	125	11	201	19	149
4	310	12	183	20	84
5	79	13	151	21	95
6	82	14	144	22	155
7	279	15	190	23	178
8	168	16	208		

Buna göre 21 istasyon seçeneğinin toplam mâliyeti 4493, 22 istasyon seçeneğinin toplam mâliyeti 4357, 23 istasyon seçeneğinin toplam mâliyeti 3847'dir.

7.8. KARAR VERİCİYE SUNUŞ

Tüm aşamalar bitmiştir. Her istasyon sayısı seçeneğinin ortalama denge kaybı ve toplam mâliyeti bulunmuştur. Bu sonuçlar, karar vericiye sunulacaktır. Tablo 7.25.'te ilgili küme sunulmuştur.

Tablo 7.25. Karar Vericiye Sunulan Çözüm Kümesi

Seçenekler	Ortalama Denge Kaybı	Toplam Maliyet
21 istasyon	% 31.81	4493
22 istasyon	% 30.93	4357
23 istasyon	% 33.02	3847

7.9. SONUÇ

Tablo 7.25 incelendiğinde 21 istasyonlu seçeneğin 22 istasyonlu seçeneğe göre hem denge kaybı hem de toplam mâliyet açısından daha kötü sonuç verdiği görülmektedir. Dolayısıyla 21 istasyonlu seçeneğin elenerek karar vericiye uygun olanı seçmesi için yalnızca 22 ve 23 istasyonlu seçeneklerin sunulması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] ACAR, Nesime ; EŞTAŞ, Semra, "Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Plânlama ve Kontrol Çalışmaları", Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, No: 309, Ankara, 2. Basım, 1986.
- [2] AGRAWALI, P.K., "The Related Activity Concept In Assembly Line Balancing", International Journal of Production Research C. 23, N. 2, S. 403-421, 1985.
- [3] ARCUS, A., "An Analysis of A Computer Methods of Sequencing Assembly Line Operation", Ph.D.Thesis, California, 1963.
- [4] BARD, Jonathan, "Assembly Line Balancing With Parallel Workstations and Dead Time", C. 27, N. 6, S. 1005-1018, 1989.
- [5] BASKAK, Murat, "Montaj Hatlarının Dengelenmesi", Endüstri Mühendisliği Projesi, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Kütüphanesi, 1988.
- [6] BAYBARS, İlker, "An Efficient Heuristic Method For The Simple Assembly Line Balancing Problem", International Journal of Production Research, C. 24, S. 149, 1986.
- [7] BOUCHER, Thomas D., "Choice of Assembly Line Design Under Task Learning", International Journal of Production Research C. 25, N. 4, S. 513-521, 1987.
- [8] BOWMAN, E.H., "Assembly Line Balancing By Linear Programming", Operations Research, C. 8, N. 3, S. 385-389, 1960.
- [9] BURNS, Lawrence D.; DAGANZA, Carlos F., "Assembly Line Job Sequencing Principles", International Journal of Production Research, C. 25, N. 1, S. 71-98, 1987.
- [10] CARLSON, J.G., "Production Standards For Small Lot Manufacturing", Journal of Industrial Engineering, C. 13, S. 496-502, 1962.
- [11] DECKRO, Richard F., "Balancing Cycle Time and Workstations", IIE Transactions, C. 21, N. 2, S. 106-111, 1989.
- [12] De JONG, J.R., "The Effects of Increasing Skill On Cycle Time and Its Consequences For Time Standads", Ergonomics, C. 1, S. 51-60, 1957.
- [13] DONATH, Markus; GRAVES, Robert J., "Flexible Assembly Systems: Test Results For an Approach For Near Real-Time Scheduling and Routing of Multiple Products", International Journal of Production Research, C. 27, N. 2, S. 215-227, 1989.

