

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

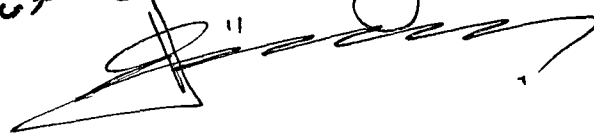
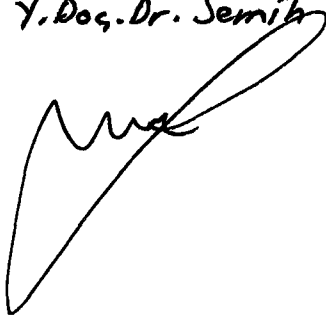
ÜRETİM HATLARININ TEKNİK AÇIDAN
DENGELENMESİ

Endüstri Mühendisi Talha GÜNIŞIK

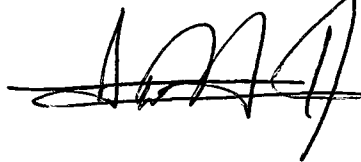
F.B.E. Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Y.Doç.Dr. Semih Öner Doç.Dr. Hüseyin Sönmez



Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL



İSTANBUL, 2000

TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÜRETİM SİSTEMLERİ ve ÜRETİM HATLARININ DENGELENMESİ.....	2
2.1 Üretim Hatlarının Dengelenmesi.....	2
2.2 Üretim Sistemleri.....	2
2.3 Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	3
2.3.1 Üretim yöntemlerine göre sınıflandırma.....	3
2.3.1.1 Birincil (Primer) üretim.....	3
2.3.1.2 Analitik üretim.....	3
2.3.1.3 Sentetik üretim.....	3
2.3.1.4 Fabrikasyon üretim.....	4
2.3.1.5 Montaj üretimi.....	4
2.3.2 Üretim miktarı veya akışına göre sınıflandırma.....	4
2.3.2.1 Siparişe göre üretim.....	4
2.3.2.2 Parti üretimi.....	5
2.3.2.3 Sürekli üretim.....	5
2.3.2.4 Proje üretimi.....	6
2.4 İş Yeri Düzenleme Problemleri.....	6
2.5 İş Yerleştirme Tipleri.....	7
2.5.1 Prosese göre yerleştirme.....	8
2.5.2 Mamüle göre yerleştirme.....	8
2.5.3 Sabit pozisyonlu mamüle göre yerleştirme.....	8
2.6 Yerleştirme Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	9
2.6.1 Proses göre yerleştirme.	9
2.6.1.1 Yararlı yanları.....	9
2.6.1.2 Sakıncalı yanları.....	9
2.6.2 Mamüle göre yerleşim.	10
2.6.2.1 Yararlı yanları.....	10
2.6.2.2 Sakıncalı yanları.....	10
2.6.3 Sabit pozisyonlu yerleştirme.....	11
2.6.3.1 Yararlı yanları.....	11
2.6.3.2 Sakıncalı yanları.....	11
3. MONTAJ HATTI Dengeleme.....	13
3.1 Montaj Hattı Dengelemenin Üretim Sistemindeki Yeri.....	13
3.2 Montaj Hattı Kavramı.....	13
3.3 Hat Dengeleme (Line Balancing) Kavramı.....	14
3.4 Montaj Hattı Dengeleme Problemi.....	15
3.5 Montaj Hatları Dengelemenin Amaçları.....	17
3.6 Montaj Hatlarının Dengelenmesini Etkileyen Temel Etmenler ve Kısıtlar.....	18

3.6.1	Temel etmenler.....	18
3.6.1.1	Mühendislik spesifikasyonları.....	18
3.6.1.2	İşin yapılmasında izlenen yöntem.....	19
3.6.1.3	Kullanılan aygıt ve makinalar.....	19
3.6.2	Kısıtlar.....	19
3.6.2.1	Çevrim süresi.....	19
3.6.2.2	Öncelik ilişkileri.....	19
3.6.2.3	İstasyon yükü kısıtı.....	19
3.6.2.4	Aynı istasyona atanması istenen iş öğeleri.....	19
3.6.2.5	Aynı istasyona atanmaması istenen iş öğeleri.....	19
3.7	Montaj Hattı Dengelemesinde Kullanılan Temel Kavramlar.....	20
3.7.1	İş öğesi (Work element).....	20
3.7.2	İş istasyonu (Work stations).....	21
3.7.3	Toplam iş süresi (Total work content)	21
3.7.4	İş istasyon süresi (Work station time)	21
3.7.5	Çevrim süresi (Cycle time)	21
3.7.6	Gerekli en az istasyon sayısı.....	22
3.7.7	Ortalama iş istasyonu süresi(C')	23
3.7.8	Teknolojik öncelik diyagramı (Technological precedence network).....	24
3.7.9	Öncelik matrisi.....	25
3.7.10	Denge kaybı.....	25
3.8	Montaj Hatlarında Model Sayısının Etkisi.....	28
3.8.1	Tek modelli hatlar (Single model)	29
3.8.2	Çok modelli hatlar (Multiple model)	29
3.8.3	Karmaşık modelli hatlar (Mixed model)	33
3.8.3.1	Karmaşık montaj hatlarının dengelenmesi.....	34
3.8.3.1.1	Birden fazla modelin aynı hatta yapımı.....	34
3.8.3.1.2	Çok modelin aynı hatta sıra ile yapımı.....	34
3.8.3.1.3	Çok modelin aynı hatta birlikte yapımı.....	35
3.9	Montaj Hatlarının Tasarımında İnsan Unsuru.....	36
3.10	Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması.....	38
3.10.1	Yönteme göre sınıflandırma.....	38
3.10.1.1	Sezgisel (Bulgusal) yöntemler.....	38
3.10.1.2	Analitik yöntemler.....	39
3.10.1.3	Benzetim teknikleri.....	39
3.10.2	Probleme göre sınıflandırma.....	41
3.10.2.1	Amaç sayısı.....	41
3.10.2.2	İşlem sürelerinin karakteri.....	41
3.10.2.3	Ürün/Model sayısı.....	41
3.10.2.4	Paralel tezgah durumu.....	41
3.10.2.5	İstasyondaki adam Sayısı.....	42
3.10.2.6	Hattın durumu.....	42
3.10.2.7	İstasyon durumu.....	42
3.10.2.8	Kaynak kısıtı.....	42
3.10.2.9	Malzeme ikamesi.....	42
3.10.2.10	Kusur oranının verilmesi durumu.....	42
3.10.2.11	Özel problemler.....	42
4.	MONTAJ HATTI Dengelemede Klasik Yöntemler.....	43
4.1	Aşamalı Sıralamayla Çözüm (Jackson ,(1956)).....	43

4.2	Derece Konumlu Ağırlık Tekniği (Helgeson-Birnie,(1961).....	46
4.3	Öncelik Diyagramı İle Çözüm (Hoffman,(1963))	49
4.4	İki Aşamalı Moddie – Young Dengeleme Yöntemi (Moddie, Young(1964)).....	55
4.5	Comsoal Tekniği (Arcus(1963)).....	59
4.6	Kilbridge-Wester Yöntemi (Kilbridge-Wester(1961)).....	62
4.7	Aday Matrisle Çözüm Yöntemi (Salveson (1955))	69
4.8	Probabilistik Hat Dengeleme (El Sayed, Boucher)	75
4.8.1	Sürelerin normal dağılıma uyma durumu.....	75
4.8.2	Sürelerin dağılımının bilinmemesi durumu.....	77
4.9	Raouf – Tsui- El- Sayed Yöntemi [Raouf, Tsui, El- Sayed (1980)].....	80
4.9.1	Yöntemin tanımı	82
5.	MONTAJ HATTI Dengelemede DiğER YaklaşımlAR.....	87
5.1	Montaj Hatlarında Birden Çok Ürün/ Model Bulunması Durumunda Dengeleme [Özkaya (1981)]	87
5.2	Çevrim Süresinin Bilinmediği Durum (Kilbridge – Wester Yöntemi.....	91
5.3	İstasyon Sayısının Bilinmesi Durumunda Çevrim Süresinin Saptanması.....	93
5.4	Montaj Hattı Etkinliğinin Paralel İstasyonlarla Artırılması: Bir Sezgisel Yöntem.....	94
5.4.1	Giriş.....	94
5.4.2	Paralellik kavramı.....	95
5.4.2.1	Görevlerin paralelliği.....	96
5.4.2.2	İstasyonların paralelliği.....	97
5.4.3	Notasyonlar ve Formülasyonlar.....	98
5.4.4	Varsayımlar.....	98
5.4.5	Yöntemin adımları.....	99
5.4.6	Problem çözümü.....	101
5.5	Çok Modelli Montaj Hatlarında Model Parti Sıralarının Belirlenmesi: Dal ve Sınır.....	103
5.5.1	Giriş.....	104
5.5.2	Parti sıralama problemi: dal ve sınır yaklaşımı.....	105
5.5.2.1	Algoritma.....	105
5.5.2.2	Örnek problem.....	106
5.5.2.3	Çözüm.....	107
5.6	Montaj Hatlarında Taşma Durumu(Başlıgil,Hüseyin(1985)).....	110
5.6.1	Aşırı yüklenmiş (taşmalı) iş istasyonlu montaj hatlarının dengelenmesi tekniği.....	110
5.7	Paralel Alt Montaj Modellerinin Avantajları.....	114
5.7.1	Yüksek verim.....	114
5.7.2	Öncelik ilişkilerinin ortadan kalkması.....	115
5.7.3	Paralel hatlarda adam tahsis problemleri.....	115
5.8	Bilgisayar Programında Montaj Hattı Dengeleme.....	119
5.8.1	Program çalıştırıldığında karşımıza çıkan menü.....	119
5.8.2	Ekrana gelen 2 seçenek.....	120
5.8.3	Ekranda çıkan menüye gerekli değerler girilir.....	120
5.8.4	Problemle ilgili ayrıntılar, öncelikler.....	121
5.8.5	Tahsis işlemini başlatma.....	122
5.8.6	Son çözüm.....	123
6.	UYGULAMA.....	125
6.1	Problem.....	125
6.2	Seçilen Ürünlerin Üretim Aşamaları.....	125
6.2.1	Güzelyazı-20 yaprak üretim aşamaları.....	125

6.2.2	A5 40 yaprak kareli bloknot için üretim aşamaları.....	129
6.3	Makine Kapasiteleri ve Zaman Etüdleri.....	131
6.3.1	Güzelyazı 20 yaprak üretimi için kapasiteler.....	131
6.3.2	A5 40 yaprak bloknot üretimi için kapasiteler.....	132
6.4	Problemın Formülasyonu.....	134
6.5	Problemın Çözümü.....	136
7.	SONUÇLAR.....	158
	KAYNAKLAR.....	159
	ÖZGEÇMİŞ.....	161



TEŞEKKÜR

Bana bu önemli ve gelişme gösteren alanda çalışma yapma olanağı sağlayan, beni bu konuda yönlendiren, tezimi özveriyle yöneten, ilgi ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof.Dr.Hüseyin Başlıgil Bey’e teşekkür ederim.



Şekil 3.1	Montaj hattına ait teknolojik öncelik diyagramı.....	24
Şekil 3.2	Öncelik Matrisi.	25
Şekil 3.3	N istasyonlu bir montaj a)Tam dengeleme, b)Tam kurulmamış denge.....	26
Şekil 3.4	Tek modellenli bir montaj hattı.....	29
Şekil 3.5	Çok modellenli bir montaj hattı.....	31
Şekil 3.6	Ürün (a) ve 2, ürün (b)'e ilişkin ve birleştirilmiş öncelik diyagramları (c). 32	
Şekil 3.7	Karışık modellenli bir montaj hattı.....	34
Şekil 3.8	Montaj Hatlarının Tasarımında İnsan Unsuru.....	36
Şekil 4.1	Örnek 4.1 ile ilgili öncelik diyagramı.....	43
Şekil 4.2	Örnek 4.1 ile ilgili olası çözüm.....	44
Şekil 4.3	Örnek 4.1'e ilişkin en uygun çözüm.....	45
Şekil 4.4	Örnek 4.2 ile ilgili öncelik diyagramı.....	47
Şekil 4.5	Örnek 4.3'e ilişkin öncelik diyagramı.....	50
Şekil 4.6	Örnek 4.4'e ait öncelik diyagramı.....	56
Şekil 4.7	Örnek 4.5'e ilişkin öncelik diyagramı.....	60
Şekil 4.8	Örnek 4.6 ile ilgili öncelik diyagramı.....	62
Şekil 4.9	Kilbridge-Wester hat dengeleme yöntemi akış şeması.....	67
Şekil 4.10	Örnek 4.7'e ilişkin öncelik diyagramı.....	70
Şekil 4.11	Örnek 4.7'e ilişkin en uygun çözüm.....	74
Şekil 4.12	Örnek 4.8'in çözümü.....	77
Şekil 4.13	Örnek 4.9'a ilişkin öncelik diyagramı.....	83
Şekil 5.1	A ve B modelleri için öncelik şeması.....	88
Şekil 5.2	Örnek 5.2'e ilişkin öncelik diyagramı.....	91
Şekil 5.3	Örnek 5.3'e ilişkin öncelik diyagramı.....	93
Şekil 5.4	Örnek 5.3'e ilişkin son dengeleme durumu.....	93
Şekil 5.5	Görevli öncelik diyagramı.....	96
Şekil 5.6	Görevi paralellenmiş öncelik diyagramı.....	96
Şekil 5.7	Seri istasyonlu (a) ve paralel istasyonlu (b) denge.....	97
Şekil 5.8	Örnek problem için istasyon.....	102
Şekil 5.9	Örnek problemin dal sınır ağacı.....	109
Şekil 5.10	6 Elemanlı problem için öncelik diyagramı.....	112
Şekil 5.11	İstasyona tahsisler.....	112
Şekil 5.12	Çözüm-2 için seri iş istasyonu düzeninin Gant diyagramı.....	112
Şekil 5.13	Model 1. Paralel alt montaj kriterine göre 6 işli Gant diyagramı.....	113
Şekil 5.14	Model 2'de görülen, çözülen 6 işli problemin Gant diyagramı.....	114
Şekil 5.15	Tahsis Problemi.....	117
Şekil 5.16	Eleman Tahsis-2.....	118
Şekil 5.17	Tahsis Problemi Sonuç.....	118
Şekil 6.1	Güzelyazı kapak.....	126
Şekil 6.2	Kesim-1'den sonraki görüntü.....	126
Şekil 6.3	Defterlerin dikişli hali.....	126
Şekil 6.4	Defterlerin katlanmış hali.....	127
Şekil 6.5	Kesim-2 uç kesim.....	127
Şekil 6.6	Kesim-2 tek defter haline getirme.....	127
Şekil 6.7	Defterlerin shlinglenmiş hali.....	128
Şekil 6.8	Bloknot kapak.....	129
Şekil 6.9	Defterlerin shlinglenmiş görünümü.....	130
Şekil 6.10	Güzelyazı defter iş akışı.....	139

Şekil 6.11	Güzelyazı üretimi için dengeleme kaybı.....	140
Şekil 6.12	Güzelyazı üretimi kayıp zamanı.....	141
Şekil 6.13	Bloknot defter iş akışı.....	142
Şekil 6.14	Bloknot için denge kaybı.....	143
Şekil 6.15	Bloknot için üretim kayıp zaman.....	144
Şekil 6.16	İstasyonlara yüklenmiş durum.....	156
Şekil 6.17	4a ve 4b işlemlerinde mesai durumu	157



ÇİZELGE LİSTESİ**Sayfa**

Çizelge 3.1	6 işlem şeklinde gruplanmış 10 eleman.....	27
Çizelge 3.2	4 işlem şeklinde gruplanmış 10 eleman.....	27
Çizelge 3.3	Değişen talep değerleri için olanaklı çözümler.....	28
Çizelge 4.1	İş öğelerine ilişkin konum ağırlıklarının ölçümü.....	47
Çizelge 4.2	İş öğelerinin istasyonlara özgülenmesi.....	48
Çizelge 4.3	Öncelik matrisinin oluşturulması.....	50
Çizelge 4.4	İkinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	51
Çizelge 4.5	Üçüncü öncelik matrisinin oluşturulması.....	51
Çizelge 4.6	Dördüncü öncelik matrisinin oluşturulması.....	52
Çizelge 4.7	Beşinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	52
Çizelge 4.8	Altıncı öncelik matrisinin oluşturulması.....	53
Çizelge 4.9	Yedinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	53
Çizelge 4.10	Sekizinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	54
Çizelge 4.11	Dokuzuncu öncelik matrisinin oluşturulması.....	54
Çizelge 4.12	Onuncu öncelik matrisinin oluşturulması.....	54
Çizelge 4.13	İstasyonlar ve özgülenen işler.....	55
Çizelge 4.14	Örnek 4.4 ile ilgili P ve F matrisleri.....	58
Çizelge 4.15	Örnek 4.4'ün çözümü.....	59
Çizelge 4.16	Örnek 4.5 ile ilgili veriler.....	61
Çizelge 4.17	Örnek 4.5'in bir çözümü.....	61
Çizelge 4.18	Problem verilerinin sınıflandırılması.....	63
Çizelge 4.19	İşlem özgülemeleri-1.....	64
Çizelge 4.20	İşlem özgülemeleri-2.....	65
Çizelge 4.21	İşlem özgülemeleri-3.....	66
Çizelge 4.22	İşlem özgülemeleri-4.....	66
Çizelge 4.23	Öncelik matrisi.....	70
Çizelge 4.24	Olası istasyonlar için oluşturulan Çizelge.....	72
Çizelge 4.25	Öncelik matrisi.....	73
Çizelge 4.26	İlk olası çözüm.....	74
Çizelge 4.27	İkinci olası çözüm.....	74
Çizelge 4.28	Örnek 4.8'e ilişkin öncelik diyagramı.....	77
Çizelge 4.29	Örnek 4.8'e P ve F matrisi.....	78
Çizelge 4.30	Örnek 4.8'in çözümü.....	79
Çizelge 4.31	Örnek 4.9 için ikili öncelik matrisleri.....	84
Çizelge 4.32	F' deki sıraların birikimli toplamaları.....	84
Çizelge 4.33	P' deki kritik öğelerin sırasında ortalama öge süreleri.....	85
Çizelge 4.34	Örnek 4.9'un çözümü.....	86
Çizelge 5.1	İki modelli hat dengeleme probleminin veri Çizelgesi.....	89
Çizelge 5.2	İki modelli hat dengeleme.....	90
Çizelge 5.3	Örnek 5.3'e ilişkin çözüm aşamaları.....	94
Çizelge 5.4	Görev zamanları.....	97
Çizelge 5.5	Hazırlama maliyet.....	105
Çizelge 5.6	Başlangıç hazırlama maliyet.....	107
Çizelge 5.7	İndirgenmiş başlangıç matrisi.....	107
Çizelge 5.8	(2,3) çifti ele alındıktan sonraki indirgenmiş mat.....	108
Çizelge 5.9	(4,1) çifti ele alındıktan sonraki indirgenmiş matrisi C.....	108
Çizelge 6.1	Öncelik matrisinin oluşturulması.....	145
Çizelge 6.2	İkinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	146
Çizelge 6.3	Üçüncü öncelik matrisinin oluşturulması.....	147
Çizelge 6.4	Dördüncü öncelik matrisinin oluşturulması.....	148
Çizelge 6.5	Beşinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	149

Çizelge 6.6	Altıncı öncelik matrisinin oluşturulması.....	150
Çizelge 6.7	Yedinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	151
Çizelge 6.8	Sekizinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	151
Çizelge 6.9	Dokuzuncu öncelik matrisinin oluşturulması.....	152
Çizelge 6.10	Onuncu öncelik matrisinin oluşturulması.....	152
Çizelge 6.11	Onbirinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	153
Çizelge 6.12	Onikinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	153
Çizelge 6.13	Onüçüncü öncelik matrisinin oluşturulması.	153
Çizelge 6.14	Ondördüncü öncelik matrisinin oluşturulması.....	154
Çizelge 6.15	Onbeşinci öncelik matrisinin oluşturulması.	154
Çizelge 6.16	Onaltıncı öncelik matrisinin oluşturulması.....	154
Çizelge 6.17	Onyedinci öncelik matrisinin oluşturulması.	154
Çizelge 6.18	Onsekizinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	155
Çizelge 6.19	Ondokuzuncu öncelik matrisinin oluşturulması.....	155
Çizelge 6.20	Yirminci öncelik matrisinin oluşturulması.....	155
Çizelge 6.21	Yirmibirinci öncelik matrisinin oluşturulması.....	155



ÖZET

Fabrikalarda iş istasyonlarının boş beklemesi, gecikmeler ve ara depolardaki yığılmalar işlem süreleri arasındaki farklardan meydana gelir. Bu farkların giderilmesi amacıyla yapılan çalışmalara “Üretim Hattının Dengelenmesi” denir.

Bu tezde çeşitli imalat/montaj hatlarını dengeleme metodlarına yer verilmiştir. Bitirme tezinin ilk üç bölümünde Üretim yöntemleri, Montaj Hattı Dengeleme kavramları, 3.ve 4. Bölümlerde Montaj Hattı Dengeleme metodlarına yer verilmiştir. 5.Bölümde ise bir uygulamaya yer verilmiştir. Uygulamada bir defter fabrikasında üretim hattı dengeleme metodları ile Defter Bölümünde eleman sayısı 103 kişiden 48 kişiye indirilmiştir. 1997-1998 yıllarında 103 kişi ile yapılan üretim, 1999 yılında 48 kişi ile 10.5 ayda gerçekleştirilmiş, kalan 1.5 ayda ajanda, takvim, sert kapaklı defter gibi yeni ürünlere çalışılmıştır, verimlilik artmış ve maliyetler azalmıştır. Maliyetlerin azalması ile rekabetçi ortamda satışlar artmış bir önceki yıldan kalan 3.000 ton stok bir sonraki yıl aynı miktar üretimle 400 tona düşmüştür.

Üretim Hatlarının Dengelenmesi ile şirketlerde verimlilik yükselmekte, karlılık artmaktadır. Şirketlerin rekabet gücü de bu sayede artmaktadır. Bu konu üzerinde yeni yapılan çalışmalar da, bu konunun önemini vurgulamaktadır.



SUMMARY

Waste time in workstations, delays and heaps in store occurs from differences between operation times. The studies doing due to removing these differences are called “Production Line Balancing”.

Production line balancing methods have been mentioned in the thesis. In the second and the third chapters; production methods and Assembly Line Balancing concept, and also in the forth and fifth chapters Assembly Line Balancing methods have been defined. An application has been mentioned in the sixth chapter. It's explained that how the number of workers have been reduced from 103 to 48 in the application. The production in the year of 1997-1998 had been gotten by 103 workers, but the production in the 1999 for ten and half month had been gotten by 48 workers. So that the firm had found an opportunity to develop new products as date book, calander and hard covered notebook with spiral. Thus, productivity is rised and the costs are decreased, in that case, sales are rised and the stock volume are decreased from 3000 tons to 400 tons with the same production volume.

Productivity and profitability are increased by assembly line balancing methos, so that competing power is rised. New studies emphasize the importance of production line balancing, too.

1. GİRİŞ

1900'lü yılların başlarına kadar üretim hatlarının kullanımına gerek duyulmamıştır. İlk olarak Amerika'da Ford firması tarafından kullanılan işlerin rasyonelleşmesi, etkin malzeme aktarımı ve ikame edilebilen parçaların üretilebilmesi gibi önemli yenilikler getiren üretim hatları bugünkü şeklini almıştır.

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

Montaj hattı sistemlerinin kuruluşundaki amaç, talep miktarı çok yüksek olan ürünlerin en kısa sürede, verimli bir şekilde, ucuza ve istenilen kalitede üretilmesidir. Burada verimlilik özellikle zaman olarak büyük önem taşır. Montaj hatları, temelde birbiri ardına dizilmiş, içlerinde bir veya daha çok iş ögesinin yapıldığı iş istasyonlarından oluşur. Bu hatta giren hammadde ve yarı ürünler, bu hat boyunca işlenir ve ürün olarak hattan çıkarlar. Montaj yapılacak ürünün kitle isteminin bulunması gerekliliği ve ürün yapısının da montaj hattında üretilmeye uygun olması zorunluluğu, montaj hatlarının önemli özellikleridir.

Montaj hatlarının, zaman, yer, konum v.b. kısıtlar altında verimli ve düzenli bir şekilde çalışabilmesi için, hattaki istasyonların çalışma sürelerinin en verimli şekilde dengelenmesi gerekir. Hat dengeleme için bir çok sezgisel yöntem geliştirilmiştir, bunun dışında Matematik Programlama ve Benzetim tekniklerinden de yararlanılmıştır. Artık tek ve çok modelli hatlardan başka, karmaşık modelli montaj hatların da kullanımı yönünde çalışmalar yapılmaktadır.

Projenin ilk üç bölümünde Üretim yöntemleri, Montaj Hattı Dengeleme kavramları, 4.ve 5. Bölümlerde Montaj Hattı Dengeleme metodlarına yer verilmiştir. 6.Bölümde ise bir uygulamaya yer verilmiştir. Değer üretimi yapan bir şirkette Güzelyazı ve Bloknot defterlerinden belli bir çevrim süresi içinde belli miktar üretimleri istenmektedir. Bu üretim problemindeki imalat hatları dengelemesini “Öncelik Diyagramı ile Çözüm” (Hoffman) yöntemi ile çözülmüştür. Bu projede bahsedilen imalat hatlarının dengelenmesi problemi çözüm metodları bu firmada 1998 yılı Aralık ayından beri uygulanmakta olup, eleman istihdamı 103 kişiden 48 kişiye düşmüş, verimlilik artmış ve maliyetler azalmıştır. Maliyetlerin azalması ile rekabetçi ortamda satışlar artmış bir önceki yıldan kalan 3.000 ton stok bir sonraki yıl aynı miktar üretimle 400 tona düşmüştür.

2. ÜRETİM SİSTEMLERİ ve ÜRETİM HATLARININ DENGELENMESİ

2.1 Üretim Hatlarının Dengelenmesi

Fabrikalarda iş istasyonlarının boş beklemesi, gecikmeler ve ara depolardaki yığılmalar işlem süreleri arasındaki farklardan meydana gelir. Bu farkların giderilmesi amacıyla yapılan çalışmalara “Üretim Hattının Dengelenmesi” denir.

İşlem sürelerini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Asıl mesele tüm bu faktörlerin göz önüne alınarak optimal dengenin bulunmasıdır.

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

Dengeleme işlemleri birbirinden çok farklı olmayan fabrikasyon hatlarının dengelenmesi, bazı sabit makina zamanları dolayısı ile serbestliği daha az ve daha güçtür. Ayrıca montaj hatlarının çoğunda yapıldığı gibi bir işlemi birkaç yan işleme ayırmak pratik olmayabilir. Bu özellikten hareketle iyi bir denge ancak yüksek imalat miktarında gerçekleştirilebilir. Montaj hatlarının dengelenmesinde iş etüdü çalışmaları ile işlemlerin bölünmesi ve istasyonlara tahsis kolaydır.

Kuramsal olarak denilebilir ki: Fabrikasyon hatlarının dengelenmesi ile montaj hatlarının dengelenmesi arasında belirgin fark yoktur.

2.2 Üretim Sistemleri

Bir üretim sistemi içinde pek çok fonksiyonları ve sistemleri kapsayan bir bütündür. Amacı, eğer mamül üretimi söz konusu ise, gerekli zamanda, gerekli miktar ve gerekli kalitede mamüller üretmek ve onları pazarlamaktır. Bu amaca yönelik bilgi ve malzeme alışları ile geri beslemelerin en yoğun ve kritik bir etkileşim halinde bulunduğu yer, bu sistem içindeki üretim sistemleridir. Başka bir deyişle, en büyük problemler üretim sistemlerinde doğmakta

ve üretim sistemi amacını önemli bir oranda etkilemektedir. Bu durumda amaca ulaşmada, öncelikle üretim sistemleri incelenmeli ve iyi bir tasarım yapılmalıdır. Bunun aksi durumlarda, firmalar, sonradan telafisi zor olan ve bütün işletmeyi temelden etkileyen hatalarla karşı karşıya kalabilirler. Böyle bir duruma düşmemek için üretim sistemlerinin seçimine ve tasarımına dikkat etmek gerekir.

Üretim ya da imalat sistemlerinin çeşitli amaçlara göre farklı şekillere göre sınıflandırmaların birbirinden ayrı düşünülmesi yanlıştır. Ancak, ortak özelliklerin tanınması ve daha rahat anlaşılması bakımından böyle sınıflandırmalar yapmak oldukça yararlıdır.

2.3 Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması (Gökçen, Turay(1997))

Üretim sistemlerini; üretim yöntemi, mamül cinsi, mamül miktarı veya üretim akışı kriterlerine göre sınıflandırmak mümkündür:

2.3.1 Üretim yöntemlerine göre sınıflandırma

Üretimin oluşmasında uygulanan genel yöntemlere göre şöyle bir sınıflandırma yapılmaktadır.

2.3.1.1 Birincil (primer) üretim: Doğada mevcut hammaddelerin işlenmek veya kullanılmak üzere çıkarılması söz konusudur. Üretilen maddeler yeryüzünde üretilen tüm mamüllerin esasını oluşturduğundan bunlara temel hammaddeler adı verilir. Demir, Bakır ve diğer madenler ile kömür ve petrol üretimi, orman işletmeciliği, balıkçılık ve benzerleri primer üretim sınıfına girer.

2.3.1.2 Analitik üretim: Temel maddelerin bazıları daha sonra ayırıcı işlemler ile parçalanıp işlenerek çeşitli mamüllere dönüştürülür. Şeker pancarından Şeker; Ham petrolden benzin, fuel-oil vb., süttten yağ üretimi, analitik üretim sınıfına girer. Analitik üretimde ısı işlemleri, elektro kimyasal reaksiyon ve damıtma gibi değişik teknikler kullanılır.

2.3.1.3 Sentetik üretim: Doğadan elde edilen temel hammaddelerin bazıları da birleştirici işlemlerle yeni mamüllere dönüştürülür. Sentetik kauçuk, alaşımlı çelik, plastik, cam vb. Mamüller sentetik üretim grubuna girerler.

2.3.1.4 Fabrikasyon üretim: Temel veya diğer hammaddelerden şekil verme yolu ile yeni mamüller elde edilmesidir. İmalat kelimesi ile belirlemek istediğimiz faaliyetler aslında fabrikasyondan ibarettir. Döküm, tornalama, pres kesme vb. Yöntemlerle şekil vererek mal üreten sistemler bu gruba girerler.

2.3.1.5 Montaj üretimi: Çeşitli hammadde, yarı mamül ve parçalar sistematik bir biçimde bir araya getirilerek karmaşık bir mamül üretilir. Otomobil, Televizyon, Traktör, Buzdolabı montaj yolu ile üretilen mamüllerdir. Bir montaj fabrikası ürettiği mamülleri oluşturan parçaların tamamını veya çoğunu diğer fabrikalardan hazır olarak alır. Montaj üretiminde önemli olan nokta; miktar ve özellik bakımından büyük sayılara ulaşan elemanların en ekonomik biçimde biraraya getirilmesidir. Günümüzde mamüllerin karmaşıklığı, üretim miktarları ve kalite nitelikleri göz önüne alınırsa bunun kolay bir iş olmadığı söylenebilir.

Bir fabrikanın, üretim yöntemlerine göre tanımlanan yukarıdaki sınıflardan sadece birinin içinde olması şart değildir. Örneğin bir demir çelik fabrikasında hem analitik hem fabrikasyon üretim vardır. Bazı parçalarını kendi atölyelerinde imal eden bir otomobil fabrikasında ise fabrikasyon ve montaj üretim yöntemleri kullanılır.

2.3.2 Üretim miktarı veya akışına göre sınıflandırma

Üretilen mamülün miktarı ile üretim faaliyetlerinin fabrika içindeki akışı arasında yakın bir ilişki vardır. Aynı cinsten bir mamülün az yada çok sayıda üretilmesi; kullanılan makinaların tiplerini, imalat yöntemlerini, standartları, insan gücünden yararlanma biçimini, Üretim planlama ve Kontrol yöntemlerini etkiler. Bütün bunlar hammaddenin mamül hale gelinceye kadar izlediği yolu, yani akışı da belirler.

Üretim miktarına veya akışına göre şöyle bir sınıflandırma yapılmaktadır:

2.3.2.1 Siparişe göre üretim: Tüketicinin veya müşteri firmanın zaman, miktar, ve kalite bakımından özel olarak belirlediği bir mamülün üretilmesidir. Miktar genellikle bir veya birkaç denebilecek ölçüde azdır. Gemi, büyük buhar kazanı, özel elektronik cihazlar, proses makinaları, büyük takım tezgahları bu üretim grubuna girer. Sipariş üretimi, imalatın yapıldığı sürelerin düzeni bakımından üç alt gruba ayrılır.

- Az sayıda mamülün yalnız bir defa üretilmesi;
- Az sayıda mamülün talep geldikçe, belirsiz aralıklarla üretilmesi,
- Az sayıda mamülün belirli aralıklarda peryodik olarak üretilmesi,

Yalnız bir defa üretilen mamüller için; üretim tekniği, alet ve tertibat ve planlama bakımından yapılacak bir şey yoktur. Belirli veya belirsiz aralıklarda tekrar üretilen mamüller için metod, işlem planlaması ve kontrol faaliyetlerinin düzenlenmesi ve bunlara ilişkin bilgilerin gerektikçe kullanılmak üzere saklanması önem taşır. Sipariş üretiminde makina ve insan gücü kapasitesinden yararlanma oranı düşüktür. Siparişlerin yığılması, yani aşırı yüklenme yüzünden kuyrukta bekleme süresinin uzama olasılığı da yüksektir. Dolayısı ile daha önceden saptanıp tekrar yararlanma olanağı bulunan bilgilerin iyi korunmasının sağlayacağı yararlar açıktır.

2.3.2.2 Parti üretimi: Bir mamülün özel bir siparişi veya sürekli bir talebi karşılamak amacı ile belirli miktarlardan oluşan partiler halinde üretilmesidir. Bir parti mamülün üretimi gerçekleşikten sonra makina ve tesisler başka cins bir mamülün parti üretiminde kullanılabilir. Makina, takım, tertibat ve insan gücünün planlanmasında gösterilecek özen parti büyüklüğüne ve üretim peryodunun sıklığına bağlıdır. Parti üretimi de sipariş üretimi gibi yalnız bir defalık, belirsiz ve belirli aralıklarda tekrarlanan olmak üzere üç alt gruba ayrılır. Parti hacmi büyüdükçe ve peryotlar belirli hale geldikçe üretim planlama ve kontrol tekniklerinin uygulanması daha verimli sonuçlar verir. Parti üretiminde iki temel problem vardır: bunlardan biri en uygun parti büyüklüğünün saptanması, diğeri minimumum kapasite kaybına yol açan üretim programlarının hazırlanmasıdır. Parti üretimi endüstride ağırlığı en fazla olan ve sık rastlanılan bir üretim tipidir. Ev eşyası, konfeksiyon, gıda, otomobil, gibi her çeşit tüketim malı parti üretimi grubunda yer alır.

2.3.2.3 Sürekli üretim: Eldeki makina ve tesislerin yalnız belirli bir mamüle tahsis edilmesi ile yapılan üretimdir. Söz konusu mamülün talep düzeyi ve üretim miktarları çok yüksektir. Sipariş ve parti üretimlerinde, üretim hızının talepten biraz yukarıda olmasına izin verilebilir. Yani bir miktar stoklama yapılabilir. Sürekli üretimde ise, ancak talep hacminin üretimi her an yakından izlemesi şartı ile faaliyetleri sürdürmek mümkündür. Sürekli üretimi;

1) Kütle,

2) Akış (veya proses).

Üretimi olarak iki alt gruba ayırmak mümkündür. İki grup arasındaki önemli fark şöyle belirlenebilir: kütle üretiminde bir mamülden çok büyük miktarda ve uzun sürede imal edilir. Fakat gerektiğinde makina, yerleştirme düzeni, tertibat, kalıp vb. de bazı değişiklikler yapma suretiyle başka tip mamülün üretimine geçme olanağı vardır. Örneğin, otomatik revolver tornalar belirli büyüklükte vida imal eden bir atölyede, kontrol mekanizmaları kesme kalemleri ile tespit tertibatlarını değiştirerek başka bir vida üretimine geçilebilir. Akış veya proses üretiminde makina ve tesisler yalnız bir cins mamülü üretecek şekilde dizayn edilmiş ve yerleştirilmiştir. Aynı yerde başka mamülü üretmek ya çok pahalıdır veya olanaksızdır. Çimento, şeker, petrol rafinerisi, motor vb. Endüstriler akış üretiminin belli başlı örnekleridir. Sürekli üretimde ÜPK faaliyetleri parti üretimine kıyasla çok daha basit ve az yoğunudur. Üretime başlamadan önce geniş ve ayrıntılı planlama yapılır. Fakat üretim başladıktan sonra planlarda ve kontrol işlemlerinde değişiklik söz konusu değildir. Diğer bir deyişle ÜPK rutin sayılabilecek faaliyetler arasına girmiştir.

2.3.2.4 Proje üretimi: Belirli bir mamülün yalnız bir kez üretilmesi bakımından siparişe göre üretime benzer, yalnız proje üretiminde akış söz konusu değildir. Bir elektrik santralinin inşaa edilmesi tersanede gemi yapımı, çok katlı bir bina inşaatı, büyük bir yolcu uçağının montajı, film yapımı... proje üretimi grubuna girer. Bu üretim tipinin önemli özellikleri; mamülün sabit konumda bulunması, makina ve insanların mamül çevresinde veya içinde hareket etmesi ve aynı anda pek çok faaliyetin bir arada yürütülür olmasıdır. Proje üretiminde birim mamül fiyatı çok yüksektir ve faaliyetlerin planlanıp iş emirlerinin hazırlanması özel yöntemlerin uygulanmasını gerektirecek ölçüde karmaşıktır.

Belirli bir fabrikanın veya hizmet üreten bir sistemin yukarıdaki sınıflardan yalnız birine ait olması şart değildir. Gerçekten fabrikaların pek çoğunda birkaç üretim tipinin yer alması doğaldır. Üretime katkısı en fazla olan sistemin seçilmesi yerinde olur.

2.4 İş Yeri Düzenleme Problemleri

Üretim araçlarının, yardımcı tesislerin veya iş istasyonlarının ve taşıma, depolama, kalite kontrol gibi üretimle ilgili faaliyetlerin, fiziksel konumları açısından bir bütün olarak koordinasyonuna **fabrika düzenleme** denir. Bu tanımın bürolar gibi hizmet üretiminin

yapıldığı yerleri de kapsamı halinde iş yeri düzenleme deyiminin kullanılması daha uygundur.

İşyeri düzenlemesi kararı için şu bilgilere gereksinim vardır. Bunlar:

- İşletmenin amaçlarının saptanması: İşletmenin amacı genellikle stok, iş gücü ve boş kapasite maliyeti ile genel masrafları kabul edilebilir bir düzeyde tutarak arzu edilen çıktı hacmine ulaşmaktır. Bütün düzenleme kararlarında bu maliyetler gözönüne alınmaktaysa da bunların izafi önlemleri karardan karara farklı olmaktadır.
- Mamüle olan talebin tahmin edilmesi: Mevcut ve geleceğe ait talep düzeyinin ve üretilecek mamül tiplerinin bilinmesi gerekir. Örneğin, halen üretilen mamül için kararlı bir pazar görünümü varsa bu durumda uygulanacak düzenleme stratejisi, teknolojik değişmeye maruz değişken pazar payına sahip bir mamül için saptanacak düzenleme stratejisinden farklı olacaktır.
- Üretim için gerekli olan makina ve teçhizatın belirlenmesi: İş yerinin düzenlenmesi için gerekli olan bilgi, imal edilecek mamüle göre değişir. Mamül hattının küçük ve iyi tanımlanmış olduğu işletmelerde, montaj diyagramları işyeri düzenlemesi kararı için gerekli bilgiyi oluşturur. Öte yandan çeşitli mamüllerin üretildiği işletmede makina ve teçhizat spesifikasyonlarının yapısı önemli olmaktadır.
- Düzenlemenin yapılacağı alanın bilinmesi: Düzenleme kararı için, binada ve çevresindeki mevcut alanın bilinmesi gerekmektedir. Genellikle, işyeri düzenlemesi binanın fiziksel büyüklüğü ile sınırlandırılmıştır. Ancak bazı işletmelerde binanın içi ve dışı göz önüne alınabilir.

2.5 İş Yerleştirme Tipleri

Genel iş akışı konusunda bir karar verildikten sonra makinaların ve iş istasyonlarının konumlarının saptanmasına geçilir. Bunun için belirli formüller veya yöntemler yoktur. Her problemin kendi özelliklerine göre çoğunlukla mantığa dayanan prensipler yardımıyla en uygun yerleştirme düzeni bulunmaya çalışılır. Araştırma esnasında izlenecek en uygun yol deneme-yanılma yöntemi olmalıdır. Önemli olan bunlar arasında amaçlara en uygun olanını

tespit etmektir. Gözönüne alınan kriter ve prensiplere göre çeşitli hesap yöntemlerinden yararlanarak değerlendirme ve seçim yapılabilir. Yerleştirme tiplerini, proses, mamül cinsi ve mamül büyüklüğü kriterine göre başlıca üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar şöyle tanımlanabilir:

2.5.1 Prosese göre yerleştirme:

Makinalar cinslerine göre ve yaptıkları işe göre yerleştirilir. Örneğin bütün tornalama, saç bükme, taşlama, pres, boya vb. İşlemler için ayrı birer bölüm ayrılır. Sipariş üretiminde tercih edilen bir düzendir.

2.5.2 Mamüle göre yerleştirme:

Makinalar bir mamülün hammadde halinden son şeklini alıncaya kadar izlediği yol üzerinde işlemlerin gerektirdiği sıraya göre dizilirler. Her mamül için ayrı bir üretim hattı oluşturulabilir. Sürekli üretim tipine uygun bir yerleştirme düzenidir.

2.5.3 Sabit pozisyonlu mamüle göre yerleştirme:

Mamülün taşınamayacak kadar ağır veya büyük olması halinde makinalar mamülün taşınır veya civarında uygun yerlere konulur. İnşaat, Uçak ve Gemi endüstrilerinde bu tip yerleştirme görülür.

Üretim tipi, yukarıdaki tanımdan da anlaşılacağı gibi yerleşim biçiminin belirlenmesinde önemli rol oynar. Ancak bir fabrikada bu tiplerden yalnızca birine göre yerleştirme yapıldığı pek görülmez. Genellikle üç tipin uygun oranlarında karışımından oluşan sistemlerin planlanması gerekir. Uygun oranların saptanmasında taşıma maliyetleri, verimlilik, stoklar, kontrol kolaylığı gibi kriterlerden yararlanılır. Bunun için de yerleştirme tiplerinin yararlı ve sakıncalı yanlarının dengelenmesine çalışılır.

2.6 Yerleştirme Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları

Temel yerleştirme tiplerinin yararlı ve sakıncalı yanları şöyle özetlenebilir:

2.6.1 Prosese Göre Yerleştirme

2.6.1.1 Yararlı yanları

- Makina ve insan gücünün kullanılmasında esneklik. İş yükleme kolay, Tamir ve bakımda üretim aksamaları minimum düzeyde.
- Makinalar çok çeşitli işlerde kullanılabilir. Makina için yatırım az.
- Gözlem ve Kontrol iyi yetişmiş kimseler tarafından yapıldığı için etkinliği yüksek.
- İş çeşidi fazla. Aynı işi yapmanın doğurduğu psikolojik sorunlar yok. İşçi için daha ilginç ve tatmin edici olur.
- Makina zamanlarından daha iyi faydalanılır. Bunun sonucunda daha az makina gerekli olur.

2.6.1.2 Sakıncalı yanları

- Malzeme akış hatları uzundur. Yani taşıma daha masraflıdır.
- Yarı mamül stokları yüksek. (Ara stok)
- Makina ve İşçinin boş bekleme olasılığı yüksek.
- ÜPK işlemleri daha karmaşık.
- Görevin farklı olabilmesinden dolayı kalifiye eleman kullanma zorunluluğu var.
- Toplam üretim süresi uzun.

2.6.2 Mamüle Göre Yerleşim:

2.6.2.1 Yararlı yanları:

- Düzenleme işlerin sırasına göre yapılmıştır. Bu sebepten akış hatları düzgün ve mantıkidir.
- Malzeme aktarılması azalmıştır. Çünkü makinaları, ardışık işlemler arasındaki mesafeler minimum olacak şekilde yerleştirilmişlerdir.
- Ünite başına toplam üretim süresi kısa.
- Yarı mamül stokları az.
- ÜPK nispeten basittir, formüle edilebilir.
- Gözlem ve Kontrol kolay.
- Üretim hatlarındaki işçilerden genellikle az bir beceri istenir. Kalifiye olmayan işçi kullanılabilir. Eğitim ve adaptasyon kolay.

2.6.2.2 Sakıncalı yanları:

- Düzenleme mamüle göre saptanır. Dolayısı ile esneklik azdır. Mamül dizaynında yapılacak bir değişikliğin uygulanması uzun zaman alır ve düzenlemede büyük değişiklikler gerekebilir.
- Üretim akış hızı en yavaş makinaya bağlı. Dengeleme problemi var. Küçük bir arızadan bütün hattın boş durması olasılığı yüksek.
- Makina veya yarı mamül cinsinden yedek kapasite bulundurma zorunluluğu var. yatırım miktarı yüksek.
- Gözlem ve kontrol kolay olmakla beraber uzmanlaşmış değil. Denetim geneldir.

2.6.3 Sabit pozisyonlu yerleştirme:

2.6.3.1 Yararlı yanları

- Malzeme hareketi minimumdur.
- Ekip çalışması yapıldığından iş dağıtımı, gözlem ve kontrol kolaydır.
- Ekipler oldukça bağımsız çalıştıklarından, toplam üretim süresini kısaltacak önlemler almak mümkündür.

2.6.3.2 Sakıncalı yanları:

- Makina ve teçhizatın mamülün bulunduğu yere taşınması güç ve pahalı olabilir.
- Makina ve teçhizattan yararlanma oranı düşük.
- Kalifiye işçiye ihtiyaç var.

Her yerleştirme tipinin, üzerinde çalışılan proje açısından yararlı ve sakıncalı yanları saptandıktan sonra bunlar sayısal değerlere dönüştürülür. Böylece fabrika için en uygun yerleştirme kombinasyonu bulunabilir. Ancak yukarıdaki listede yer alan yarar ve sakıncaların pek çoğunun ölçülmesinin güç olduğu aşikardır. Bunlar arasından ölçülmesi nispeten kolay olan kriterlerden biri taşıma maliyetleridir. Prosese göre yerleştirmeden dolayı ortaya çıkan maliyetlerde taşımaların payı büyüktür. Bu nedenle araştırmalarda genellikle malzeme taşımaları tek faktör olarak gözönüne alınır. Alternatif çözümlerin sayısı bu faktöre göre azaltıldıktan sonra son seçimde diğer faktörlere de yer verilir. Alternatif çözümlerin taşıma maliyetleri arasında küçük farklar bulunması halinde diğer faktörlerin son seçimdeki rolü önem kazanır.

Mamüle göre yerleştirme ve prosese göre yerleştirme düzeni arasında en önemli fark iş akış şeklidir. Prosese göre yerleştirmede iş akışı oldukça değişken bir başka deyişle malzeme hareketleri çok fazla olabilirken, mamüle göre yerleştirmede işin akışı imalat aşamalarına göre belirli ve düzenlidir. Bu yüzden mamüle göre yerleştirmede, sistemdeki departmanların birbirine göre konumlandırılması prosese göre yerleştirmeden daha kolaydır. (İş gücünden tasarruf, yarı mamül az, iş takibi kolay, mamülün dizaynı yanısıra talep yüksek olmalı).

Ancak burada mamüle göre yerleştirme probleminin özel bir hali olan **-Montaj Hattı-** problemi ile karşılaşılır. Böyle bir düzenlemenin amacı mamül montajının düzgün akışını, hattı çalıştıran işçilerin boş bekleme sürelerini en aza indirecek şekilde gerçekleştirmektir. Temelde bu bir “iş yükünün eşit olarak dağılması” problemidir. Literatürde veya pratikte bu problem alanına “**MONTAJ HATTININ DENGELENMESİ**” problemi denilmektedir.