- [14] DRISCOLL, J.; ABDEL-SHAFI, A.A.A., "A Simulation Approach to Evaluating Assembly Line Balancing Solutions", International Journal of Production Research, C. 23, N. 5, S. 975-985, 1985.
- [15] EL-SAYED, E.A. ; BOUCHER, Thomas, D., "Analysis and Control of Production Systems", Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1985.
- [16] GUTJAHR, A. ; NEMHAVSER, G., "An Algorithm For The Line Balancing Problem", Management Science, C. 11, N. 2, S. 308-313, 1964.
- [17] HELGESON, W.P. ; BIRNIE, D.P., "Assembly Line Balancing Using The Ranked Positional Weight Technique", Journal of Industrial Engineering, C. 21, N. 6, S. 394-398, 1961.
- [18] HOFFMAN, T.R., "Assembly Line Balancing With A Precedence Matrix", Management Science, C. 9, N. 4, S. 551-563.
- [19] JACKSON, J.R., "A Computing Procedure For A Line Balancing Problem", Management Science, C. 2, N. 3, S. 261-271, 1956.
- [20] KARP, R.M. ; HELL, M. ; SHARESIAN, R., "Assembly Line Balancing -Dynamic Programming With Precedence Constraints", Operations Research, C. 11, S. 442, 1963.
- [21] KILBRIDGE, M.D. ; WESTER, L., "A Heuristic Method For Assembly Line Balancing", Journal of Industrial Engineering, C. 12, N. 4, 1961.
- [22] KLEIN, M., "On Assembly Line Balancing", Operations Research, C. 11, N. 2, S. 274-281, 1963.
- [23] MANSOOR, E.M., "Assembly Line Balancing", Unpublished Ph.D.Thesis, University of Melbourne, Victoria, Australia, 1970.
- [24] MATER, Deniz, "Modern Üretim Sistemleri", Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Kütüphanesi, 1990.
- [25] MILTENBURG, John, "Level Schedules For Mixed-Model Assembly Lines In Just-In-Time Production Systems", Management Science, C. 35, N. 2, S. 192-207, 1989.
- [26] MOODIE, C.L. ; YOUNG, H.H., "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times", Journal of Industrial Engineering, C. 15, N. 2, S. 73-77, 1964.
- [27] Murathan, Hilal, "Montaj Hatlarının Dengelenmesi", Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Kütüphanesi, 1986.
- [28] ÖZKAYA, Gönül, "Üretim Planlama ve Kontrol, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, S. 97-105, 1981.

- [29] PATTERSON, James H. ; ALBRACK, Joseph J., "Assembly Line Balancing: Zero-One Programming With Fibonacci Search", Operations Research, C. 23, N. 1, S. 166-172, 1975.
- [30] POURBABAI, Behnam, "Optimal Selection of The Local Storage Sizes of An Assembly System International Journal of Production Research, C. 27, N. 9, S. 1625-1636, 1989.
- [31] POURBABAI, Behnam, "Optimal Utilization of A Finite Capacity Integrated Assembly System", International Journal of Production Research, C. 28, N. 2, S. 337-352, 1990.
- [32] PROOVER, M.G., "Automation-Production Systems and Computer Integrated Manufacturing, Prentice Hall Inc., New jersey, 1987.
- [33] RAOUF A. ; TSU, C.L. ; EL-SAYED, E.A., "A New Heuristic Approach To Assembly Line Balancing", Computers and Industrial Engineering, C. 4, S. 223-234, 1980.
- [34] SAATY, T.L., "The Analytical Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York, 1980.
- [35] SALVESON, M.E., "The Assembly Line Balancing Problem", Journal of Industrial Engineering, C. 6, N. 3, S. 18-25, 1955.
- [36] SHTUB, Avrahan, "The Effect of Incompletion Cost On Line Balancing With Multiple Manning of Workstations", International of Production Research, C. 22, S. 235, 1984.
- [37] SHTUB, Avrahan ; CHACRAVARTY, Amiya, "Modelling The Effects of Learning and Job Enlargement On Assembly Systems With Parallel Lines", International Journal of Production Research, C. 26, N. 2, S. 267-281, 1988.
- [38] SHTUB, Avrahan ; DER-EL, E.M., "A Methodology For The Selection of Assembly Systems", International Journal of Production Research, C. 27, N. 1, S. 175-186, 1989.
- [39] TALBOT, F.B. ; PATTERSON, J.H., "An Integer Programming Algorithm With Network Cuts For Solving Single Model Assembly Line Balancing Problems", Management Science, C. 30, S. 85, 1984.
- [40] THANGAVELU, S.R. ; SHETTY, C.M., "Assembly Line Balancing By Zero-One Integer Programming", American Institute of Industrial Engineers Transactions, C. 3, N. 61, 1971.
- [41] TONGE, Fred M., "A Heuristic Program For Assembly Line Balancing" Prentice Hall, Inc., New York, 1961.
- [42] UZMEN, Murat, "Montaj Hatlarının Dengelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Kütüphanesi, 1990.
- [43] WHITE, W.W., "Comment On A Paper By Bowman", Operations Research, C. 9, S. 274, 1961.

- [44] WILSON, J.M., "Formulation of A Problem Involving Assembly Lines With Multiple Manning of Work Stations", International Journal of Production Research, C. 24, S. 59-63.
- [45] WRIGHT, T.P., "Factors Affecting The Cost of Aeroplanes", Journal of Aeronautical Sciences, C. 3, N. 4, S. 122-128, 1986.



ÖZGEÇMİŞ

Murat Baskak, 20.2.1967 İstanbul doğumludur. Lise öğrenimini İstanbul Kabataş Erkek Lisesi'nde yaptı. 1988'de İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Yabancı Diller Okulu'nda İngilizce hazırlık sınıfında öğrenim gördü. 1989'da İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Endüstri Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Murat Baskak, şu anda İ.T.Ü. İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yöneylem Araştırması Ana Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta olup İngilizce ve İtalyanca bilmektedir.