3. MONTAJ HATTI Dengeleme

3.1 Montaj Hattı Dengelemenin Üretim Sistemindeki Yeri

Denge, bir üretim veya montaj hattının tasarımında en temel sorundur. Bu donatının, malzeme, taşıma, yerleştirme araçlarının fiziksel yerleştirmesinin, özel aletlerin tasarımının ve işyerinin yerleştirilmesinin önemini azaltmaz. Çünkü çoğu durumlarda bu gibi sorunlara bulunacak çözümler hattın dengelenmesine de katkıda bulunur. Denge hat boyunca birbirini izleyen işlemlerin herbirinin çıktısının eşitliğini belirtir. Şayet hepsi eşit ise tam bir dengeye sahip olduğumuz söylenebilir ve düzenli bir akış bekleyebiliriz.

3.2 Montaj Hattı Kavramı:

Malzemelerin, akış hattı boyunca işgücü veya donanımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki –öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi- kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturulan istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmasıyla oluşan sisteme “Montaj Hattı” adı verilir. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler, ürün durumuna getirilecek yarı ürün önlerinden geçerken, kendilerine ait iş öğeleriyle ilgili bir veya birkaç işlemi yapar. Bu işlemler sonucunda, hatta giren parça ve yarı ürünler, gereken tüm işler yapılmış şekilde, hattın sonundan ürün olarak çıkarlar.

Montaj hatlarında bir ürünün montajı, birçok parça, bileşen ve alt montajın bir araya getirilmesi ve bunların üzerinde bir takım işlemlerin yapılmasıyla gerçekleştirilir. İşlemleri yapacak olanlar, hat boyunca sıralanmış olan işçi grupları ya da diğer bir deyişle iş istasyonlarıdır. Bir montaj hattının temel özelliği, iş parçalarının bir istasyondan diğer bir istasyona hareket etmesidir. Montaj hatları genelde iki farklı tiptedirler: 1) Mekanik olmayan 2) Hareketli bantlı hatlar. Mekanik olmayan hatlar üzerindeki operatörler mekanik olarak ilerleme etkisinden bağımsızdırlar. Hareketli bantlı hatlar ise, bir konveyör bandıyla karakterize edilmiş ilerleyen hatlardır.

Montaj hatlarının diğer bir sınıflandırması da, üretilen ürünlerin/modellerin sayısı ile ilgilidir. Tek ürünlü hatlarda bir tek ürünün üretimi söz konusudur. Çok ürünlü hatlarda, iki ya da daha fazla benzer tipteki ürünler kümeler halinde ayrı ayrı üretilirken, karmaşık ürünlü hatlarda, iki ya da daha fazla benzer ürünü aynı anda üretmek mümkündür.

3.3 Hat Dengeleme (Line Balancing) Kavramı:

Mamule göre yerleştirmede, oldukça kısa bir zamanda geniş hacimde üretim yapılmakta ise de, üretim hattı bir kez kurulduktan sonra, bu tür yerleştirmede, işleme göre yerleştirmede pek o kadar önemli olmayan bir takım problemler ortaya çıkar.

Bu oldukça karmaşık problemlerden birisi de Hat Dengeleme problemleridir ki, buna işlemlerin ve istasyonların eşit zamanlar ve istenilen üretim oranını karşılamak için gerekli zamanlar bakımından dengelenmesi problemleri de diyebiliriz.

Literatürde bu tür problemler için genellikle iki performans kriterlerinden bahsedilir. i) Çevrim zamanının enazlanması, ii) İş istasyon sayılarının enazlanması.

Montaj hattında meydana gelen bu problemlere çözüm getirmekteki amaç, elemanter işler arasında bulunan öncelik şartlarını sağlayacak, her istasyondaki toplam işyükü zamanı, verilen çevrim zamanından büyük olmayacak ve istenilen performans kriterini sağlanacak şekilde, görevlerin iş istasyonlarına atanmasıdır. Elemanların istasyonlara eşit olarak atanması sonucunda boş zamanın (her ne kadar pratikte tamamen yok edilmesi mümkün olmasa da) minimum seviyeye indirilmesi mümkün olabilecektir. Dolayısıyla boş zamanın getirdiğı maliyet külfetinden de kurtulmak mümkün olacaktır. Montaj hattı tam dengelenirse, üretim akışı gecikmesiz olur.

Ürün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp süreleri enazlayacak şekilde atanması olayına, bir başka tanımla iş öğelerinin iş duraklarına özgülenmesine, “**Montaj Hattı Dengeleme (Asseby line balancing)**”; veya kısaca “**Hat dengeleme (Line balancing)**” denir.

Parçaların monte edilerek bir mamül meydana getirilmesi genellikle elle yapılan bir işlemdir. İşçiler parça veya komponentleri ana gövdeye el veya basit portatif el aletleri ile yerleştirirler. Üretim hatları veya montaj hatları mamülün konveyörle taşınması dolayısıyla iş gücünden tasarruf sağlar.

Aynı zamanda mamüllerin bir operasyondan diğetine direkt geçişi dolayısı ile yarı mamül stokları ve iş takibinde ortaya çıkan (İş emri vb.) yazışmalarında çoğı elimine edilmiştir.

3.4 Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Montaj hatlarında bir mamülün montajı birçok parça bileşen ve alt montajın bir araya getirilmesi, bunların üzerinde bazı işlemlerin uygulanması ile başlar.

Montajın teknik özelliklerinden dolayı bazı iş elemanlarının zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü öncelik ilişkileri ismi altında toplanır. Montaj üretiminde en önemli işlem işlerin sıraya dizilmesidir. Bir hattın birim zamanda ürettiği mamül miktarı, hat boyunca düzenlenen iş istasyonlarından en fazla zaman alanı ile sınırlıdır. Öte yandan işlerin dengeli biçimde istasyonlara dağıtılamaması halinde kısa süreli işlerin tevdi edildiği istasyondaki işçilerden yararlanma oranı azalacaktır. Bu itibarla her bir iş istasyonuna eşit miktarda iş tahsis edilmesine özen gösterilmelidir. Bu tahsisin sonucundan beklenen özellikler; istenilen üretim hızının gerçekleşmesi ve iş istasyonları sayısının minimum olmasıdır.

Montaj hattının etkin olarak çalışabilmesi için iyi bir donanım dengesinin sağlanması gerekir. Her iş istasyonundaki makine ve donanım kapasitesi yaklaşık eşit olmalıdır. Benzer şekilde iyi bir işgücü dengesi için her iş istasyonu zaman etüdü analizleri ile kesin olarak karar verilen eşit zamanda eşit iş tahsisi yapılmalıdır.

Hat üzerinde arka arkaya gelen iş parçalarının kendi yanında yığılmasını önlemek için işçi işini verilen zamanda belirli bir hızda yapmalı ve iş parçasını bir sonraki istasyona geçirmelidir.

Hat üzerindeki işlemlerin bölünme ve basitleştirilmesi aynı zamanda işçi yetiştirilmesi için gerekli toplam zamanı azaltır, yetiştirme kolaylığı nedeni ile işgücü tedarik maliyeti azalır.

Önceden kararlaştırılmış hızda ve bilinen maliyetlerde düzgün imalat akışı müşterilere söz verilen teslim tarihinde ve miktarın gerçekleşmesine neden olur.

İşlem sürelerindeki belirsizliklerin az olduğu basit sistemlerde karmaşık matematik yöntemlere başvurmadan dengeleme yapmak mümkündür. Örneğin; A, B ve C gibi işlemlerden oluşan bir sistemde A ve B eşit, C farklı süreli olsun. Çeşitli olasılıklar karşısında alınabilecek önlemler vardır. Eğer C'nin süresi diğerlerinden büyükse;

- a) Sisteme C işlemini gören paralel bir tezgah eklenebilir, yani kapasite artırılır.

- b) C işlemi ikiye bölünür, yani sisteme seri olarak yeni bir tezgah eklenir.
- c) İş basitleştirme ile C'nin süresi kısaltılmaya çalışılır. C'nin süresi diğer ikisinden kısa ise;
 - a) A ve B'yi oluşturan faaliyetlerden bazıları C'ye aktarılır,
 - b) C'nin yapıldığı tezgahın hızı azaltılır,
 - c) C'nin yapıldığı istasyona bazı ek işler daha verilir.

Tezgah kapasitelerinin iyi dengelenmesi işçilerin yüklerinin de iyi dengelendiği anlamına gelmez. Bazı hallerde, tezgahların yanı sıra işçilerin yüklerini de ayrıca dengelemek gerekebilir. Özellikle basit makinelerin yer aldığı ve işçilik maliyetinin yüksek olduğu sistemlerde çeşitli yöntemlerle işçilik sürelerinin dengelenmesine çalışılır. İşçilik dengesinin tam olması, üretim hattındaki her işçiyi normal çalışma süresinin tamamında çalıştırmak anlamına gelir. Hiç kuşkusuz bu ideal durumdur ve pratikte amaç ideale mümkün olduğu kadar yaklaşmaktır. İşçilik yükünün dengelenmesinde başvurulacak çarelerden bazıları şunlardır;

- 1) İki veya daha fazla tezgahta bir işçi çalıştırmak: Otomatik işlem süresi uzun olan iki veya daha fazla tezgah bir işçi tarafından kontrol edilebilecek şekilde yanyana getirilebilir.
- 2) İki kısa işlemin bir işçi tarafından yapılması: İki işlemin toplam süresi diğerleri kadar veya az ise bunlar bir işçiye verilir. İşçi bir işlem ile meşgulken diğerinin yapıldığı tezgah boş kaldığından, bu yoldan meydana gelen kaybın işçilik tasarrufundan küçük olmasına dikkat edilmelidir.
- 3) İşçinin yükünü artırmak: İlk iki yoldan bir dengeleme olanağı yok ise yükü az olan işçiye muayene, çapak alma, temizleme gibi ikinci dereceden ek işler verilerek vaktinin doldurulmasına çalışılır.
- 4) İşçileri çalışma hızlarına göre dizmek: Üretim hattı üzerindeki daha kısa süreli işlere tecrübeli az veya çalışma hızı düşük işçiler yerleştirilir.

İş akışını düzgünleştirmek veya yeniden şekillendirmek amacı ile başvurulacak çarelerden biri de ara depolar kurmaktır. Ara depolar üretim akışının yeniden düzenlenmesi için gerekli yarı mamul birikimini sağlar. Buna göre;

- a) Bir hat üzerindeki işlemleri birden fazla hat üzerinde bulunan daha yüksek frekanslı alt işlemlere ayırmak,
- b) Değişik frekanslı alt işlemleri bir hat üzerinde bulunan ana işlemlerde gruplandırmak,
- c) Tek hat üzerindeki işlemleri yine bir hat üzerinde bulunan alt işlemlere ayırmak,
- d) Değişik frekanslı üretim hatlarını aynı frekanslı üretim hatlarına dönüştürerek üniform bir akış sağlamak amaçları ile fabrika içinde ara depolar kurulabilir.

Görüleceği üzere ara depolar;

- 1. Üretim hattının bir yandaki belirsiz akışı diğer taraftan ayırmak,
 - 2. Akış tipinin veya hızının değişmesine olanak sağlamak ve,
 - 3. Mamul deposundaki faaliyetleri azaltmak fonksiyonlarını yerine getirmektedir.
- Ara depoların sakıncaları, fabrika içinde yer işgal etmeleri ve para bağlanmasına neden olmalarıdır. Ara depo kurmadan önce yarar ve sakıncaları dengeleyecek analiz tekniklerinin uygulanması yerinde olur.

3.5 Montaj Hatları Dengelemenin Amaçları

Bir montaj hattının kurulmasında ulaşılması gereken amaçlar şunlar olabilir. İşlemleri en kısa sürede tamamlamak, makina kapasitelerini enüst seviyede kullanmak, düzenli bir malzeme akışını sağlamak, atıl kalan süreleri en aza indirmek, üretim maliyetini enküçükmek. Montaj hattı dengelemenin amaçları birbirleriyle çeliştiklerinden hepsini birden enüst düzeye ulaştırmak olanaklı olmayabilir. Dengeleme de amaç, bu çelişkilerin gözönüne alınarak en uygun çözüme ulaşılmasıdır. Bu yapılırken, montaj maliyeti de en küçükmelidir.

Dengeleme işleminde düşünölen etmenler içinde, maliyet etkisi olan iki değışken, işgücü büyüklüğü(ınsan gücü maliyeti) ve hattın uzunluğudur(kullanılan alan, sermaye maliyeti).

Bir montaj hattının kurulmasında ulaşılması istenen amaçlar aşağıdaki gibidir:

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

3.6 Montaj Hatlarının Dengelenmesini Etkileyen Temel Etmenler ve Kısıtlar

3.6.1 Temel etmenler

Montaj hattı dengelemeyi etkileyen temel etmenler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

3.6.1.1 Mühendislik spesifikasyonları, işlemler arası öncelikler ve gerekli kaynak gereksinimleri

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

3.6.1.3 Kullanılan aygıt ve makinalar (bazı aletlerin, montaj hattının birden çok yerinde kullanılmasına gerek duyulabilir; böyle durumlarda aynı alet grubunu birden fazla işlemcinin kullanabileceği şekilde, bazı istasyonları ardarda yerleştirmek gerekebilir.)

3.6.2 Kısıtlar

3.6.2.1 Çevrim süresi: Çevrim süresini; verilmiş net üretim hedefi, brüt çalışma süresi ve tolerans yüzdesi (yani kontrol edilemeyen nedenlerle yitirilen süreler ve önceden tasarlanmış duruş süreleri toplamının, brüt çalışma süresinin yüzdesi olarak ifadesi) birlikte belirler. Bir adet ürünün, üretimi sırasında herhangi bir istasyonda işlem görebileceği en büyük süre değeridir. Bir istasyona atanan iş öğelerinin süreleri toplamı, çevrim süresini aşamaz.

3.6.2.2 Öncelik ilişkileri: Tüm montajın içerdiği iş öğelerinin kendi aralarında söz konusudur. Yani bir iş öğesinin yapılmaya başlanabilmesi için diğer iş öğesi veya öğelerinin kesinlikle bitirilmiş olması gerekebilir. İstasyonlara yapılan iş öğesi atamalarının, bu öncelik ilişkilerine aykırı olmamaları, gözönünde bulundurulmaları zorunludur.

3.6.2.3 İstasyon yükü kısıtı: Montaj hattında bazı istasyonların yüklerinin, çevrim süresinin %100'ünden az olması yeğlenebilir. Bu özellikle, ilk istasyon veya istasyonlarda, hattın başında olabilecek aksamaların, tüm hatta etkisini azaltabilmek için yapılabilir.

3.6.2.4 Aynı istasyona atanması istenen iş öğeleri: Bu özelliğe sahip işlerin aynı veya birbirini izleyen istasyonlara atanmaları gerekir. Böyle durumlarda bir iş öğesi alt grubu, tek bir iş öğesi gibi düşünülebilir. Örneğin, özel aygıt kullanımını gerektiren iki iş öğesinin aynı işçi tarafından yapılması, ikinci bir aygıt gereksinimini ortadan kaldıracağından istenilen durumdur.

3.6.2.5 Aynı istasyona atanmaması istenen iş öğeleri: Bu özelliğe sahip bir iş öğesi, diğer bazı iş öğeleriyle, aynı istasyona atanamaz. Örneğin, aşırı fiziksel güç uygulamasını gerektiren iki iş öğesinin, iş yükü açısından ayrı istasyonlara atanmaları istenebilir. Benzer şekilde, birden fazla iş öğesi, teknolojik olarak istenmediği için aynı işlemciye atanmazlar

veya en azından bir aracı istasyon ile birbirinden ayrılırlar. Titreşimli bir çalışma ile, hassas ölçme gerektiren bir çalışmanın ayrılması gibi.

3.7 Montaj Hattı Dengelemesinde Kullanılan Temel Kavramlar

3.7.1 İş ögesi (Work element):

İşler, temel hareketlerden veya iş parçacıklarından oluşur. İş ögeleri toplam işin, uygun ve pratik en küçük alt parçalarıdır ve bu iş parçacıklarının bir veya birkaçı tarafından oluşturulur. İş ögesi (Work Element); üretim süreci içerisinde toplam iş içeriğinin, mantıksal olarak bölünmüş bir parçasıdır. (Carlson,1962). Diğer bir görüşe göre iş ögesi; montajcılar arasında gereksiz karışıklıklara neden olmadan, iki veya daha fazla işçi arasında paylaşılması olanaksız en küçük iş birimidir. Yani toplam işin kaç aşamada tamamlanacağını ve bunların hangi aşamalar olacağını belirleyen, işi yeterli ve anlamlı 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 söz konusu olunca, mantıksal iş ögesi, beş deliği birden açmayı içeren iş grubu olarak tanımlanmalıdır. Ayrıca bu işlem otomatik bir tezgahta bir seferde yapılıyor ise o zaman beş tane delik açma işi tek bir iş ögesidir.

El işleri, el hareketleri veya Therblig esaslarına göre bölünürler. Burada bölünen kısımlar bir kronometreyle ölçülemeyecek kadar kısa bir süreli olabilir. Bu sebepten bunlardan birkaç adedi sağlıklı bir şekilde zamanları ölçülebilecek hale gelmeleri için gruplandırılırlar. Bir işlemi elemanlarına ayırmak için üç kaide vardır. Bunlar:

- a) Elemanlar sağlıklı bir şekilde ölçülebilecek kadar kısa süreli olmalı,
- b) Taşıma zamanı işleme zamanından ayrılmalı
- c) Sabit elemanlar değişken elemanlardan ayrılmalıdır.

Sabit elemanlar, bir parçanın boyu, ağırlığı, şekli, ölçüsü gibi faktörlerin dışında kalan elemanlardır. Örneğin bir tenekeyi lehimleyen tenekececinin havaya uzanması, alması sabit bir

elemandır. Teneke cidarını lehimle teneke boyunca lehimlemesi değişken bir elemandır. Çünkü lehimleme işlemi teneke boyuna göre değişmektedir.

3.7.2 İş istasyonu (Work stations)

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

3.7.3 Toplam iş süresi (Total work content)

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

T_i : i nolu iş öğesinin işlem süresi

Olmak üzere

$\sum T_i$ şeklinde hesaplanır.

3.7.4 İş istasyon süresi (Work station time)

Bir iş istasyonunda yapılması gereken iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır. Yani, istasyona gelen bir parça üzerinde o istasyonda yapılması gereken ilk iş öğesinin başlangıç anı ile son iş öğesinin bitiş anı arasındaki süre farkıdır. Bir iş istasyon süresi, o hattaki iş öğesi sürelerinin en büyüğünden küçük, çevrim süresinden büyük olamaz. (Paralel istasyon kullanılmaması durumunda)

3.7.5 Çevrim süresi (Cycle time)

Bir iş istasyonundaki işçinin işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği “süre”dir. İş istasyonu süresine eşit olabilir. Yani diğer anlamda ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süredir.

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 için iş tamamlama ve başlatma arasında bir süre geçer. Ayrıca o istasyondaki tüm işler bitmesine rağmen çevrim süresi dolmamış olabilir.

Teorik olarak çevrim süresi gerçekleşmesi istenen üretim hızından hesaplanabilir. Örneğin, T süresinde, N adet mamül yapımı isteniyorsa,

$$C = (T/N) \text{ şeklinde hesaplanabilir.} \quad (3.1)$$

Örneğin bir üründen 8 saatlik çalışma süresinde 120 adet üretilmek istenirse, kurulmak istenen montaj hattının çevrim süresi;

$$C = 8 \cdot 60 / 120 = 4 \text{ dk/adet}$$

Olur.

3.7.6 Gerekli en az istasyon sayısı

Montaj hattındaki işlemleri her istasyona, çevrim süresini tümüyle veya enaz bir tanesi dışında tümüyle dolduracak şekilde atadığımızı düşünürsek gerekli en az iş istasyonu sayısı (n_{enk}) şu şekilde bulunacaktır.

$$N_{enk} = \sum t_i / C \quad (3.2)$$

Çevrim Süresinin yarısından daha büyük süreye sahip iki iş öğesinin süreleri toplamı çevrim süresini aşacağı için bu öğeler, aynı istasyona atanamazlar. Dolayısı ile bu durumdaki iş öğeleri ayrı istasyonlarda bulunmalıdır. Bu durumda gerekli iş istasyonu sayısı ($n_{olası}$) şu şekilde bulunacaktır:

$N_{olası}$: Çevrim süresinin yarısından daha büyük süreye sahip olan iş öğesi sayısı

Bu durumda montaj hattını dengelemek için gerekli en az istasyon sayısı (n_{enaz}), bu iki değer en büyüğü olarak tanımlanır:

$$N_{enaz} = \text{enb}(n_{enk}, n_{olasi}) \quad (3.3.)$$

İş ögesi süreleri toplamı 42 dk. olan bir montaj hattının çevrim süresi 4 dk/adet olarak belirlenmişse, bu hattın dengelemek için gerekli enaz istasyon sayısı;

$$N_{enk} = 42/4 \approx 11$$

olacaktır. Bu montaj hattındaki iş öğelerinden 8 tanesinin süresi çevrim süresi olan 4'ün yarısından yani iki'den büyük ise bu durumda;

$$N_{olasi} = 8$$

Ve

$$N_{enaz} = \text{enb}(11, 8) = 11$$

Olacaktır.

3.7.7 Ortalama iş istasyonu süresi(C^-)

Ortalama iş istasyon süresi ise toplam işlem zamanının, iş istasyonları sayısına oranıdır.

$$C^- = (\sum t/n) \quad (3.4.)$$

Bu oran daima C^- 'ye eşit veya küçüktür.

($n \geq n_{enaz}, C \geq C^-$)'dir. (Lehman, 1969).

Örneğin yukarıda verdiğimiz örnekleri montaj hattını herhangi bir dengeleme yöntemi ile dengelediğimizi ve dengeleme sonucu elde edilen iş istasyonu sonucunun 11 olduğunu düşünelim. Bu durumda;

$$C^- = 42/11 = 3.8 \text{ dk/adet}$$

Olacaktır. Ayrıca

$$n \geq n_{enaz} (11 \geq 11)$$

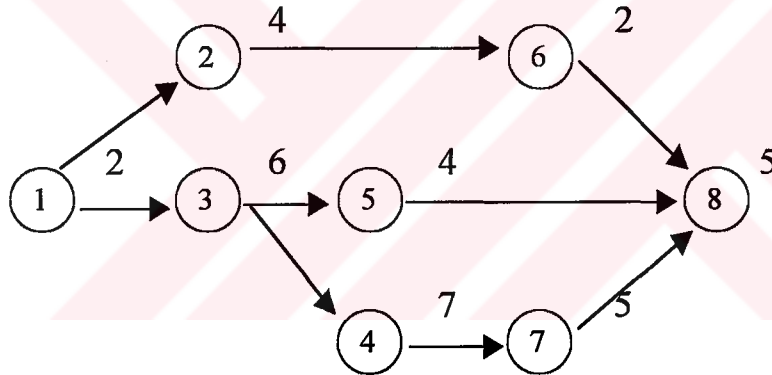
ve

$$C \geq C^* (4 \geq 3.8)$$

Koşulları da sağlanmıştır.

3.7.8 Teknolojik öncelik diyagramı (Technological precedence network)

Montajın teknik özelliklerinden dolayı, bazı iş öğelerinin zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü öncelik ilişkileri adı altında toplanır. (Smedovich,1981). Bu ilişkiler genellikle bir grafik ile gösterilir. Bu grafik gösterim, hat dengeleme sistemlerinde öncelik ilişkilerinin belirtilmesinde çok yaygın olarak kullanılan teknolojik öncelik diyagramıdır.



Şekil 3.1 Montaj hattına ait teknolojik öncelik diyagramı

Bu diyagram; bir ok ile birbirine bağlanmış iki iş öğesinden okun çıktığı yönde bulunanın, okun ucunda bulunan iş öğesinden daha önce alınacağını gösterir. Çemberlerin içindeki numaralar iş öğesi numaralarını, çemberlerin üstündeki numaralar ise iş öğesi sürelerini gösterir. Şekil 3.1’de bir montaj hattına ilişkin teknolojik öncelik diyagramı görülmektedir.

3.7.9 Öncelik matrisi

Teknolojik öncelik diyagramının üst üçgensel matris durumuna dönüştürülmüş şeklidir. (Dar-el ve Rubinovitch, 1979). Bu matriste, aralarında doğrudan veya dolaylı öncelik ilişkisi bulunan iş öğeleri için, matriste önde gelen iş öğesi numaralı satırla; izleyen iş öğeli sütunun keşistiği göze “1”, diğer gözlere ise “0” konur. Şekil 3.1’de verilen öncelik diyagramının Öncelik matrisi Şekil 3.2’de verilmiştir.

SONRAKİ İŞ

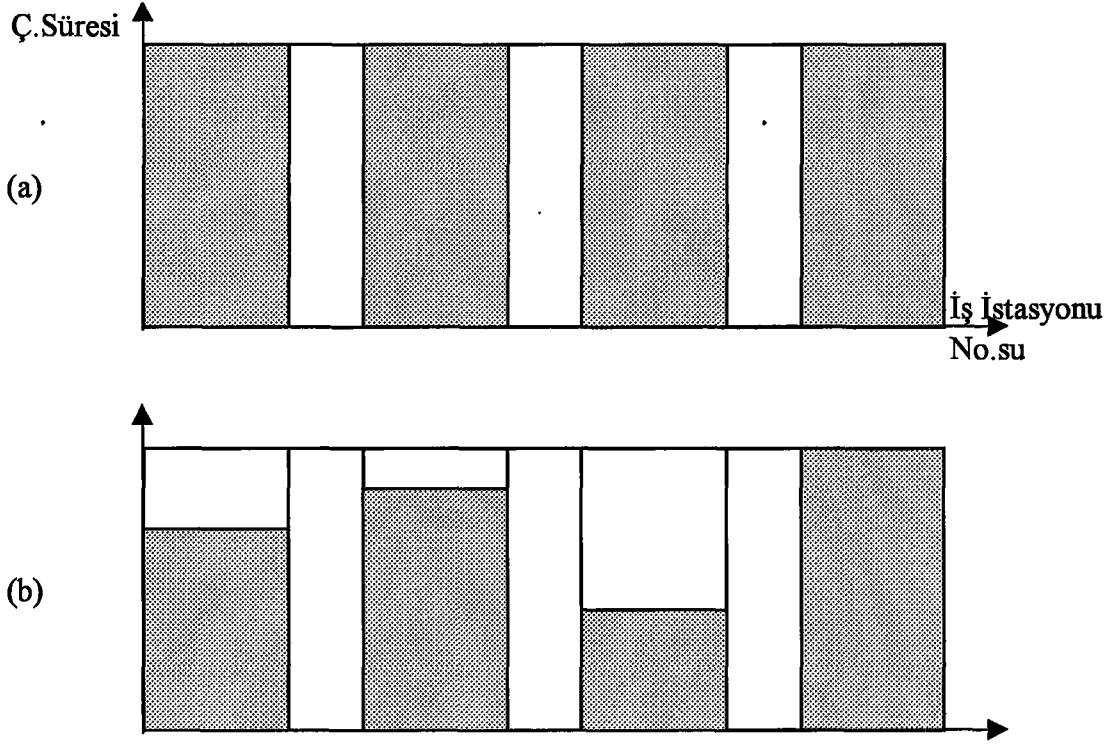
Ö N C E K İ İ Ş		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 3.2 Öncelik matrisi

2.7.10. Denge Kaybı:

İş istasyonlarının üretim hattına dengesiz dağılımından kaynaklanan boş süredir. Denge kaybı, her istasyonda birim üretim için ayrılan toplam süreyle gerekli süre arasındaki farkın, ayrılan süreye oranıdır ve çoğunlukla sıfırdan büyük değerdir. Ancak bu değer ‘0’ olması ideal durumdur.

Denge kaybının bulunmasında kullanılan çevrim süresi (C), eğer tüm istasyon süreleri çevrim süresinden küçük ise , en büyük istasyon süresi olarak alınabilir. Çünkü en büyük istasyon süresi ve C arasındaki fark süre, hiçbir istasyonda kullanılmayacaktır. Dolayısıyla bu fark süreyi, kullanılabilecek süre içinde düşünmek gereksizdir. Şekil 3.3’de tam dengelenmiş ve tam dengelenmemiş hat durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.3 N istasyonlu bir montaj

a) Tam Dengeleme

b) Tam kurulmamış Denge

Örnek olarak çeşitli parçaların birleştirilip monte edilmesiyle elde edilen bir ürün düşünelim.

İş Elemanları	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İşlem Süreleri	5	10	5	2	7	5	10	2	5	7

Bu ürün için maksimum döngü süresi 58 dakikadır. Yani 58 dakikada 1 ürün üretilir. Burada kayıp yoktur. Minimum dönüş süresi 10 dakika olabilir.

Maksimumu oluşturan; iş öğelerinin toplam süresidir.

Minimumu oluşturan; iş elemanlarından enbüyük işlem süresine sahip olandır.

Çevrim zamanını belirlemekteki ana düşünce gerek duyulan üretim hızıdır. Maksimum denge süresi temel alınır 58 dakika da 1 adet üretilir. Günde 8 saat çalışmayla günde 8 adet, ayda $22 \times 8 = 176$ adet üretilir. Eğer on dakikalık bir döngü süresi temel alınır 8 günde ve ayda ne kadar ürün üretilir?

1.'de 1 işçiye 1 ürün yaptırıldı.

Burada ise $58/10 = 5,8 = 6$ işçi çalıştırılır. Her 10 dakika da 1 ürün elde edildiği için günde $8*6=48$; ayda $48*22=1056$ adet ürün elde edilir.

Teknolojik sınırlamalar olmadığına göre bu işleri nasıl gruplayalım ki işçinin boş geçen süresi minimum olsun. Sezgisel yöntemler kullanılır. Metod ile istasyon bütünleştirilmeye çalışılır.

Çizelge 3.1 6 İşlem şeklinde gruplanmış 10 eleman

<u>İstasyon</u>	<u>İş Elemanları</u>	<u>İşlem Süreleri</u>	
1	2	10	
2	7	10	
3	1,3	10	
4	6,9	10	
5	4,5	9	(1) Boş Süre
6	8, 10	9	(1) Boş Süre

58 dakikalık bir hat düzenlenirse hiç kayıp olmaz; ayrıca 58/2 dakikalık hatlarda da zaman kaybı olmaz.

Dengeleme kaybı burada da minimumdur. Varsayalım ki 15 dakikalık döngü süresi saptayabiliyoruz. $60/15 = 4$ istasyon oluşturmak gereklidir.

Çizelge 3.2 4 İşlem şeklinde gruplanmış 10 eleman

<u>İstasyon</u>	<u>İş Elemanları</u>	<u>İşlem Süreleri</u>	
1	1,2	15	
2	3,7	15	
3	5, 10	14	(1) Boş Süre
4	4,6,8,9	14	(1) Boş Süre

Varsayalım ki elimizde 2 olanak var,

- (1) 10 dakikalık süreye göre düzenlenecek montaj hattı.
- (2) 15 dakikalık süreye göre düzenlenecek montaj hattı.

Bunların 2'sini karşılaştırmalıyız.

$$10 \text{ dakika} = 6 \text{ işçi} \times 8 \text{ saat} = 48 \text{ adet/gün}$$

$$48 \text{ adet/gün} \times 250 \text{ gün} = 12.000 \text{ adet/yıl}$$

$$15 \text{ dakika} = 4 \text{ işçi} \times 8 \text{ saat} = 32 \text{ adet/gün}$$

$$32 \text{ adet} \times 250 \text{ gün} = 8.000 \text{ adet/yıldır.}$$

Hangisi daha uygun? Bunun saptanabilmesi için değişen talebe göre üretim miktarı

Çizelge 3.3 Değişen talep değerleri için olanaklı çözümler

<u>Talep Edilen Miktar</u>	<u>Cevrim Süresi</u>	<u>Vardiya Sayısı</u>	<u>Hat Sayısı</u>
16.000	15	2	1
	15	1	2
24.000	10	2	1
	10	1	2
	15	3	1
	15	1	3
360.000	10	3	10
200.000	10	1	1

saptamadır.

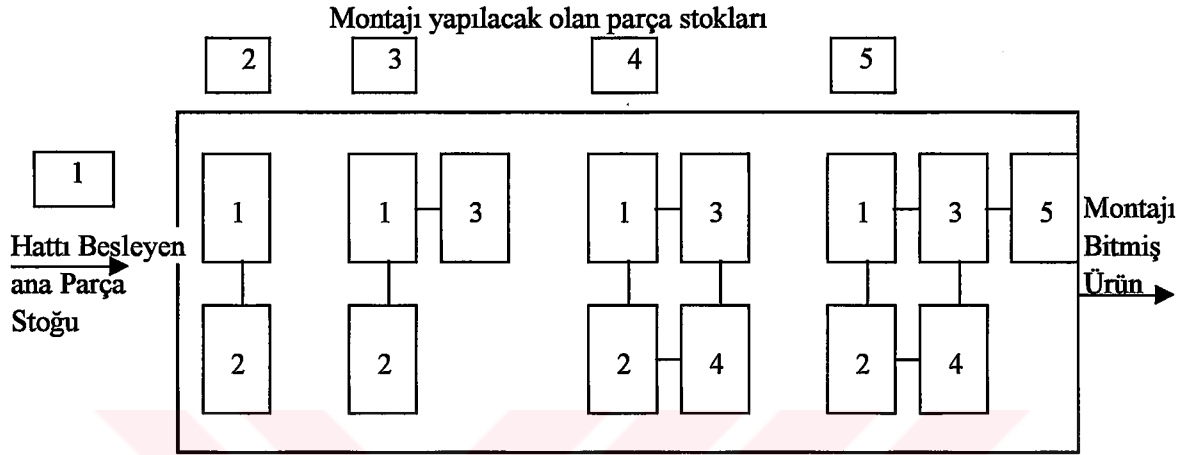
3.8 Montaj Hatlarında Model Sayısının Etkisi

Hem mekanik hem de mekanik olmayan hatlarda, işlerin, yapılacağı istasyonlara atanması istenir. Amaç, iş istasyonundaki işlem veya montaj sürelerini eşitlemektir. Sorun bazen, aynı üretim hattında birden fazla benzer ürün yapılabileceği gerçeğiyle karmaşıklaşır. Bu karmaşıklık üç farklı akış durumunun ve bu nedenle 3 farklı tip hat dengeleme durumunun tanımlanması gereklidir. Montaj hatları üzerindeki bu üç farklı üretim durumu, hat üzerinde yapılması gereken ürün veya ürünlere göre tanımlanır. Montaj hattı, tek bir ürünün üretilmesi için mi kullanılacaktır? Yoksa birçok farklı modeli üretmek için mi kullanılacaktır, eğer öyleyse bunlar hat üzerinde nasıl tasarlanacak ve sıralanacaktır? Bu soruları yanıtlamak için

tanımlanabilecek üç durum vardır: Tek modelli (single model), Çok modelli(multiple model), ve karışık modelli (mixed model) hatlar.

3.8.1 Tek modelli hatlar (Single Model)

Bunlar, tek bir model veya ürünün üretimine ayrılmış özel hatlardır. Bu tip hatların tasarımı daha basittir. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Tek modelli bir montaj hattı

3.8.2 Çok modelli hatlar (Multiple model)

Bu tür hatlarda farklı ürünler veya aynı ürünün iki veya daha çok benzer tipi, ayrı yığınlar halinde üretilir. Her model, bu hat üzerinde ayrı bir yığın oluşturur. Ürünler veya modeller, genellikle iş öğelerinin benzer bir sırasını gerektirir. Bu nedenden dolayı, değişik modellerin üretimi için aynı hat kullanılabilir. Çok modelli montaj hatları, eğer yığınlar büyük ise tek modelli montaj hatlarına; küçük ise karışık modelli montaj hatlarına benzerlik gösterir. (Şekil 3.5’de 1-2-3-4-5 no’lu parçaların birleştirilmesiyle ayrı bir ürün, 6-7-8-9-10 no’lu parçaların birleştirilmesiyle ayrı bir ürün oluşturulacağı gösterilmektedir).

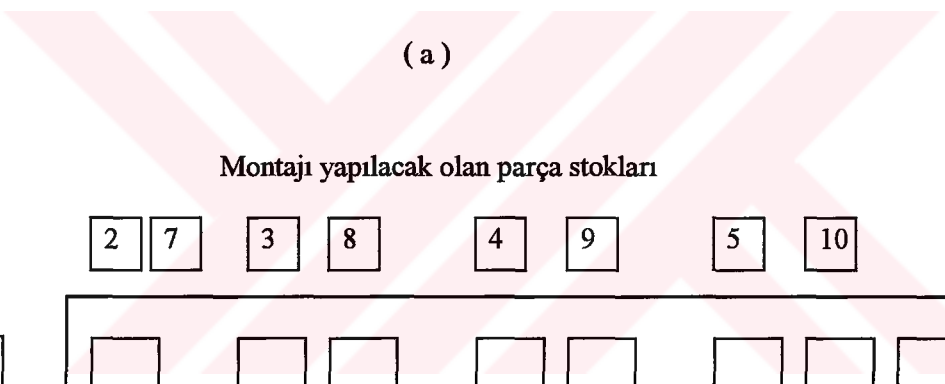
Çok Modelli montaj hattının tasarımı için ilk yordam, başlıca şu adımlardan oluşur.(MONDEN, 1983)

1) Bir çevrim süresinin, istenen üretim hızına bağlı olarak belirlenmesi,

- 2) Gerekli en az iş ögesi sayısının hesaplanması,
- 3) Elemanter iş ögeleri arasındaki birleştirilmiş teknolojik öncelik diyagramının hazırlanması,
- 4) Hattın dengelenmesi,
- 5) Farklı ürünlerin/modellerin hatta verilmeleri arasındaki sürenin saptanması,
- 6) Hatta giren çeşitli ürünler/modeller için bir sıranın belirlenmesi

Öncelikle farklı ürünlerin istenen üretim miktarına bağlı olarak bir ortak çevrim süresi saptanır. Her bir ürünün üretimi için gerekli iş ögeleri saptanıp teknolojik öncelik diyagramları oluşturulduktan sonra bunlar tek bir diyagramda birleştirilir.

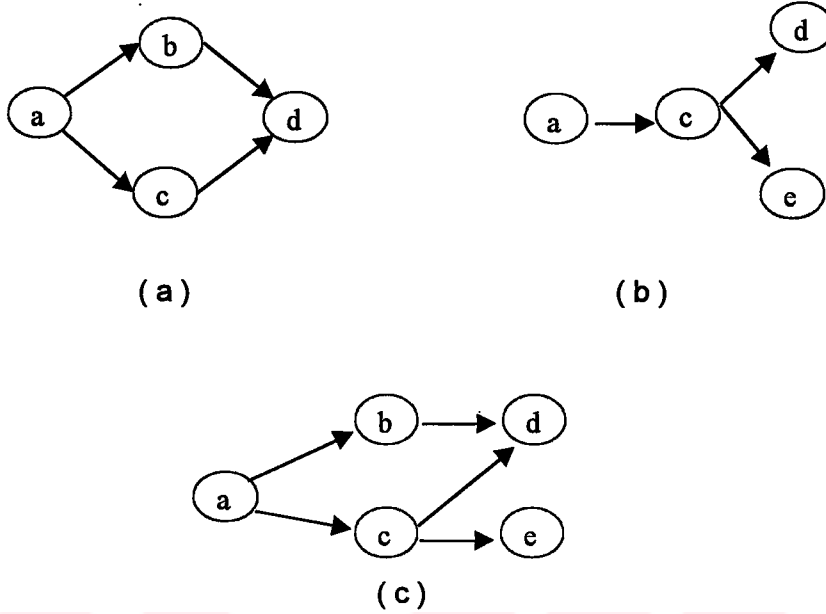
Birleştirilmiş teknolojik öncelik diyagramı kavramı, Thomopoulos (1970) tarafından geliştirilmiş. Macaskill (1972) tarafından formüle edilmiştir. Şekil 3.6'da iki ayrı modelin teknolojik öncelik diyagramları ve bunların tek bir diyagram halinde birleştirilmiş durumu görülmektedir. Birleştirilmiş diyagram, farklı modeller arasındaki öncelik ilişkilerinde bir çelişkinin olmadığı durumlar için uygundur. Örneğin, eğer 1. Modelde A iş ögesi B iş ögesinden önce geliyorsa, diğer hiçbir modelde B iş ögesi, A iş ögesinden önce gelmez (Macaskill, 1972)



(b)

Şekil 3.5 Çok modelli bir montaj hattı

2) Yinelenen her istasyon, özgün olanın iki katı etkin çevrim süresine sahiptir. Bu nedenle daha iyi bir uyum söz konusudur. Bu özellikle, iş öğelerinin bir alt kümesi, çevrim süresine yakın iş öğesi süreleri toplamı kadar süreye sahip olduğunda doğrudur.



Şekil 3.6 Ürün (a) ve ürün (b)'e ilişkin ve birleştirilmiş öncelik diyagramları (c)

- 3) İş öğesi sürelerinin herhangi biri çevrim süresinden büyük olduğunda, istenen çevrim süresinin karşılanması olanaklı olur.
- 4) Bir seri hatta herhangi bir istasyonun başarısızlığı tüm hattın durmasına yol açar. Oysa paralel bir duruma getirilmiş bir istasyonun başarısızlığı, etkinliklerin sürmesini engellemez.

Her ürün/model için hatta giriş periyotlarının ve sırasının belirlenmesi işlemleri hakkında şu açıklamayı yapabiliriz. Ürünleri/Modellerin istasyonlarda kullanacağı süreler arasındaki farklılıklar, dengesiz bir tasarım oluşturabilmektedir. Örneğin A ve B gibi iki ürünün üretileceği bir montaj hattında, istasyonlarda ürünlerin kullanacağı süreler arasındaki fark dolayısıyla, bu istasyonlar bazen fazla, bazen az yüklenecektir. Örneğin 1 no.lu istasyonda A'nın geçireceği süre 0.5 dk., B'ninki ise 0.6 dk. olsun. İstasyon çevrim süresinin bu iki değer arasında σ gibi bir değer olarak tanımlanması durumunda, sözgelişi hatta önce A gelmiş olsa, bu işi σ 'dan daha kısa sürede bitirecek, geriye kalan süre ise, arkadan gelen B'nin ilgili iş öğesine eklenebilecektir. Böylece hem istasyonlarda daha az boş zaman kalacak, hem de daha dengeli bir tasarım elde edilebilecektir. σ , ortalama iş istasyonu çevrim süresi olarak tanımlanabilir ve

C_i : i. Modelin en büyük istasyon süresi

N_i : Hedeflenen üretim hızını sağlayabilmek için, belirlenen sürede, i. Modelden yapılmak istenen üretim miktarı

Olmak üzere;

$$\sigma = (\sum N_i * C_i) / (\sum N_i) \quad (3.5)$$

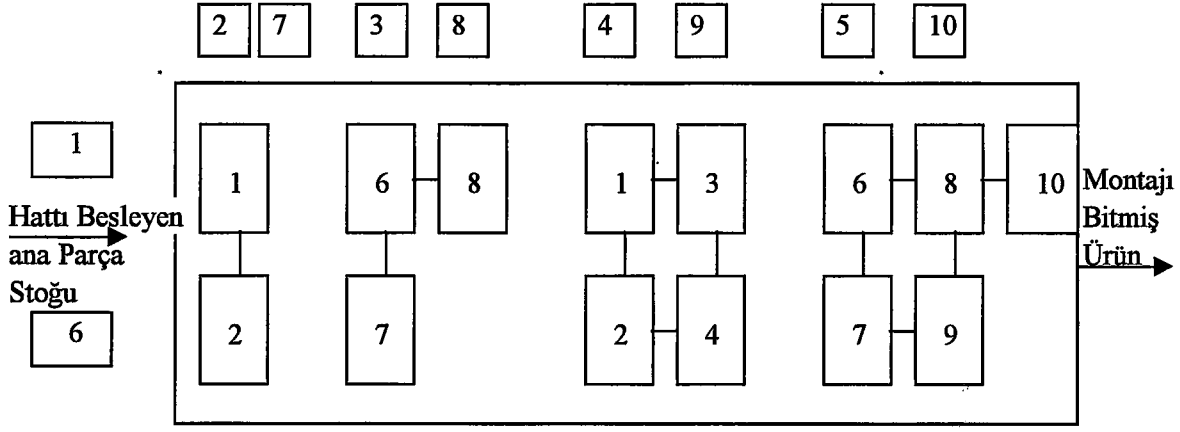
şeklinde hesaplanır. Her istasyona ayrılan ortalama çevrim süresi olan σ , aynı zamanda modellerin hatta verilmeleri arasında geçen süredir. Bundan sonra modellerin hatta hangi sırayla verileceğinin belirlenmesine geçilebilir. Burada amaç, istasyonların boş bekleme zamanlarının en az (olanaklı ise sıfır) yapılması ve darboğazların engellenmesidir. Darboğaz olayı, işin istasyonu beklemesinden oluşur. Bir iş ögesinin istasyonda bekleyebileceği en büyük süre ($C - \sigma$) kadar olabilir. Bu değerden fazla olan bekleme, rijit montaj hatlarında- bekleyen işin, o istasyondaki işleme girmeden diğer istasyona geçmesine neden olur. Esnek montaj hatlarında ise istasyon önünde kuyruklar oluşur. Bu da üretim hızını yavaşlatır. Modellerin sıralanması, bu iki sakıncayı ortadan kaldıracak şekilde yapılmalıdır.

3.8.3 Karmaşık modelli hatlar (Mixed model)

İki veya daha çok benzer ürünün veya bir ürünün değişik modellerinin, aynı anda veya karışık olarak üretildiği montaj hatlarıdır. Bu tür üretimde, kuramsal olarak büyük miktarlarda bitmiş ürün stoklarına gereksinim olmayıp, çok modelli hatların tersine, tüketicinin istekleri, sürekli bir şekilde yapılan üretim ile karşılanır. Otomobil ve Kamyon montaj hatları, bu duruma örnek olarak verilebilir.

Karışık modelli hatlarda gözlenen temel olumsuzluk, modellerin özelliğinden kaynaklanan, ayrı iş parçalarının; eşit olmayan iş akışlarına; boş istasyon sürelerine ve daha fazla istasyon sayısına neden olmasıdır. Bu tip montaj hatlarında oldukça karmaşık tasarım sorunları söz konusudur. (Şekil 3.7)

Montajı yapılacak olan parça stokları



(b)

Şekil 3.7 Karışık modelli bir montaj hattı

3.8.3.1. Karmaşık montaj hatlarının dengelenmesi

Uygulamada çok değişik durumlarla karşılaşmak mümkündür. Örneğin tek bir montaj hattı üzerindeki hızlar değişik olabilir. Akla ilk gelen pratik yaklaşım, emniyet stokları ile bu değişken devir süresi durumunu absorbe etmektedir. Bu konuda yapılmış teorik çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda stokastik dengeleme modelleri geliştirilmiştir.

3.8.3.1.1. Birden fazla modelin aynı hatta yapımı :

Üretilen mamul sayısının artması, sadece montaj hattının tasarımı bakımından değil, aynı zamanda yönetim problemleri bakımından da zor durumlar yaratır ve verim düşer. Birden fazla modeli olan mamulün montaj imalatı böyle oldukça güç bir yönetim sorunudur. Eğer bir firma birden fazla olan bir mamulü bir tek montaj hattından yararlanarak yapmak isterse, bu amaçla iki çeşit çözüm tavsiye edilebilir. Bunun için ya modeller sıra ile aynı hatta yapılır ve hat aynı anda değişik model veya ürünler için kullanılabilir (karışık modelli hat).

3.8.3.1.2. Çok modelin aynı hatta sıra ile yapımı

Belirli bir zamanda bir model parti halinde imal edilir. Arkadan diğer modellere geçilir. Modeller bir birbirlerine hiçbir zaman karşılaştırılmazlar. Bu çeşit üretimin planlanmasında aşağıdaki ana kararların verilmesi gereklidir.

I- Hat nasıl dengelenecektir?

II- Üretim partilerinin hacmi ne olacaktır?

III-Partiler hangi sırayla yapılacaktır (Parti sıralama problemi) ?

IV-İstasyonlar arasındaki kullanılabilir emniyet stoğu kapasitesi ne olmalıdır?

Çok modelin aynı hatta sıra ile yapımının tasarımı, çok sayıda modelin aynı hatta birlikte yapımından daha kolay bir problemdir. Hat ayrı ayrı mamuller için veya aynı mamulün çeşitli modelleri için hazırlanır diğeri için gerekli düzeltmeler yapılır. Dolayısıyla I- kararının verilmesi için kullanılacak yöntemler, daha önce açıkladıklarımızdan farklı olmayacaktır. II- ve III- ile ilgili kararların verilmesinde kullanılan kantitatif yöntemler parti üretim planlamasında daha değişiktir.

Çeşitli modellerden oluşan bu partilerin optimum imalat sırasının tespiti pek doğal olarak montaj hattının üretime hazırlanması maliyeti ile ilgilidir.

Hattın hazırlık maliyeti, makinalardaki değişen parçalar ve takım, yenilenen takım ve makinalar, makine ve işçilik boş zamanlarının vs. maliyetinden oluşur.

Ayrıca bu maliyetler önce gelen ve önce geleni izleyen modellerin yapısı ile büyük ölçüde ilgilidir. Dolayısıyla problem, partiler halinde yapılacak modellerin, verilen bir zaman periyodu içindeki toplam hazırlık maliyetlerini en aza indiren üretim sırasını bulmaktır. Bu çeşit kantitatif yöntemler kullanılabilir.

3.8.3.1.3. Çok modelin aynı hatta birlikte yapımı

Bu durumda, modeller karıştırılır. O şekilde karıştırılır ki, karıştırma oranıyla belirli bir zaman süresi içinde her bir modele olan talep miktarı karşılanabilsin. Otomobil imalatında durum çok kez böyledir.

Bu çeşit üretimin planlanmasında ise, aşağıdaki kararların verilmesi söz konusu olabilir.

I- Hat nasıl dengelenecektir?

II- Modeller hangi sırayla devreye girecektir. (Model sıralama problemi) ?

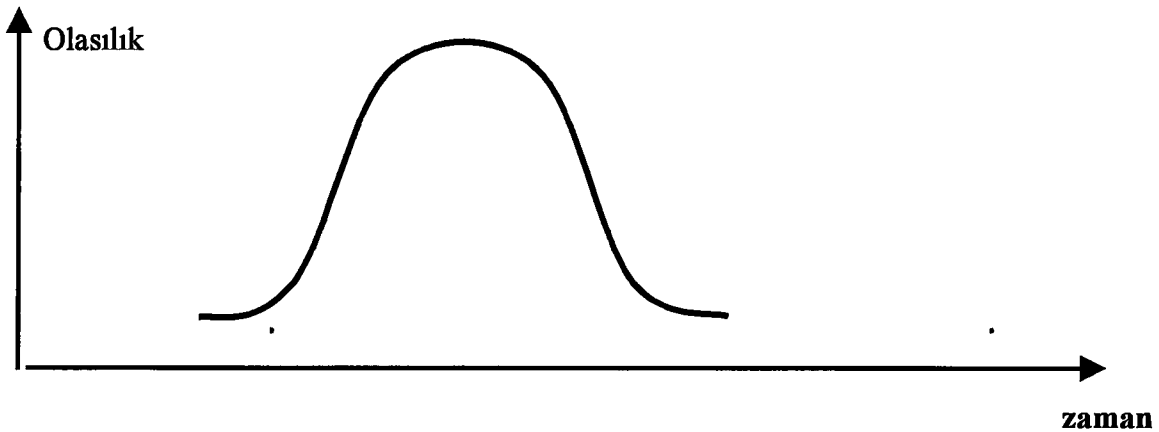
III- İstasyonlar arasında kullanılabilecek emniyet stoğu kapasitesi ne olmalıdır?

Karışık modelli üretimin en önde gelen yararı, müşteri isteğini karşılamak üzere değişik modellerin sürekli olarak imal edilmesi ve büyük bitmiş mamul stoklarına ihtiyaç duyulmamasıdır.

Modellerin değişik işlem zamanlarından doğan zararlı yönleri ise; iş akışının muntazam olmaması, dolayısıyla daha fazla istasyon boş zamanları, yarı bitmiş mamullerden oluşan yığınlardır. Bu çeşit bir montaj hattının tasarımı ve çalıştırma sorunları çok güçtür ve bu amaçla uygun analitik yöntemlere rastlanmamaktadır. Ancak teklif edilen bazı yaklaşımlardan söz edilebilir.

3.9. Montaj Hatlarının Tasarımında İnsan Unsuru

Genelde ele alınan örneklerde işlem sürelerinin, işin standart zamanı olarak ve sabit bir değer olarak ele alınmıştır. Alınacak bütün tedbirleri rağmen, işlem zamanları sabit olmaz. Örneğin hatta hatalı malzeme veya parçanın gelmesi, normal tempoda çalışan bir işçinin, montaj işlemini tamamlanmasını geciktirir. İşçi elindeki aletini düşürebilir veya dikkatini dağıtabilir veya yanındaki ile konuşmaya dalebilir. Bu ve buna benzer nedenlerle işlem süresi artar. Dolayısıyla insan yerine makine kullanan otomatik transfer hatlarının tasarımında yukarıdaki yöntemlerde ele alınan “sabit işlem zaman” kabulü geçerli olur, fakat kullanıldığı montaj hatlarında bu varsayım geçerli olamaz. Yapılan tecrübelerle göre, işlem sürelerinin aşağıdaki biçimde bir dağılım gösterdiği bulunmuştur. (Şekil 3.8)



Şekil 3.8 Montaj hatlarının tasarımında insan unsuru

Açıktır ki, eğer sabit standart zamanlara göre bir montaj hattı tasarlanırsa, işçi işini zamanında tamamlayabildiği gibi, bazı durumlarda da bunu gerçekleştiremeyecektir. Bu durum “rijit tempo” durumu olarak isimlendirilir. Yani işçinin işini tamamlayabilmesi için bir serbestlik payı yoktur. Bu durumda mamul kısmen tamamlanmış olarak ilerleyerek diğer istasyona gidecek ve neticede reddedilecektir. Diğer durumda ise (erken bitirirse) boş bekleyecek ve işçiden tam olarak yararlanılmayacaktır. Bu olay “sistem kaybı” olarak tanımlanır ve montaj hattında çalışan işçilerin herhangi bir şekilde tempo düşüklüğü gösterebileceği üretimde kayıma çıkar. Şu halde, sistem kaybı iki şekilde oluşmaktadır;

1- Reddedilen mamuller ile

2- Boş kalan işçi zamanları ile

İşçilerin değişken işlem zamanları göstermelerinden doğan sistem kaybı, işlerin iş istasyonlarına uygun bir şekilde dağılmamalarından doğan denge kaybından daha önemli kabul edilebilir. Bu nedenle, montaj hatlarının dengelenmesinde işlerin, işçilerin hızlarına uyumu, önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sistem kaybını ortadan kaldırmak veya azaltmak için 3 yol düşünülebilir.

İlk akla gelen çözüm, devir süresini arttırmak olabilir. Bu takdirde işçinin kullanılabilir süreden daha kısa süre içinde işini bitirme olasılığı artacaktır. Ancak bu çözüm toplam sistem kaybını azaltmaz. Böyle bir yola hatalı ve tamamlanmamış mamullerin maliyetinin özellikle çok büyük olduğu mamullerin üretiminde baş vurulabilir.

Genellikle devir süresini çoğaltmaya karşı çok az bir eğilim vardır.

Birinci çözüm yolu, problemin sebebini (yani gecikmeyi) ortadan kaldırmaya yönelik olabilir. Bunun için iki pratik usulden söz edilebilir. Örneğin işçinin faydalanabileceği zamanı devir süresine dokunmadan arttırmak mümkün olabilir. Yürüyen bir bantın etrafında montaj yapan işçileri düşünelim. İşçiler bu bant üzerinde bir sepet ile gelen yarı mamule ek bir parça daha takmak için parçayı yeniden sepete koymaktadır. Böylece söz konusu istasyonda işi biten parça diğer istasyona gitmektedir. Bantın hızında ve sepet aralıklarında yapılacak uygun bir düzeltme ile işçiye montaj işlemi için daha uzun bir süre ayırmak mümkün olabilir. Örneğin, dakikada 2.5 m. hızla giden bir banta 2.5 m. aralıkla sepetler yerleştirilmiş olsa, üretim hızı saatte 60 adettir. Aynı üretim hızı dakikada 125 cm. hızla giden ve sepetleri 125 cm. aralıkla

yerleştirilmiş bir bant ile de gerçekleştirilebilir. Oysa işçinin kullanılabilir zamanı, sepet tam önüne gelmeden, veya uzaklaştıktan sonra her iki yönde de uzanabileceğinden birincisinden fazladır. Böylece işçinin geri kalma etkisi ve dolayısıyla sistem kaybı kolayca azaltılmış olur.

İkinci bir yol; bir işçinin yaptığı işin, yanındaki işçinin yaptığı işle ilgili olması durumunda uygulanabilir. Eğer bir istasyondaki işçi, işi elinde fazla tutarsa, yanındaki işçi bu yüzden fazladan bekleyecektir. İstasyonların tasarımıyla bu birbirine bağımlılık azaltılırsa, bir işçinin geri kalmasının etkisi, diğer istasyonlara sıçratılmaz.

Üçüncü yol; istasyonlar arasında emniyet stokları bulundurmaktır. İşçi gecikme halinde, stoğunda bulunan parçaları banta koyarak, üretimin aksamasını önler. Ancak bu da pahalı bir yoldur. Uygulamanın da küçük boyda montaj parçaları için yapılabileceği açıktır.

3.10 Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

3.10.1 Yönteme göre sınıflandırma

Montaj hatlarının dengelenmesinde kullanılan üç tür yöntem vardır. Bunlar;

3.10.1.1. Sezgisel (Bulgusal) yöntemler

3.10.1.2. Analitik yöntemler

3.10.1.3. Benzetim teknikleridir.

3.10.1.1 Sezgisel (Bulgusal yöntemler)

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

Şimdiye kadar gerçekleştirilen, oldukça çok sayıda sezgisel yöntem vardır. Bu yöntemlerin çoğu çevrim süresini sabit kabul ederek istasyon sayısını ve buna bağlı dengeleme kaybını

enazlamaya çalışır. Birkaç tanesi de istasyon sayısını 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 bakımdan ayrılırlar. Örneğin Jackson, Kilbridge-Wester ve Salveson'un geliştirdiği yöntemlerde sezgiler ön plana çıkarlar. Oysa diğer yöntemler, belirli prosedürleri uygulamayı gerektirir. Yine bazı yöntemler işlem sürelerini kullanırken, bazıları öncelik sıralarını gözönüne alarak ileriki işlem sürelerini de kullanırlar.

3.10.1.2 Analitik yöntemler:

"Matematiksel Programlama Yöntemleri" olarak da anılan bu yöntemler en uygun sonucu verirler.

Bu tip yöntemlerin en önemli örneği, 1960'da E.H.Bowman tarafından geliştirilen, Doğrusal Programlama ile Çözüm" olup, yeni modellerde geliştirilmektedir. Bu yöntemler de 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.

3.10.1.3 Benzetim teknikleri:

Benzetim (Simülasyon Tekniği), yöneticinin bilgisayar kullanımı yoluyla karar vermesini kolaylaştırır. En yaygın 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, İşletme, 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 uygulamasındaki en önemli gerekçeler şöyle sıralanabilir:

- 1) Gerçek yaşamda, herhangi bir sistemi veya işlem dizisini gözleme ya olanaksız veya çok masraflı olabilir.
- 2) Gözlenen 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) Modelin tasarımı ve kullanımı, zaman alıcı ve masraflıdır.
- 2) Her benzetim modeli diğerinden farklıdır. Bunun sonucu olarak model doğrulaması, çok dikkat isteyen ve zor bir iş olarak belirir.
- 3) Benzetim modelleriyle en iyi sonuçları bulmak çok zordur. Bu ise, benzetim modellerinin, çözülen modellerden çok, deneysel modeller olmalarından kaynaklanır. Diğer bir deyişle benzetim tekniği, seçeneklerin değerlendirilmesinde daha yaygın olarak kullanılır.

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 en iyi 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 en uygun çözümden çok daha anlamlı ve kullanılabilir olmaktadır.

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

3.10.2 Probleme göre sınıflandırma

Montaj hattı dengeleme problemi, çeşitli tiplerde olabilir:

3.10.2.1 Amaç sayısı: Tek ve çok amaçlı olabilir. Amaçlar; çevrim süresini en uygunlaştırmak, istasyon süresini enazlamak, dengeleme maliyetini enküçükmek vb. olabilir.

3.10.2.2 İşlem sürelerinin karakteri: İşlem süreleri sabit (Deterministik) veya değişken (Stokastik) olarak düşünülebilir. Uygulamada değişken sürelerle karşılaştırılmasına rağmen klasik hat dengeleme yöntemlerinin çoğu sabit iş süresi kabulü ile geliştirilmiştir.

3.10.2.3 Ürün/Model sayısı: Akış hatlarının tiplerine bağlı olarak montaj hatlarında ya bir ürün, ya bir ürünün birden çok modeli veya birden çok model üretilir.

3.10.2.4 Paralel tezgah durumu: Montaj hatlarında paralel tezgah 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.

3.10.2.5 İstasyondaki adam Sayısı: Bir istasyona bir veya birden çok işçi özgülenebilir. Bir işçi özgülenmesinin işlerin zamanında bitirilememesi, birden çok işçi özgülemesinin ise fazla masraflı olabilmesi gibi dezavantajları vardır.

3.10.2.6 Hattın Durumu: Montaj hattı sabit veya hareketli olabilir.

3.10.2.7 İstasyon Durumu: İşlemler; insanlı (Manuel), otomatik veya karma şekilde yapılabilir.

3.10.2.8 Kaynak kısıtı: Malzeme, işgücü, makina, üretim alanı vb. kaynaklar kısıtlı olabilir.

3.10.2.9 Malzeme ikamesi: İşlemler sırasında bir malzeme, bir başkasının yokluğu durumunda onun yerine kullanılabilir.

3.10.2.10 Kusur oranının verilmesi durumu: Yarı ürün istasyonlar da işlenirken kusurlu parçalar ayıklanır. Bu durumdaki parçaların oranının, sınırlar içerisinde kalması istenebilir.

3.10.2.11 Özel problemler: Öğrenme, maliyet katılımı, özgülenen işlerin istasyon içinde sıralanması vb. gibi özel durumlar istenir.

4. MONTAJ HATTI Dengelemede Klasik Yöntemler

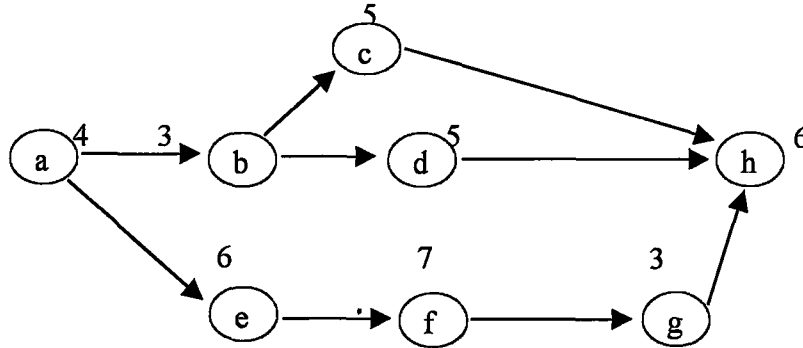
4.1 Aşamalı Sıralamayla Çözüm (Jackson (1956))

Bu yöntemin ana mantığı; çevrim süresini aşmadan, öncelik koşullarına da uyarak tüm işlemlerin olası tüm kombinasyonlarını aşamalı olarak belirlemektir. Daha sonra, çözümü basitleştirmek için bazı sadeleştirmelerin yapılma esasına dayanır.

- 1) Aynı işlemler, ayrı diziliş sıralarında olmasına rağmen aynı işlemleri içeriyorsa, bunlardan biri ile devam edilir, geri kalanlar çözümden çıkarılır.
- 2) Çok ögeli kümeler arasında yalnız birer ögeleri ayrı olanlar varsa ve bu ayrı ögeler, hemen ilerideki aynı komşu noktaya bağlanıyorsa, bu ayrı ögelerden, daha küçük sürelerini 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 öge sayıları artar. Bir aşamada, tüm işlemleri içeren ilk kombinasyona rastlandığında, en iyi çözüme ulaşılmış demektir. Ama bu aşamada, birden çok en iyi çözüm bulunabilir. Bu yöntemin bir uygulaması, Örnek 4.1'de yapılmıştır.

Örnek 4.1



Şekil 4.1. Örnek4.1 ile ilgili öncelik diyagramı

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

Bu sistem için Aşamalı Sıralamayla Çözüm [Jackson] yöntemine göre, hat dengesini en uygunlaştıran iş ögesi özgülemelerini yapalım.

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

$$k_{enk} (\text{Enküçük istasyon sayısı}) = \sum t_i / C = 39/10 = 3.9 \cong 4 \quad (4.1.)$$

$$k_{olası} (\text{Olası istasyon Sayısı}) = (C/2 \text{ ‘den daha büyük işlem süreli iş sayısı}) = 3 \quad (4.2.)$$

..

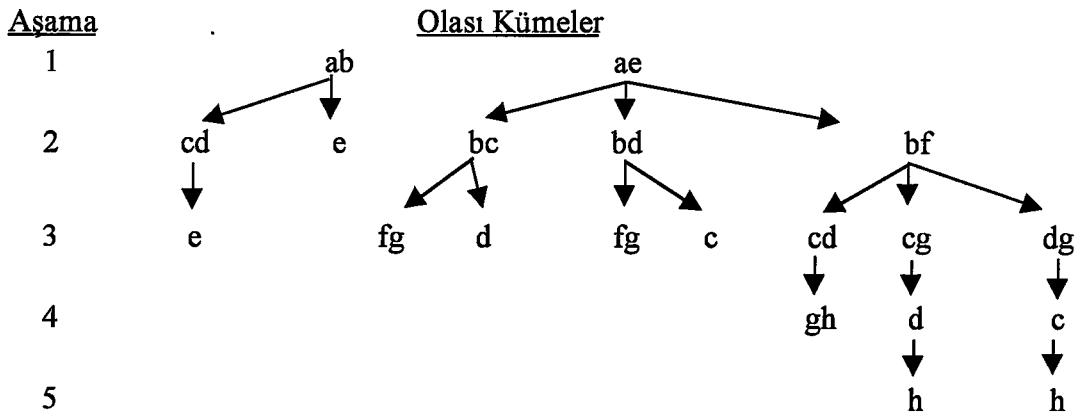
..

$$k_{enaz} (\text{Enaz istasyon Sayısı}) = \text{Enb} (k_{enk}, k_{olası}) \quad (4.3.)$$

$$= \text{Enb} (4, 3)$$

$$= 4$$

Şimdi belirtilen aşamalardan geçerek sonuca ulaşalım:



Şekil 4.2. Örnek4.1 ile ilgili olası çözüm

- (ae – bd) hattı (ab-e) hattını içermektedir. Bu yüzden (ab-e) çözümden çıkarılır.
- (ae-bc-d) hattı (ab-cd-e) hattını içermektedir. Bu yüzden (ab-cd-e) çözümden çıkarılır.
- (ae-bf-cg) hattı (ae-bc-fg) hattını içermektedir. Bu yüzden (ae-bc-fg) çözümden çıkarılır.
- (ae-bf-cd) hattı (ae-bc-d) hattını içermektedir. Bu yüzden (ae-bc-d) çözümden çıkarılır.
- (ae-bf-dg) hattı (ae-bd-fg) hattını içermektedir. Bu yüzden (ae-bd-fg) çözümden çıkarılır.
- (ae-bf-cd) hattı (ae-bd-c) hattını içermektedir. Bu yüzden (ae-bd-c) çözümden çıkarılır.

İstasyon No	1	2	3	4
İstasyon	1 - 2 - 6	3 - 5	4	7 - 8
Boş Süreler	2	0	3	0
İstasyon Süresi	8	10	7	10

Şekil 4.3. Örnek 4.1'e ilişkin en uygun çözüm

Sonuç olarak (ae) (bf) (cd) (gh); tek ve en uygun çözümdür.

Bu özgüllemeler sonrasında denge kaybını bulalım:

$$D(\%) = (nC - \Sigma t) / (nC) = (4 \times 10 - 39) / (4 \times 10) = \% 2.5$$

Görüldüğü gibi, enaz 4 istasyon kısıtına uyulmuş ve oldukça küçük bir denge kaybını başaran bir dengeleme yapılmıştır.

4.2 Derece Konumlu Ağırlık Tekniği (Helgeson,Birnie (1961))

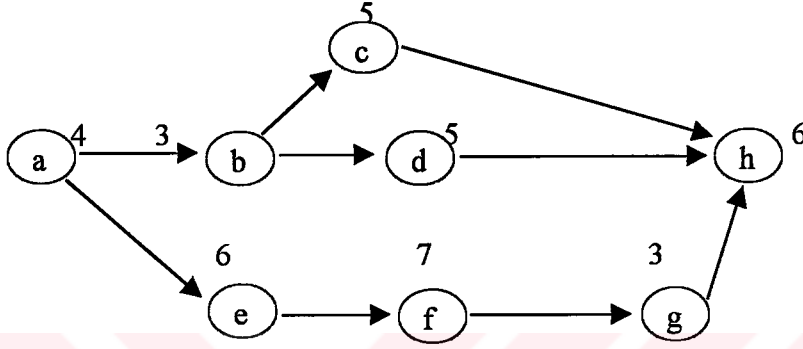
Bu metoda göre ilk olarak her iş ögesi için konum ağırlıkları ölçülür. (Bir iş ögesinin konum ağırlığı; o işlemi yapmak için gerekli süre ve ondan sonra gelen işlemleri yapmak için gerekli sürelerin toplamıdır.) Sonra azalan konum ağırlıklarına göre iş ögeleri sıralanır, ve iş ögeleri iş istasyonlarına özgülenir. (Bu özgüleme işlemi sırasında, en yüksek konum ağırlıklı iş ögelerine öncelik verilir);

- 1) Enbüyük konum ağırlıklı iş ögesini ilk istasyona özgüle.
- 2) İş istasyonunun kullanılmamış süresini; çevrim süresinden, özgülenmiş süreler toplamını çıkararak bul.
- 3) Kalan iş ögeleri içinde enbüyük konum ağırlıklısını seç ve aşağıdaki kontrollerden sonra, ögeyi istasyona özgülemeye çalış.
- 3a) Ayrılmış işler listesini kontrol et. Eğer öncelenmeyen iş ögeleri özgülenmemişse öncelik koşulu bozulmayacaktır. Bu durumda adım 3b'ye git, aksi durumda adım-4'e git.
- 3b) 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-3'e dön. Eğer işlem süresi, kullanılmamış süreden büyük ise adım-4'e geç.
- 4) Seçim olası ise özgülemeyi, aşağıdaki iki koşuldan biri sağlanıncaya kadar sürdür:
 - 1) Özgülenmesi tamamlanmayan iş ögesi kalması durumunda,
 - 2) Hem öncelik koşullarını, hem de özgülenmiş süre koşullarını sağlayan iş ögesi kalmamışsa,
- 5) Özgülenmesi tamamlanmayan en yüksek ağırlıklı iş ögesini ikinci istasyona özgüleyip, yukarıda belirtilen dört adımı aynen uygula.

- 6) İş öğelerini istasyonlara özgüleme işlemini, özgülenmemiş iş öğesi kalmayıncaya kadar sürdür.

Bu şekilde, montaj hattını dengeleme problemi çözülür.

Örnek 4.2



Şekil 4.4 Örnek4.2 ile ilgili öncelik diyagramı

Şekil 4.4.'de öncelik diyagramı verilen montaj hattının çevrim süresi $C = 10$ dak./Ürün' dür.

Çizelge 4.1. İş öğelerine ilişkin konum ağırlıklarının ölçümü

Öğe No	Ö.Süresi	a	b	c	d	e	f	g	h	Konum Ağırlığı
a	4		1	+	+	1	+	+	+	39
b	3			1	1				+	19
c	5								1	11
d	5								1	11
e	6						1	+	+	22
f	7							1	+	16
g	3								1	9
h	6									6

Azalan sıraya göre konum ağırlıklarını bulduğumuzda iş sırası şöyle olmaktadır:

a-e-b-f-c-d-g-h

Çizelge 4.2. İş öğelerinin istasyonlara özgülmesi

İstasyon	Öğ No	Konum Ağırlığı	Bir Önceki İşlemler	İşlem Süresi	Kümülatif İ.Süresi (X)	Boş Süre (C-x)
1	a	39	-	4	4	6
	e	22	a	6	10	0
2	b	19	a	3	3	7
	f	16	e	7	10	0
3	c	11	b	5	5	5
	d	11	b	5	10	0
4	g	9	f	3	3	7
	h	6	g	6	9	1

$D(\%) = (nC - \Sigma t) / (nC) = (4 \times 10 - 39) / (4 \times 10) = \% 2.5$ olarak bulunur.

4.3 Öncelik Diyagramı ile Çözüm (Hoffman (1963))

Ana çözüm aracı olarak öncelik diyagramı kullanılır ve genellikle en uygun çözümü veren bir hat dengeleme yöntemidir.

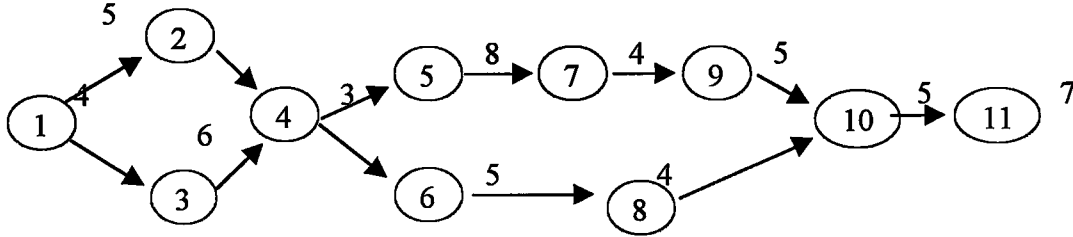
Yöntemin uygulanabilmesi için önce; i ögesinin j ögesinden önce gelmesi durumunda, matrisin i. satır ve j. sütunun kesiştiği yere 1 değeri, aksi durumda tüm geri kalanlara 0 değeri verilerek, öncelik matrisi geliştirilir. Öncelik ögesinin, olası tüm iş ögesi permutasyonlarını üretmekte kullanılabilmesi 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 ögesi sayısı kadar ögesi 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 ögeyi ara.
- 2) İlk sıfırın bulunduğu noktaya karşı gelen iş ögesi numarasını seç.
- 3) Bu iş ögesinin işlem süresini, kalan istasyon süresinden çıkar.
- 4) Sonuç ≥ 0 ise adım-5'e, sonuç < 0 ise adım-6'ya git.
- 5) İş ögesine 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 özgüleme yapma, aksi durumda bu işi o istasyona özgüle. Adım-1'e geri dön ve yeni bir iş ögesi seç. Tüm iş ögeleri 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 öge veya ögelerde, kalan istasyon süresinden küçük veya eşit işlem süresine sahip öge 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 özgülemesi bitene kadar sürdürülür.

Örnek 4.3



Şekil 4.5 Örnek 4.3'e ilişkin öncelik diyagramı

Şekil 4.5.'te verilen montaj hattına ilişkin çevrim süresi , $C = 10$ dk/ürün'dür.

Bu hat dengelemesi yaparken önce, öncelik matrisini oluşturuyoruz.(Çizelge 4.3)

Çizelge 4.3 Öncelik matrisinin oluşturulması

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		1	1								
2				1							
3				1							
4					1	1					
5							1				
6								1			
7									1		
8										1	
9										1	
10											1
11											
Kod No Dizisi	0	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1

Kod numarası içinde 0 değerine sahip tek iş öğesi var, o da 1 nolu iş öğesi. Bu öğeyi 1. İstasyona özgülüyoruz. Kalan istasyon süresi $C-t_1 = 10-4 = 6$ oldu. Şimdi birinci satır ve sütunu öncelik matrisinden çıkarıp, yeni kod numarası dizisini elde ediyoruz.(Çizelge 4.4)

Kod numarası içinde 0 değerine sahip tek iş ögesi var, o da 2 nolu iş ögesi. Bu ögeyi 2. istasyona özgüyoruz. Kalan istasyon süresi $C-t_i = 10-5 = 5$ oldu. Şimdi ikinci ögenin bulunduğu satır ve sütunu öncelik matrisinden çıkarıp, yeni kod numarası dizisini elde ediyoruz. (Çizelge 4.6)

Çizelge 4.6 Dördüncü öncelik matrisinin oluşturulması

	4	5	6	7	8	9	10	11
4		1	1					
5				1				
6					1			
7						1		
8							1	
9							1	
10								1
11								
Kod No	0	1	1	1	1	1	2	1
Dizisi								

Kod numarası içinde 0 değerine sahip tek iş ögesi var, o da 4 no.lu iş ögesi. Bu ögenin 2 nolu ögenin atamasından kalan istasyon süresine eşit süresi var. ($C-t_i = 10-5 = 5$) Bu sebepten 4 nolu ögeye 2 nolu öge gibi 2 nolu istasyona atıyoruz. Şimdi dört nolu ögenin bulunduğu satır ve sütunu öncelik matrisinden çıkarıp, yeni kod numarası dizisini elde ediyoruz. (Çizelge 4.7)

Çizelge 4.7 Beşinci öncelik matrisinin oluşturulması

	5	6	7	8	9	10	11
5			1				
6				1			
7					1		
8						1	
9						1	
10							1
11							
Kod No	0	0	1	1	1	2	1
Dizisi							

Kod numarası içinde 0 değerine sahip iki iş ögesi var, o da 5 ve 6 no.lu iş ögeleri. Bu ögelerden herhangi biri alınır. 6 nolu ögeyi alalım ve 3. istasyona atayalım. Kalan istasyon zamanı ($C-t_i = 10-5= 5$) olur. Şimdi 5 nolu ögenin bulunduğu satır ve sütunu öncelik matrisinden çıkarıp, yeni kod numarası dizisini elde ediyoruz. (Çizelge 4.8)

Çizelge 4.8 Altıncı öncelik matrisinin oluşturulması

	5	7	8	9	10	11
5		1				
7				1		
8					1	
9					1	
10						1
11						
Kod No	0	1	0	1	2	1
Dizisi						

Kod numarası içinde 0 değerine sahip iki iş ögesi var, o da 5 ve 8 nolu iş ögeleri. 3. istasyon için kalan süre ($C-t_i = 10-5=5$) ve buna en yakın olan 8 nolu iş ögesini 3. istasyona atayalım. Şimdi 8 nolu ögenin bulunduğu satır ve sütunu öncelik matrisinden çıkarıp, yeni kod numarası dizisini elde ediyoruz.

Çizelge 4.9 Yedinci öncelik matrisinin oluşturulması

	5	7	9	10	11
5		1			
7			1		
9				1	
10					1
11					
Kod No	0	1	1	1	1
Dizisi					

3. İstasyondan arta kalan süre ($C-t_i = 10-5-4=1$) ve Kod numarası içinde 0 değerine sahip tek iş ögesi var, o da 5 nolu iş ögesi. 5. nolu ögenin işlem süresi artan süreden fazla olduğu için 5 nolu iş ögesi 4 nolu istasyona atanır. 4. İstasyon için kalan süre ($C-t_i = 10-8=2$) dir. Şimdi beş nolu ögenin bulunduğu satır ve sütunu öncelik matrisinden çıkarıp, yeni kod numarası dizisini elde edelim. (Çizelge 4.10)

Çizelge 4.10 Sekizinci öncelik matrisinin oluşturulması

	7	9	10	11
7		1		
9			1	
10				1
11				
Kod No	0	1	1	1
Dizisi				

4. İstasyondan arta kalan süre ($C-t_i = 10-8=2$) ve Kod numarası içinde 0 değerine sahip tek iş ögesi var, o da 7 no.lu iş ögesi. 7. nolu ögenin işlem süresi artan süreden fazla olduğu için 7 nolu iş ögesi 5 nolu istasyona atanır. 5. İstasyon için kalan süre ($C-t_i = 10-4=6$) dir. Şimdi yedi nolu ögenin bulunduğu satır ve sütunu öncelik matrisinden çıkarıp, yeni kod numarası dizisini elde edelim. (Çizelge 4.11)

Çizelge 4.11 Dokuzuncu öncelik matrisinin oluşturulması

	9	10	11
9		1	
10			1
11			
Kod No	0	1	1
Dizisi			

5. İstasyondan arta kalan süre ($C-t_i = 10-4=6$) ve Kod numarası içinde 0 değerine sahip tek iş ögesi var, o da 9 nolu iş ögesi. 9. nolu ögenin işlem süresi 5 nolu istasyona atanır. 5. İstasyon için kalan süre ($C-t_i = 10-4-5=1$) dir. Şimdi dokuz nolu ögenin bulunduğu satır ve sütunu öncelik matrisinden çıkarıp, yeni kod numarası dizisini elde edelim. (Çizelge 4.12)

Çizelge 4.12 Onuncu öncelik matrisi oluşturulması

	10	11
10		1
11		
Kod No	0	1
Dizisi		

5. İstasyondan arta kalan süre ($C-t_i = 10-4-5= 1$) ve Kod numarası içinde 0 değerine sahip tek iş ögesi var, o da 9 nolu iş ögesi. 9. nolu ögenin işlem süresi 5 nolu istasyonun kalan süresinden büyük olduğu için 6 nolu istasyona atanır. 6. İstasyon için kalan süre ($C-t_i = 10-5= 5$) dir. Sona kalan 11 nolu iş ögesinin süresi 6.istasyon için kalan süreden büyük olduğu için 11 nolu iş ögesi 7 no'lu istasyona atanır.

Çizelge 4.13 İstasyonlar ve özgülünen işler

İstasyon	İş Ögesi	Süre	Birikimli Süre	Boş Süre
1	1	4	4	6
	3	6	10	0
2	2	5	5	5
	4	3	8	2
3	6	5	5	5
	8	4	9	1
4	5	8	8	2
	7	4	4	6
5	9	5	9	1
	10	5	5	5
7	11	7	7	3

Bu durumda hattın denge kaybı

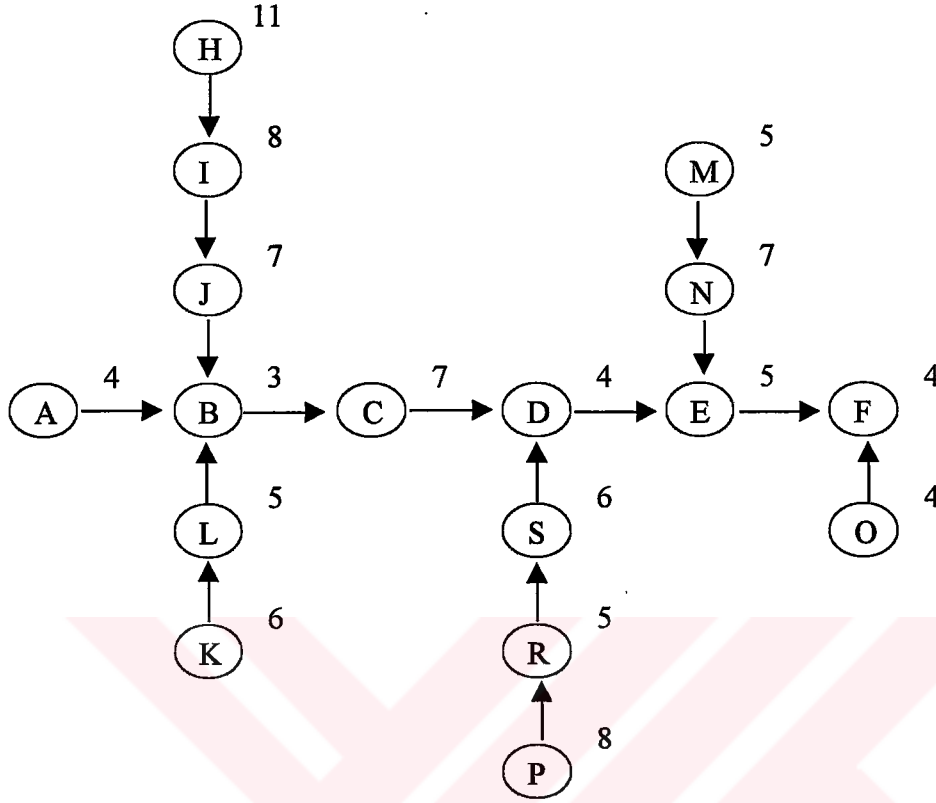
$$D(\%) = (nC - \Sigma t) / (nC) = (7 \times 10 - 56) / (7 \times 10) = \% 20 \text{ olarak bulunur.}$$

4.4 İki Aşamalı Moddie – Young Dengeleme Yöntemi (Moddie, Young (1964))

Bu metod, işlem sürelerinin hem sabit, hem de değişken olduğu durumlar için dengeleme yapma imkanı sağlayan, iki aşamadan oluşan bir dengeleme tekniği geliştirmişlerdir. İki aşamadan oluşan bu teknik; genellikle en uygun dengeyi sağlamasına rağmen yöntem aynı zamanda, değişebilir verilerin eklenebilmesine olanak sağlar.

Örnek 4.4.

Şekil 4.6.'da öncelik diyagramı verilen montaj hattını, Moddie-Young Yöntemi'ne göre dengeleyelim:



Şekil 4.6 Örnek 4.4.'e ait öncelik diyagramı

İşlemlerin her birinin, kendisinden önceki ve sonraki işlemleri ve sürelerini belirten çizelge (Çizelge 4.14) hazırlanır. Bu çizelge, gruplama için yapılacak araştırmada kullanılacaktır. Bu işlemden önce herhangi bir işlem bulunmaması durumunda, ikinci sütuna “-” işareti konur. Böyle “-” işareti taşıyan işlemler, “elverişli” olarak nitelenir.

Bundan sonra gruplama için, çizelge üzerinden şu işlemler yapılır:

- 1) Elverişli işlemler arasından enbüyük süreli olan seçilir. (H)
- 2) H seçildiğine göre, H’den bir sonraki işlem olan I , elverişli konuma gelir. Bunu belirtmek için kontrol sütununda I’nın düzeyine “-” işareti konur.
- 3) Yeni durumda, elverişli işlemler arasından, H ile çevrim süresi C arasındaki farkı kapatacak en uygun işlem seçilir.(O)

- 4) O'dan bir sonraki işlem F olduğundan, kontrol sütununda F2'nin düzeyine O,E'den O silinir.
- 5) H ve O'dan oluşan grubun birikimli işlem süresi C'yi tamamladığından 1. İstasyon dolmuştur.
- 6) Elverişli işlemlerden (A,I,K,M,P) en büyük süreli olan seçilir. "P" seçilir ve bir sonraki işlem olan "R" elverişli konuma gelir.
- 7) Elverişli işlemlerden (A,I,K,M,R) 2.İstasyon süresini dolduracak ($15-8=7$) süresine en yakın olan "K" seçilir ve bir sonraki işlem olan L elverişli konuma gelir. 2. İstasyonu dolduracak ($15-8-6=1$) süreli elverişli işlem olmadığından 2.istasyona yükleme bitirilir.
- 8) Elverişli işlemlerden (A,I,L,M,R) en büyük süreli olan seçilir. "T" seçilir ve bir sonraki işlem olan "J" elverişli konuma gelir.
- 9) Elverişli işlemlerden (A,J,M,L,R) 3.İstasyon süresini dolduracak ($15-8=7$) süresine en yakın olan "J" seçilir ve bir sonraki işlem olan B için öncelikli işlemler "A,L"kalır. 3. İstasyonu doldurulmuş olur.
- 10) Elverişli işlemlerden (A,L,M,R,S) en büyük süreli olan seçilir. "R" seçilir ve bir sonraki işlem olan "S" elverişli konuma gelir.
- 11) Elverişli işlemlerden (A,L,M,S) 4.İstasyon süresini dolduracak ($15-5=10$) süresine en yakın olan "S" seçilir ve bir sonraki işlem olan D önceliğinde "C" işlemi kalır. 4. İstasyonu dolduracak ($15-5-6=4$) süreli elverişli işlem (A,L,M) den A seçilir ve bir sonraki işlem olan B'de önceki işlem olarak "L" kalır.
- 12) Elverişli işlemlerden (L,M) en büyük süreli olan seçilir. "L" seçilir ve bir sonraki işlem olan "B" elverişli konuma gelir.
- 13) Elverişli işlemlerden (B,M,N) 5.İstasyon süresini dolduracak ($15-5=10$) süresine en yakın olan "M" seçilir ve bir sonraki işlem olan N elverişli konuma gelir. 5. İstasyonu dolduracak ($15-5-5=5$) süreli elverişli işlem (B,C,N) den "B" seçilir ve

“C” uygun konuma geçer. 5. İstasyonu dolduracak ($15-5-5-3=2$) işlem olmadığından 5.istasyona yükleme bitirilir.

14) Elverişli işlemlerden (C,N) en büyük süreli olan seçilir. “N” seçilir ve bir sonraki işlem olan “E” de önceki işlem “D” kalmış olur.

15) Elverişli işlemlerden (C) 6.İstasyon süresini dolduracak ($15-7=8$) süresine en yakın olan “C” seçilir ve bir sonraki işlem olan D elverişli konuma gelir. 6. İstasyonu dolduracak ($15-7-7=1$) süreli işlem olmadığından 6. İstasyona yüklemeler tamamlanmış olur.

16) Elverişli işlem (D) seçilir ve bir sonraki işlem olan “E” elverişli duruma gelmiş olur.

17) Elverişli işlemlerden (E) 7.İstasyona yüklenir ve F elverişli konuma gelir. 7. İstasyon süresini dolduracak ($15-4-5=6$) süresine kalan “F” işlemi yüklenir.

Çizelge 4.14 Örnek 4.4 ile ilgili P ve F matrisleri

İşlem(i)	Bir Önceki İşlemler	Bir Sonraki İşlemler	İşlem Süresi
A	-	B	4
B	A,J,L	C	3
C	B	D	7
D	C,S	E	4
E	D,N	F	5
F	E,O		4
H	-	I	11
I	H	J	8
J	I	B	7
K	-	L	6
L	K	B	5
M	-	N	5
N	M	E	7
O	-	F	4
P	-	R	8
R	P	S	5
S	R	D	6

Çizelge 4.15 Örnek 4.4'ün çözümü

İş İstasyonu	İşlem(i)	Süre	Birikimli Süre(X)	C-X	Boş Süre
1	H	11	11	4	0
	O	4	15	0	
2	P	8	8	7	1
	K	6	14	1	
3	I	8	8	7	0
	J	7	15	0	
4	R	5	5	10	0
	S	6	11	4	
	A	4	15	0	
5	L	5	5	10	2
	M	5	10	5	
	B	3	13	2	
6	N	7	7	8	1
	C	7	14	1	
7	D	4	4	11	2
	E	5	9	6	
	F	4	13	2	

Bu şekilde saptanan grupların belirlediği iş istasyonları ve boş süreler, Çizelge 4.12'de verilmiştir. İş istasyonlarının birikimli işlem süreleri ile C arasındaki farkların toplamı 6 dk.dır. Yani montaj hattında üretilen her ürün için boş geçen süre 6 dk.dır.

Elde edilen sonuca göre dengeleme kaybı;

$$D(\%) = (nC - \Sigma t) / (nC) = (7 \times 15 - 99) / (7 \times 15) = \% 5.7 \text{ olarak bulunur.}$$

4.5 Comsoal Tekniği (Arcus(1963))

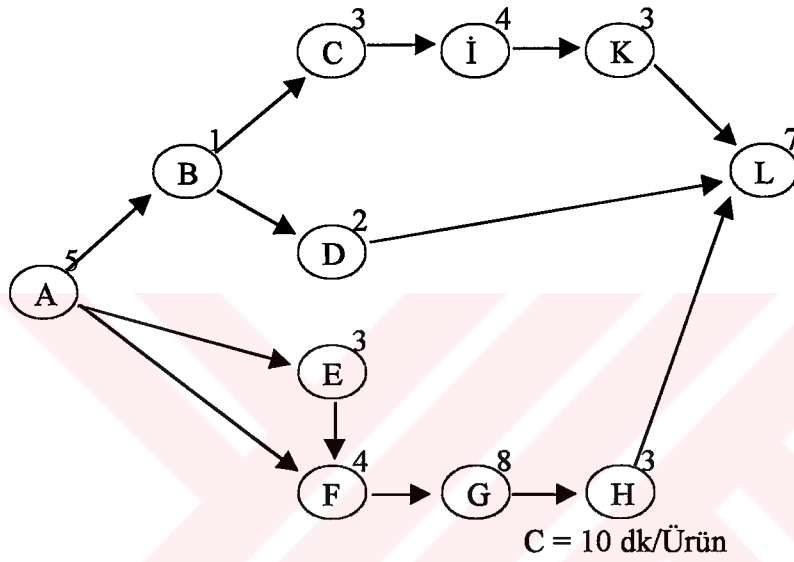
Bu yöntemi, Örnek 4.5'de verilen 11 iş ögeli montaj hattı üzerinde açıklayalım.

ADIM-1: Öncelikle tüm iş ögelerini içeren bir çizelge (4.16) oluşturulur.

ADIM-2: Kendinden önce iş ögesi gelmeyen (3. Sütunda 0 değerine sahip olan) işlerden yeni bir çizelge oluşturulur.

Bu örnek için bu özelliğe sahip tek üye a'dır.

Örnek 4.5



Şekil 4.7. Örnek 4.5'e ilişkin öncelik diyagramı

ADIM-3: Son çizelgeden bir öge rastgele seçilir. Bu ögelerin seçilme olasılıkları eşit olabilir veya bazı kurallara uygun olarak saptanabilir. Seçilen bu öge iş istasyonuna özgülenir. Eğer istasyon süresi aşılyorsa ya uygun diğer bir iş ögesi 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.

ADIM-4: Seçilen ögeyi izleyen bir sonraki ögelerin, bir önceki işlerin sayısını veren değerinden 1 çıkarılır ve 0 değerine sahip olan ögeler en son çizelgeye eklenir. Seçilen ögeler bu çizelgeden çıkarılır.

3. ve 4. Adımlar, tüm öğeler istasyonlara özgüleninceye kadar yinelenir. Sonuç olarak, rasgele üretilmiş uygun bir çözüm elde edilir. Çizelge 4.17'deki çözüm, bu yöntemin uygulamasıyla elde edilmiştir.

Çizelge 4.16 Örnek 4.5 ile ilgili veriler

İş Öğesi	Sonraki İşler	Önceki İşlerin Sayısı
a	e,b,f	0
b	c,d	1
c	i	1
d	l	1
e	f	1
f	g	2
g	h	1
h	l	1
i	k	1
k	l	1
l	-	3

Başlangıçta, çizelgedeki tek öğe a; 1. İstasyona özgülenir.

Çizelge 4.17 Örnek 4.5'in bir çözümü

İstasyon No	İş Öğesi No	Öğesi Süresi	İst.Süresi	Boş Süre
1	a	5	5	
	b	1	6	
	e	3	9	1
2	f	4	4	
	c	3	7	
	d	2	9	1
3	g	8	8	2
4	i	4	4	
	k	3	7	
	h	3	10	0
5	l	7	7	3

A'nın bir istasyona özgülenmesinden dolayı b,e ve f öğelerinin bir önceki iş sayısı 1 azaltılır ve yeni değerler 0 olduğundan çizelgeye eklenirler. A iş öğesi bu çizelgeden çıkartılır.

1.istasyona a özgüldikten sonra kalan boş süre 5'tir. Eğer çizelgede, kalan istasyon süresinden büyük süreli iş varsa, bunun seçilme olasılığı sıfırdır. Burada böyle durum olmadığından b ve e eşit seçilme olasılığına sahiptir. Biz b'yi rassal olarak seçelim. Bu

durumda c ve d'nin numaraları 1 azaltılır. Kalan istasyon süresi ($10-5-1=4$) olur. Buraya c,d,e,f' den f atanır. 1.İstasyonda boş süre kalmamış olur.

İşlemler bu şekilde sürdürülür.

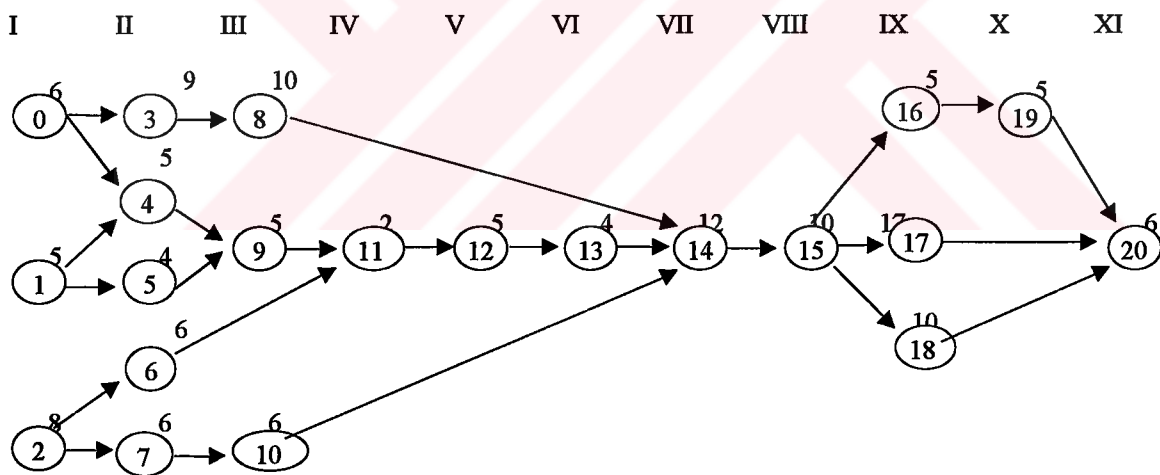
Bu durumdaki kayıplar;

$$D(\%) = (nC - \Sigma t) / (nC) = (5 \times 10 - 43) / (5 \times 10) = \% 14 \text{ olarak bulunur.}$$

4.6 Kilbridge-Wester Yöntemi (Kilbridge-Wester(1961))

Bu yöntem 1962 yılında, Kibridge ve Wester tarafından geliştirilmiştir. Şekil 4.8’de gösterilen ve 21 iş ögesinden oluşan bir montaj işlemini ele alarak, yöntemi açıklayalım.

Örnek 4.6



Şekil 4.8 Örnek 4.6 ile ilgili öncelik diyagramı

İş öğelerinin, belli bir öncelik sıraları bulunmaktadır. Dairelerin üstündeki sayılar işin süresini, en üstteki sütun numaraları ise işlem sırasını belirtmektedir. (II. Sütundaki işler, I. Sütundaki işlerden sonra yapılmalıdır, gibi...). Çizelge 4.18’de, yukarıdaki bilgilere dayanarak, problemin verileri sınıflandırılmıştır.

Mesela amacımız, montaj hattı çevrim süresini 36 dk. 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 Çizelge 4.19'u oluşturuyoruz):

Çizelge 4.18 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

- 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 öğeleri var, bunlar alınırsa iş süreleri toplamı 35 olacaktır.)

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

Çizelge 4.19 İşlem özgülemeleri-1

Öncelik Diyagramı Sütun No (a)	İş Öge No (b)	Yeri Değiştirilebilen Öge	Öge Süresi(d)	Sütun Süresi(e)	Birikimli Süre(f)
I	0		6		
	1		5		
	2		8	19	19
II	3	III - V (8 ile)	9		
	4		5		
	5	III	4		
	6	III - V (10 ile)	5		
	7		6	29	48
III	8	IV - VI	10		
	9		5		
	10	IV - VI	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		5		
	17	x	15		
	18	x	10	30	132
X	19		5	5	137
XI	20		6	6	143

6- Sütun I ve II'deki öğelerden bir veya birkaçı, süreyi 36'ya düşürmek üzere II'den öteye yer değiştirebilir mi? (Hayır ama 3. İş ögesi (+8) ile 6. Öge yer değiştirebilir ve böylece 35 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 öğelerden bir veya birkaçı, süreyi 36'ya düşürmek üzere, III'den öteye yer değiştirebilir mi? (Hayır, en yakın değeri veren öğeler 3,8,7,10'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 en iyi özgülemeyi 1. İstasyon olarak al (35 ZÜ'lik iş istasyonu, adım4).

11- Çizelgeyi yeniden yaz ve birikimli toplamaların yeni değerlerini (f)'ye yerleştir. (Çizelge 4.20)

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

13- Bu öğeleri 2. İstasyon olarak özgüle ve üçüncü çizelgenin (Çizelge 4.21) çizimine geç.

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

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

Çizelge 4.20 İşlem özgülemeleri-2

Öncelik Diyagram Sütun No (a)	İş Öge No (b)	Yeri Değiştirilebilen Öge	Öge Süresi(d)	Sütun Süresi(e)	Birikimli Süre(f)
İş İstasyonu-1 I-II	0		6		
	1		5		
	2		8		
	4		5		
	6		5		
	7		6		35
III	3	III - V (8 ile)	9		
	9		5		
	5		4		
IV	10	IV - VI	6	24	24
	8	IV - VI	10		
V	11		2	2	36
	12		5	5	41
VI	13		4	4	45
VII	14		12	12	57
VIII	15		10	10	67
IX	16		5		
	17	x	15		
	18	x	10	30	37
X	19		5	5	102
XI	20		6	6	108

16- Bu süreyi 36'dan çıkar (36-31=5)

17- IX sütununda 5'e eşit öge var mı? (Evet, 16 nolu öge).

18- Bu öğeleri yukarıdakilere ekle ve yeni bir çizelge çiz (Çizelge 4.22).

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

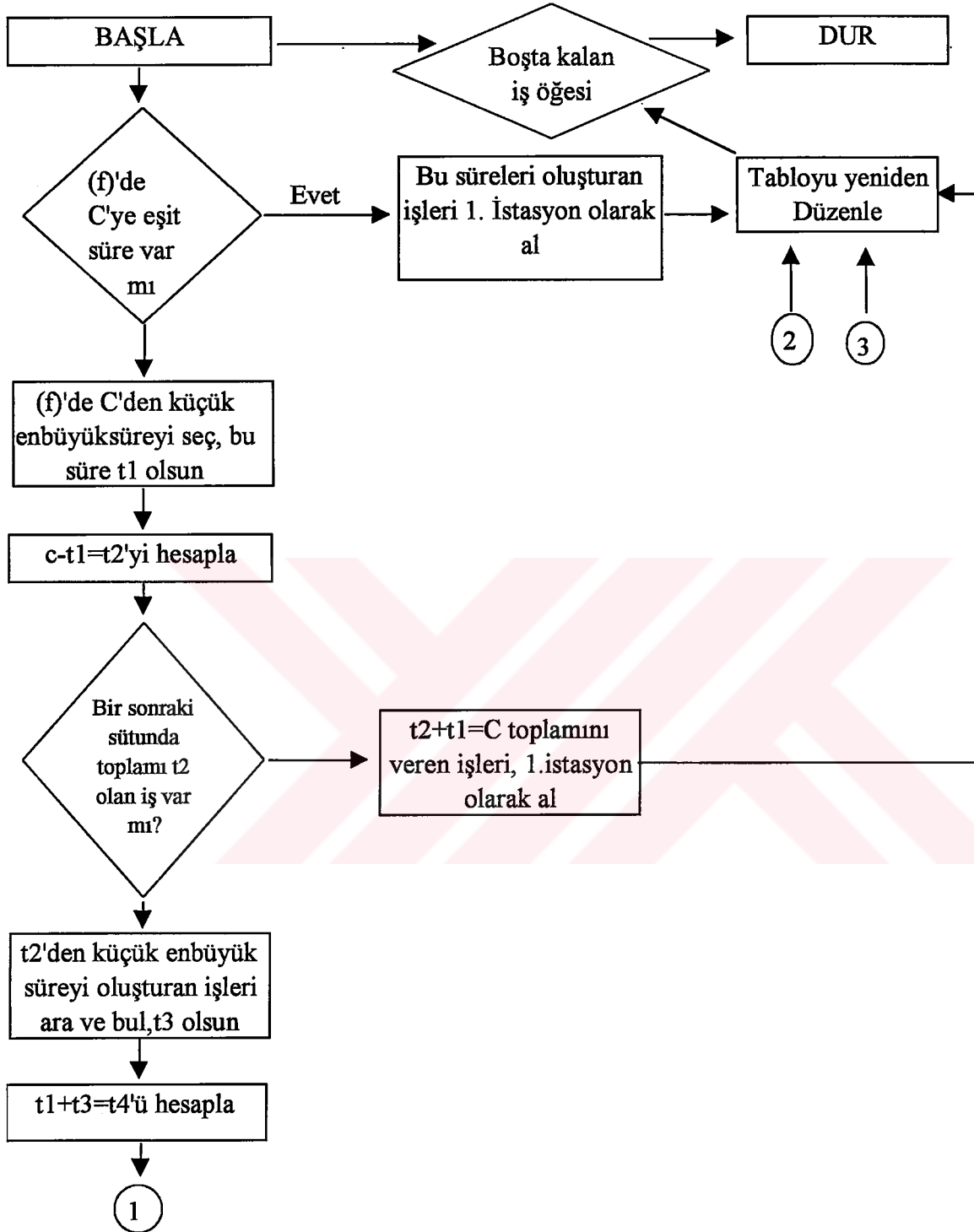
20- Bu öğeleri yeni iş istasyonuna özgüle.

Çizelge 4.21 İşlem özgülemeleri-3

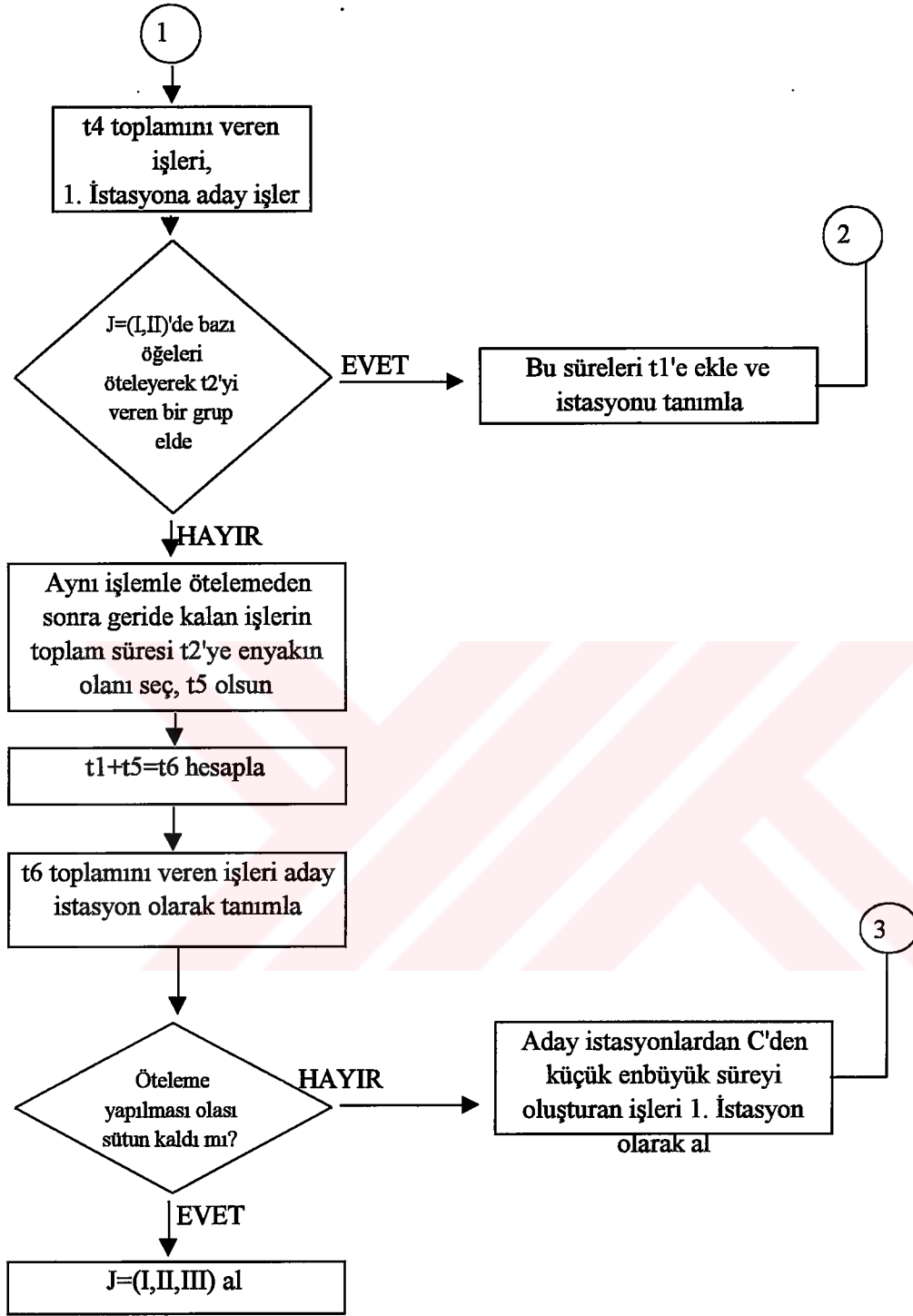
Öncelik Diyagramı Sütun No (a)	İş Öge No (b)	Yeri Değiştirilebilen Öge	Öge Süresi(d)	Sütun Süresi(e)	Birikimli Süre(f)
İş İstasyonu-1	0		6		
	1		5		
	2		8		
	4		5		
	6		5		
	7		6	35	35
İş İstasyonu-2	3		9		
	9		5		
	5		4		
	10		6		
	8		10		
	11		2	36	36
V	12		5	5	5
VI	13		4	4	9
VII	14		12	12	21
VIII	15		10	10	31
IX	16		5		
	17	x	15		
	18	x	10	30	61
X	19		5	5	66
XI	20		6	6	72

Çizelge 4.22 İşlem özgülemeleri-4

Öncelik Diyagramı Sütun No (a)	İş Öge No (b)	Yeri Değiştirilebilen Öge	Öge Süresi(d)	Sütun Süresi(e)	Birikimli Süre(f)
İş İstasyonu-1	0		6		
	1		5		
	2		8		
	4		5		
	6		5		
	7		6	35	35
İş İstasyonu-2	3		9		
	9		5		
	5		4		
	10		6		
	8		10		
	11		2	36	36
İş İstasyonu-3	12		5		
	13		4		
	14		12		
	15		10		
	16		5	36	36
IX	17		15		
	18		10	25	25
X	19		5	5	66
XI	20		6	6	36



Şekil 4.9 Kilbridge-Wester hat dengeleme yöntemi akış şeması



Şekil 4.9 (Devamı)

Böylece 21 iş öğesini, 4 iş istasyonuna özgüle. Bu özgülemenin dengeleme kaybı ise,

$$D(\%) = (nC - \Sigma t) / (nC) = (4 \times 36 - 143) / (4 \times 36) = \% 0.7 \text{ olarak bulunur.}$$

Sonuç olarak 1. İstasyonda 0,1,2,4,6,7;

2.İstasyonda 3,9,5,10,8,11;

3.İstasyonda 12,13,14,15,16;

4.İstasyonda 17,18,19,20 nolu işlerin yapılması en düşük denge kaybı sonucunu vermektedir.

Görüldüğü gibi bu yöntem hızlı, kolay ve çoğu kez etkilidir. İş öğelerinin atanması esas olarak öncelik ilişkileri ile saptanmaktadır. Elemanların yatay yer değiştirmeleri gerektiğinde kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntemin kullanıcıları uygulayıcılara aşağıdaki önerilerde bulunmaktadır.

- 1- Genel olarak çözümler tek değildir. Bir sütun içinde bulunan iş elemanları kolaylıkla aralarında yer değiştirebilir. Bu bir bakıma optimum dengeyi bozmadan yapılabilecek bir planlama kolaylığıdır.
- 2- Eğer mümkün ise uzun süreli işler önce tahsis edilmelidir. Örneğin, 20 dakikalık bir iş ile 10 dakikalık diğer bir işin tahsisi söz konusu ise 20 dakikalık iş seçilmelidir.

4.7 Aday Matrisle Çözüm Yöntemi (Salveson (1955))

İlk olarak toplam iş süreleri hesaplanır. Daha sonra en küçük ve olası istasyon sayıları bulunup, bunların en büyüğü, enaz istasyon sayısı olarak alınır. Yani bulunan bu değer daha az sayıda, “bölünmez işler” kuralına göre belirlenmelidir. Bir sonraki aşama öncelik matrisini oluşturmaktır. Daha sonraki aşamaları bir örnek üzerinde açıklayalım:

Bu ön hazırlıklardan sonra izlenecek çözüm yolu şöyledir:

Bütün mümkün kombinasyonlar yapılarak Çizelge 4.24 oluşturulur. Mümkün bir denge seçilir ve değişikliklerle optimum denge aranır.

Her bir işlemi basit bir istasyon adayı kabul ettiğimize göre şu anda 8 tane istasyon adayımız var demektir.

Öncelik ilişkilerini bozmadan ve çevrim süresini aşmadan oluşturabileceğimiz istasyonlar:

1) $t_1 = 2$

2) $t_2 = 4$

3) $t_3 = 6$

4) $t_4 = 7$

5) $t_5 = 4$

6) $t_6 = 2$

7) $t_7 = 5$

8) $t_8 = 5$

9) $t_1 + t_2 + t_6 = 9$

10) $t_1 + t_3 = 9$

11) $t_2 + t_3 = 10$

12) $t_2 + t_5 = 8$

13) $t_2 + t_7 = 9$

$$14) t_3 + t_5 = 10$$

$$15) t_3 + t_6 = 8$$

$$16) t_4 + t_6 = 9$$

$$17) t_5 + t_8 = 9$$

$$18) t_5 + t_7 = 9$$

$$19) t_5 + t_2 + t_6 = 10$$

$$20) t_2 + t_6 + t_5 = 10$$

$$21) t_6 + t_4 = 9$$

$$22) t_6 + t_8 = 7$$

$$23) t_7 + t_8 = 10$$

$$24) t_5 + t_7 = 9$$

Çizelge 4.24'de i 'ler işlem nolarını, j 'ler istasyonları, d_j ise istasyonların boş süresini göstermektedir.

Çizelge 4.24 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	22	23	24
D_j	8	6	4	3	6	8	5	5	2	2	0	2	1	0	2	1	1	1	0	0	1	3	0	1
i																								
1	1								1	1														
2		1							1		1	1	1						1	1				
3			1							1	1			1	1									
4				1												1					1			
5					1							1		1			1	1	1	1				1
6						1			1						1	1			1	1	1	1		
7							1						1					1					1	1
8								1									1					1	1	

Çizelge 4.24'deki aday matrisinden rasgele bir çözüm seçilir ve bu çözüm, olası çözüm dengeleme matrisine taşınır. Rasgele seçtiğimiz çözüm, çizelge 4.26'daki gibi olsun. (Her işin bir istasyona atanmış olması gerekir ve bir iş, birden çok istasyonda gözükmez.)

Şimdi en iyi dengeleme için irdeleme yapalım.

- a) Eğer $\sum d_j < C$ ise en iyi sonuca ulaşılmış demektir. (Boş zamanların toplamının çevrim süresinden düşük olması durumu). (Burada $\sum d_j = 21 > C = 10$ olduğundan sonuca ulaşılmamıştır.)

Çizelge 4.25 Öncelik matrisi
SONRAKİ İŞ

	1	2	3	4	5	6	7	8
Ö	1	0	1	1	0	0	0	0
N	2	0	0	0	0	1	0	0
C	3	0	0	0	1	1	0	0
E	4	0	0	0	0	0	1	0
K	5	0	0	0	0	0	0	1
İ	6	0	0	0	0	0	0	1
İ	7	0	0	0	0	0	0	1
Ş	8	0	0	0	0	0	0	0

- 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 irdeleme yapılır. Şöyle ki:

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

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

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

İstasyon No	1	2	3	4
İstasyon	1 - 2 - 6	3 - 5	4	7 - 8
Boş Süreler	2	0	3	0
İstasyon Süresi	8	10	7	10

Şekil 4.11 Örnek 4.7'e ilişkin en uygun çözüm

Buna göre yeni çözüm matrisi, Çizelge 4.27'deki gibi olur.

$d_j = 5 < (C = 10)$ olduğundan, en uygun dengeleme yapılmıştır. Şekil 4.11'de çözüm gösterilmiştir.

Çizelge 4.26 ilk olası çözüm

J	2	4	10	19	7	8
D _j	6	3	2	0	5	5
i						
1			1			
2	1			1		
3			1			
4		1				
5				1		
6				1		
7					1	
8						1

Çizelge 4.27 İkinci olası çözüm

J	4	9	14	23
D _j	3	2	0	0
i				
1		1		
2		1		
3			1	
4	1			
5			1	
6		1		
7				1
8				1

Elde edilen sonuca göre dengeleme kaybı;

$$D(\%) = (nC - \Sigma t) / (nC) = (4 \times 10 - 35) / (4 \times 10) = \% 12.5 \text{ olarak bulunur.}$$

4.8 Probabilistik Hat Dengeleme (El Sayed, Boucher Metodu (1987))

Probabilistik hat dengeleme; işlem sürelerinin belli bir dağılıma uyduğu ya da tümüyle bağımsız olarak değişimler gösterdiği durumlardaki hat dengeleme metodudur.

Bu methoda iki tip yaklaşım vardır:

- 1- i. İşlem süresi; μ ortalamalı ve σ standart sapmalı bir normal dağılıma uymaktadır.
- 2- İşlem sürelerinin istatistiksel dağılımları bilinmemekte, yalnızca μ ortalama ve σ standart sapma değerleri bilinmektedir.

4.8.1 Sürelerin normal dağılıma uyma 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 F matrisi satırına gidilir ve bu satırdaki numaralar alınır. P matrisine geri dönülerek aynı işlemler yinelenir.
- 3- $(EnbT \leq ST \leq C)$ kısıtına bağlı kalınarak, 1 ve 2 nolu adımlar, P matrisindeki tüm satırlar kullanılana kadar sürdürülür. (ST: İş istasyonu süresi, C:Çevrim Süresi).
- 4- Yukarıda belirlenen işlem sırasına uyularak işlemler, istasyonlara özgülenmeye başlanır.

Teorem 1.1.

İki bağımsız rassal değişken, sırasıyla μ_1 ve μ_2 ortalamalı, σ_1^2 ve σ_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:

$$Z = \frac{ST - C}{\sigma_{istasyon}} \quad (4.4.)$$

Denklemiyle hesapladığımız z değerini kullanarak, normal dağılım çizelgesinden $P(ST \leq C)$ 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, (İ:güvenilirlik derecesi) değerini aşana kadar, istasyona işlemleri özgülemeyi sürdürürüz. (Burada, yüksek süreli işlemlere, olası olduğunca öncelik verilir).

Tüm işlemler istasyonlara özgülenene kadar bu hesaplamalar sürdürülür.

4.8.2 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 1.2.

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.

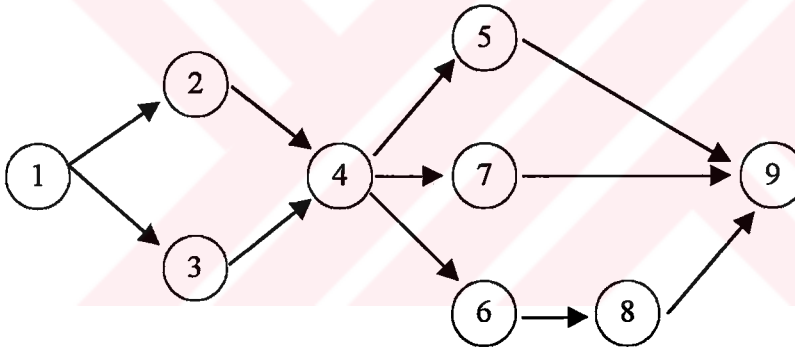
Asimetrik dağılımlarda:

$$P(|x - \mu| > k\sigma) \leq \frac{1}{k^2} \quad (k > 0) \quad (4.5.)$$

$$P(|x - \mu| > k\sigma) \leq \frac{1}{2k^2} \quad (k > 0). \quad (4.6.)$$

Örnek 4.8

Öncelik diyagramı ve iş öğeleriyle ilgili ortalama ve standart sapma değerleri Şekil 4.12'de verilen montaj hattının dengelenmesi istenmektedir.



Şekil 4.12 Örnek 4.8'in Çözümü

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

Çizelge 4.28 Örnek 4.8'e İlişkin Öncelik Diyagramı

Öğ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ortalama	5	3	4	5	1	4	5	4	6
St.Sapma	0,5	0,2	0,6	0,1	0,4	0,5	0,7	0,8	0,6

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.

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

Çizelge 4.29 Örnek 4.8'e P ve F matrisi

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

- 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 nolu işlemin yapılmış olması gerekir. Bu koşul yukarıda sağlanmıştı.
- 5- Şimdi ikinci ve üçüncü işlemler arasında seçim yapmak gerekmektedir. 3. İşlemin ortalama işlem süresi, 2. İşlemden büyük olduğu için 3. İşlem alınır.
- 6- Daha önce verilen Z formülü kullanılarak 3. İşlemi özgüleyip özgüleyemeyeceğimiz kontrol edilir:

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

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

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

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

7- Çevrim süresini hala dolduramadığımız için diğer bir işlemi özgüleyip özgüleyemeyeceğimizi araştırmalıyız. Bu nedenle, P matrisinde 3 nolu satırı kullandığımızdan, F matrisinde 3. nolu satıra gideriz. Buradan 4 değerini alıp P matrisine döneriz.

8- Elimizde 2 ve 4 nolu işlemler, özgülenmek üzere bulunmaktadır. 4 nolu işleme başlamak için 2 nolu işlemin bitmiş olması koşul olduğundan, önce 2 nolu işlemi özgülemeliyiz.

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

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

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

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

9- P matrisinde 2 nolu satırı kullandığımız için F matrisindeki 2 nolu satıra gideriz. Buradan 4 değerini alıp, P matrisinin bu nolu satırına gideriz. 4. Satırda 2 ve 3 değerleri vardır, yani artık 4. İşlemi yapabiliriz. Ama

$$10- T_4 = 5, \quad ST_1 = 17 < C$$

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

Çizelge 4.30 Örnek 4.8'in çözümü

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

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

Çözüm, Çizelge 4.30'da gösterilmiştir.

$K = 4$ (İstasyon Sayısı)

$$LE = \frac{\sum ST_i}{nC} = \frac{37}{4 \cdot 13} = \% 71.1538 \text{ (Hat Etkinliği)}$$

$$D(\%) = \frac{nC - \sum t_i}{nC} = \frac{4 \cdot 13 - 37}{4 \cdot 13} = \% 28.8462 \text{ (Denge Kaybı)}$$

4.9 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 en az istasyon sayısını saptar.

Yöntemde kullanılan terimler, aşağıda tanımlanmıştır:

k : İstasyon sayısı

K : Hat üzerindeki en büyük 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 : En geç bitirilme zamanı (Bir iş ögesinin, kendinden hemen önce gelen tüm iş ögelerinin tamamlanması durumunda, en erken bitirilme zamanı)

GS : Gevşek süre

Bu terimler kullanılarak, şu eşitlikler ve eşitsizlikler yazılabilir:

$$\begin{aligned}
 1 &\leq k \leq K \\
 1 &\leq i \leq N \\
 Enbt_i(k) &\leq S_k \leq C \\
 SI_k &= \sqrt{(S_{enb} - S_k)^2} \quad k = 1, 2, \dots, K \\
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^K S_i}{K.C}
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

$$L_{LST}^{(i)} = Enb [i' \text{ den hemen önce gelen işlerin en geç diktirilme (LST) zamanları}] + t_i \tag{4.8.}$$

$$GS(i) = LST(i) - t_i - LST(i' \text{ den hemen önce gelen iş ögeleri}) \tag{4.9.}$$

4.9.1 Yöntemin tanımı

Yöntem, iki aşamadan oluşur:

1. Kritik yolun saptanması ve iş ögelerine önceliklerin özgülenmesi.
2. İş istasyonlarına iş ögelerinin özgülemesi.

İlk aşamada yapılacak işlemler şunlardır:

1. En az iki aşamada bitirilen, son iş ögesi / ögeleri için kritik yol saptanır. Bunu yaparken, iş ögeleri için en geç bitirilme zamanları ve gevşek süreler hesaplanır. Gevşek süresi sıfır olan ögeler, kritik yol üzerindedir.
2. Kritik yol üzerinde çıkan kritik iş ögelerine öncelik özgülenir.
3. Kendinden hemen sonra gelen iş ögelerinin, öge süreleri toplamı çevrim süresine eşit veya büyük olan iş ögelerine öncelik özgülenir. Bunu yaparken F ele alınır ve buradan, öge süresi çevrim süresine eşit veya büyük olan sıralar saptanarak, o sıranın iş ögesine öncelik özgülenir.
4. Kritik bir iş ögesinin doğrudan önüne gelen ve diğer bir kritik ögenin hemen arkasında olan ve de birikimli toplamı çevrim süresinden büyük olan iş ögelerine öncelik özgülenir. Bunun için P'de kritik ögelerden hemen önce gelen ve birikimli toplamı çevrim süresine veya büyük olan iş ögeleri saptanır.
5. Kritik iş ögelerinin doğrudan önünde gelen ve bunlar arasında en küçük öge süresine sahip olan iş ögelerine öncelik özgülenir. Bunu yaparken P'de kritik ögeler işaretlenir ve ortalama öge süresi en küçük olan sırayı oluşturan ögelere öncelik özgülenir.

İkinci aşamada, iş ögeleri iş istasyonlarına özgülenir. Bu özgüleme için en büyük aday öncelik kuralı” uygulanır. Bu kurala göre, önce birinci aşamada öncelik verilmiş olan iş ögeleri, azalan öge sürelerine göre istasyonlara özgülenirler. Daha sonra, önceliksiz ögeler yine aynı şekilde azalan öge sürelerine göre istasyonlara özgülenirler.

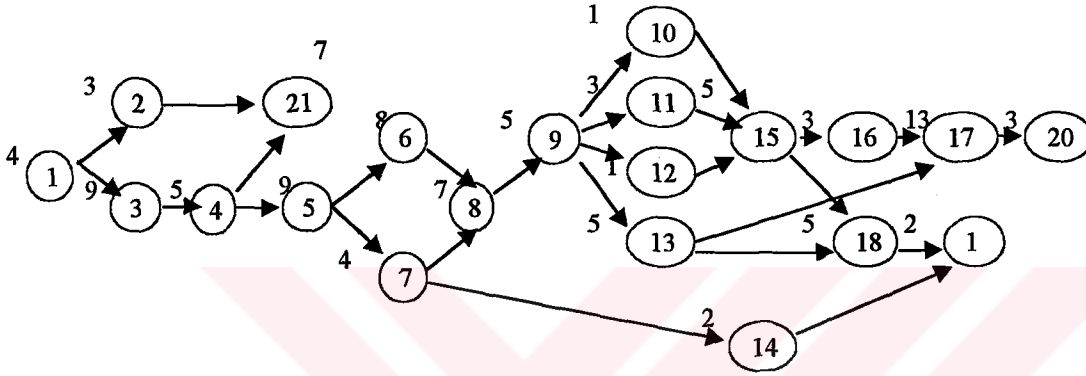
İş ögelerinin istasyonlara özgülenmesinde izlenen aşamalar, aşağıda özetlenmiştir:

1. P'den, sırasına yalnızca sıfır olan iş ögeleri saptanır. Bunlar “uygun ögeler” olarak belirlenir.
2. “Uygun ögeler” grubundaki öncelikli ve önceliksiz iş ögeleri ayrılarak, azalan öge sürelerine göre dizilirler. Bunu yaparken önce, öncelikli iş ögeleri ele alınır. Bunlar özgüldükten sonra, önceliksiz iş ögeleri, uygun iş istasyonlarına özgülenirler.
3. F'de, bir iş istasyonuna özgülenmiş iş ögesinin sırasında bulunan diğer iş ögeleri saptanır. Saptanan bu iş ögelerinin P'deki sıraları ele alınır ve özgülenmiş iş ögesi

yerine sıfır konulur. Eğer bu işlemle o sıra tamamen sıfırlanabiliyorsa, karşı gelen iş ögesi “uygun öge” olur.

4. Bundan sonra 2. aşamaya dönülerek tüm ögeler, 2. ve 3. aşamalar yinelenerek özgülenirler.

Örnek 4.9



Şekil 4.13 Örnek 4.9'a ilişkin öncelik diyagramı

Yöntemi tanıtmak amacıyla ele alınan örnek problem için öncelik diyagramı, Şekil 4.13'de verilmiştir.

Bu problem için birinci aşamada yapılan işlemler sonucu, kritik ve öncelikli iş ögeleri saptanmıştır. Kritik ögeler ; 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 15, 17, 18, 19, 20 ve 21'dir ve bu ögeler, öncelikli olarak sınıflandırılmıştır.

Birinci bölümün 3. ve 4. aşamalarında hiçbir ögeye öncelik verilmemiştir. Bunun nedenleri şöyle açıklanabilir :

F'de birikimli toplamı çevrim süresine (21) eşit veya büyük hiçbir sıra yoktur (İlgili gösterim, Çizelge 4.32'deki gibidir). Bu nedenle 3. aşamada öncelik özgülenmemiştir.

Çizelge 4.31 Örnek 4.9 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

Çizelge 3.32 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 (Çizelge 4.33). Bu nedenle 4. aşamada da öncelik özgülenmemiştir.

Çizelge 4.33. P'deki Kritik öğelerin sırasındaki
Ortalama öge süreleri

Kritik Öğeler	P'deki Kritik Öğelerin Sırasında Tümü Ortalama Öge 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 öğelerine 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 öğedir. Böylece 1. öge 1. istasyona özgülenir ve istasyon süresi 4 birim olur. F'de 1. öğeye karşı gelen öğeler 2 ve 3'tür. P'de 2 ve 3 no.lu öğelere karşı gelen sıralarda 1 yerine sıfır konulunca, sıralar sıfırlanmış olur. Böylece 2 ve 3. no.lu öğeler "uygun öge" olarak nitelendirilirler. Öncelik listesi tarandığında 3. öğenin öncelikli, 2. öğenin ise önceliksiz olduğu görülür. "En büyük aday öncelik kuralı" na göre 3. no.lu iş 1. istasyona özgülenir; istasyon süresi 13'e yükselir. F'den 3 no.lu öğeye karşı gelen sırada 4. öge vardır. P'de 4. öğenin sırasına 3 yerine sıfır konduğunda tüm sıra sıfırlanır ve 4. iş öğesi öncelik listesinde de yer aldığı için 1. istasyona özgülenir. Aynı şekilde sürdürüldüğünde, 1. istasyona özgüleme yapmak üzere iki seçenekle karşılaşılır: Öncelik listesinde yer alan 5 no.lu öge ve daha önceden bulunmuş, önceliksiz 2 no.lu öge. Bulardan 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. Dengeleme sonucu Çizelge 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.34 Örnek 4.9’un çözümü

İş İstasyonu	İş Öğeleri	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

5. MONTAJ HATTI DENGELEMEDE DİĞER YAKLAŞIMLAR

5.1 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,

$$t_K = \sum_{j=1}^M N_j t_{jK} \quad \text{şeklindedir.} \quad (5.1.)$$

Böyle bir modelde çevrim süresi ile göz önüne 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:

$$\sum_{i=1}^m T_i = \sum_{k=1}^N t_K \quad \text{olacaktır.} \quad (5.2.)$$

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

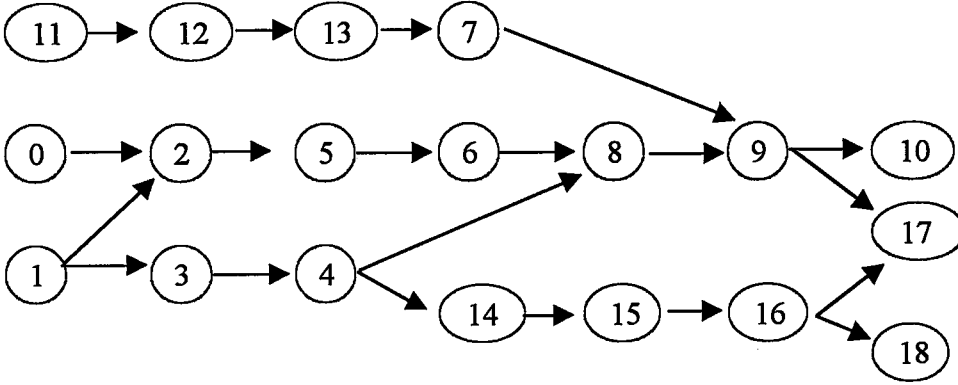
ÖRNEK 5.1

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 5.1 A ve B modelleri için öncelik şeması

A ve B gibi iki modelin aynı hatta üretildiği varsayılın. Bu iki model birbirinden farklı olup, buna karşılık bazı iş öğeleri ortak olsun. Modellerin öncelik şeması, Şekil 5.1'de verilmektedir. Her iki modelde de 1., 3., 4., 7., 8. ve 9. iş öğeleri ortaktır. A modeli için 200, B modeli için 100 üretim gereksinimi vardır. Çizelge 5.1'de çözüm için gerekli tüm veriler verilmiştir. (b) kolonunda iş öge süreleri, (e) kolonunda her iki modelin de üretilmesi gereken miktarını üretebilmek için, iş öğesinin haftada kaç kez yapılması gerektiği görülmektedir. Her iş öğesinin haftalık toplam süre gereksinimi de (f) kolonunda yer almıştır (Toplam süre/ hafta = bxe).

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 Çizelge 5.2'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 üretildiği ve istasyonlar arası güvenlik stoklarının bulunduğu durumlarda, Çizelge 5.2’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 söz konusu olmalı ve benzer nitelikli işlerin, farklı istasyonlara özgülenmesi amaçlanmalıdır.

Çizelge 5.1 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 Gereksinimi Hafta	(f) Toplam Standart Süre/Hafta	(g) Konum Ağırlığı
0	0,32	200	0	200	64	396
1	0,1	200	100	300	30	448
2	0,2	200	0	200	40	332
3	0,05	200	100	300	15	292
4	0,1	200	100	300	30	277
5	0,23	200	0	200	46	292
6	0,2	200	0	200	40	246
7	0,05	200	100	300	15	125
8	0,32	200	100	300	96	206
9	0,1	200	100	300	30	110
10	0,3	200	0	200	60	60
11	0,1	0	100	100	10	167
12	0,15	0	100	100	15	157
13	0,17	0	100	100	17	142
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	0,2	0	100	100	20	20
18	0,13	0	100	100	13	13

Çizelge 5.2 İki Modelli Hat dengeleme

İstasyon No	Öge No	Öğenin Haftalık Toplam Süresi	Haftalık 40 Saat Süreden Artan Zaman
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

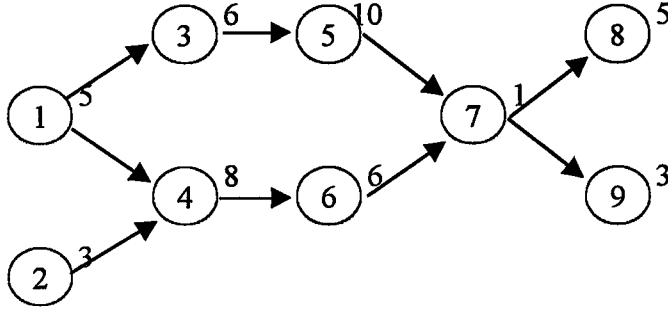
Bu durumda denge kaybı ;

$$D = (\%) = \frac{n.C - \Sigma t}{n.C} = \frac{15.40 - 569}{15.40} = \%5.16 \quad \text{olur.}$$

5.2 Çevrim Süresinin Bilinmediği Durum (Kilbridge, Wester. (1961))

ÖRNEK 5.2

9 iş ögesi olan bir montaj hattında, işlerin öncelik ilişkileri ve işlem süreleri, Şekil 5.2’de gösterildiği gibi olsun.



Şekil 5.2 Örnek 5.2'e ilişkin öncelik diyagramı

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

$$48 = 2.2.2.2.3$$

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

$$10 \leq C \leq 48$$

olmalıdır.

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

$$C_1 = 2.2.2.2.3 = 48$$

$$C_2 = 2.2.2.3 = 24$$

$$C_3 = 2.2.2.2 = 16$$

$$C_4 = 2.2.3 = 12$$

$$C_5 = 2.2.2 = 8$$

$$C_6 = 2.3 = 6$$

$$C_7 = 2.2 = 4$$

$$C_8 = 3$$

$$C_9 = 2$$

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

En iyi dengeyi sağlayacak iş istasyonu sayısı ise, aşağıdaki gibi bulunur :

Önce uygun C_i değerleri için gerekli n_i değerler hesaplanır :

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

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

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

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

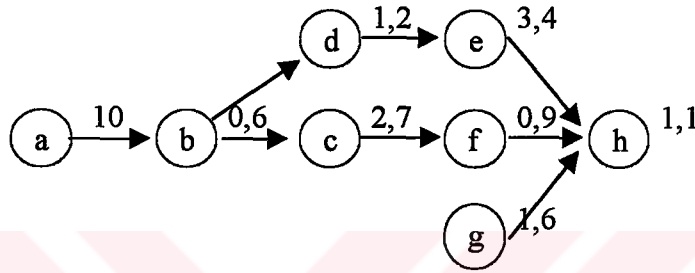
Montaj hattı dengelemesinde, C 'nin saptanan değerleri için en uygun çözüm bulunana kadar, ilgili yöntem uygulanır.

5.3 İstasyon Sayısının Bilinmesi Durumunda Çevrim Süresinin Saptanması (Baskak,Murat (1988))

ÖRNEK 5.3

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

İş öğelerinin öncelik sırası ve standart süreleri (dk.) Şekil 5.3’de gösterildiği gibi olsun.

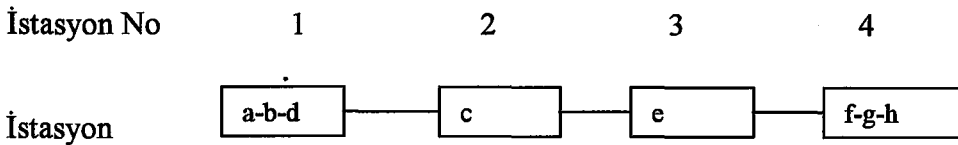


Şekil 5.3 Örnek 5.3'e ilişkin Öncelik diyagramı

Bu yöntemde bir istasyon sayısı verildiğinde, verimli olmayan en az sürenin bulunmasına çalışılır. Periyot- ve dolayısıyla üretim hızı değiştirilirken belirli bir iş istasyonu sayısı için boş süre en küçüklenir. İşlem; en büyük ve en küçük istasyonlardaki öğeler arasında iş süreleri farkı, istasyonların iş süreleri farkına en yakın 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, Çizelge 5.3’de olduğu gibidir.

Şekil 5.4’de, son dengeleme durumu gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Örnek 5.3’e İlişkin Son Dengeleme Durumu

Çizelge 5.3 Örnek 5.3'e ilişkin çözüm aşamaları

Başlangıç Olası Çözümü	n = 1 a = 1 b = 0,6 c = 2,7	n = 2 d = 1.2 e = 3.4	n = 3 f = 0.9 g = 1.6	n = 4 h=1.1	Toplam Boş Süre
	4,3	4,6	2,5	1,1	5,9
Birinci Değişim	4,3	-e=3,4 1,2	2,5	+e=3,4 4,5	5,5
İkinci Değişim	4,3	1,2	+e=3,4 5,9	-e=3,4 1,1	11,1
Üçüncü Değişim	4,3	1,2	-g=1,6 2,7	+g=1,6 2,7	4,7
Dördüncü Değişim	-c=2,7 1,6	+c=2,7 3,9	4,3	2,7	4,7
Beşinci Değişim	1,6	3,9	-f=0,9 3,4	+f=0,9 3,6	3,1
Altıncı Değişim	+d=1,2 2,8	-d=1,2 2,7	3,4	3,6	1,9

5.4 Montaj Hattı Etkinliğinin Paralel İstasyonlarla Artırılması (Gökçen,H.(1987))

5.4.1 Giriş

Bir montaj hattı üzerinde birimler, çevrim zamanı denilen düzgün bir zaman aralığında montaj hattı boyunca sıralanmış ve ürün üzerinde gerekli işlemlerin yapıldığı iş istasyonlarından geçerler . Tek bir ürünün üretimi için kurulan tipik montaj hattı, seri olarak organize edilmiştir. Paralel görev ya da iş istasyonuna izin verilmemektedir. Hat üzerinde bir istasyona atanan gerçek iş miktarı istasyon zamanı, istasyon zamanları arasındaki enbüyük değer ise çevrim zamanı olarak adlandırılır. Görevler, montaj sürecindeki iş yükünün rasyonel (daha fazla bölünemez) bir parçası olduklarından, çevrim zamanı en azından en büyük görev zamanına eşit olmalıdır .

Montaj Hattı Dengeleme (MHD) problemi, görevler arasındaki öncelik ilişkileri ihlal edilmeyecek, her bir istasyona çevrim zamanında yapılabilenden fazla görev atanmayacak ve tüm istasyonlardaki atanmamış zaman (boş zaman) en küçüklenecek şekilde tüm görevlerin sıralı iş istasyonlarına tahsis edilmesi olarak tanımlanabilir .

MHD problemi ile ilgili ilk analitik çalışma Salveson tarafından yapılmıştır. O zamandan günümüze problemin çözümüyle ilgili birçok yöntem geliştirilmiş ve problemle alakalı pek çok çalışma yapılmıştır. Bu konuda geniş bilgi için Baybars ile Ghosh ve Gagnon 'un çalışmalarına bakılabilir. Montaj hatlarında, hattın etkinliğinin artırılması için görevler ya da istasyonların paralel hale getirilmesi (paralellenmesi) Freeman ve Jucker , Buxey , Pinto ve diğerleri , Johnson , Sarker ve Shantikumar , Bard , Reiter , Akagi ve diğerleri ile Pinto ve diğerlerinin çalışmalarında rastlanabilir. Bunların bir kısmı, dengeleme esnasında paralel yapılacak görev ya da istasyonlardan kaynaklanan görev ve ekipman maliyetlerini de dikkate alarak modellerini geliştirmişlerdir. Şu ana kadar paralellikle ilgili yapılan çalışmaların tamamı, dengeleme esnasında görev ya da istasyonların paralel yapılmasıyla ilgili çalışmalardır.

Bu bölümde, belirli bir üretim oranı sağlayacak şekilde ilk denge oluşturulduktan sonra uygun istasyonların paralellenerek daha sonra gruplanması söz konusudur. Bu durum, istasyon boş zamanlarının azaltılması ve hattın etkinliğinin artırılmasını sağlayabilmektedir. Bu amaçla geliştirilen sezgisel yöntem, konuya yeni bir bakış açısı getirmesi ve konunun tartışmaya açılması bakımından oldukça anlamlıdır.

5.4.2 Paralellik kavramı

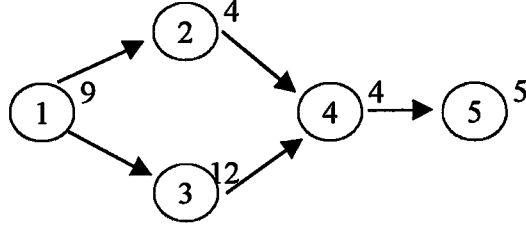
Yüksek üretim oranına erişmek için değişik alternatif yollar vardır. Örneğin, fazla mesai, başka montaj hattı, taşeron, tampon (buffer) stoklar ve paralelliğin kullanımı Pinto ve diğerleri paralellenmiş hattın çoğu durumlarda üretimi artıran diğer alternatiflerden daha az maliyetli olabildiğini ispatlamaya çalışmıştır.

Geleneksel MHD problemlerindeki ana varsayım, hattın seri olması yani görev ve istasyonların paralelliğinin olmamasıdır. Her bir görev belirli bir istasyona atanır ve hiçbir iki istasyon aynı görevi yapamaz. Paralellik belirli bir görevin birden fazla istasyonda yapılmasına imkan sağlar ve bunun için de ilave tesis maliyetinin dikkate alınmasını gerektirir. Montaj hattında paralellenecek görevlerin seçilmesi ise oldukça karmaşık bir problemdir . Paralelliğin bir diğer faydası da sistem güvenilirliği ile ilgilidir. Bir seri hatta,

herhangi bir istasyonun arızası, tüm hattın durmasına sebep olabilir. Paralellenmiş bir istasyonun arızası ise, işlemlerin devam etmesini engellemez .

5.4.2.1 Görevlerin paralelliği

Bir montaj hattında, görevlerden herhangi birisinin ya da birkaçının çevrim zamanını geçmesi durumunda, görevlerin arzu edilen bir paralellik seviyesiyle (seviye n: görevin n-1) tekrarı

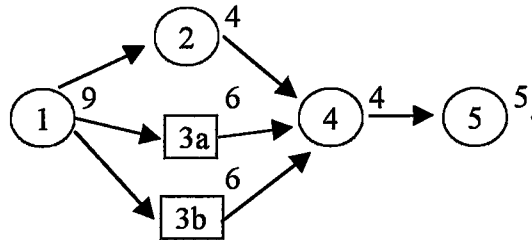


Şekil 5.5 Görevli öncelik diyagramı

paralel hale getirilmesidir. Görevlerin paralelliği basit bir örnek ile izah edilirse; 5 görevli bir hattın öncelik diyagramı Şekil 5.5’de verilmiştir. Gerekli üretim oranının saatte 6 birim olduğunu varsayıyoruz. Bu üretimi karşılamak için gerekli çevrim zamanı $C=60/6=10\text{dk/br.}$ olarak hesaplanabilir.

Şekil 5.5’de, 3 no’lu görev çevrim zamanını aştığından arzu edilen üretim oranını karşılamak için ilave işgücüne ihtiyaç olduğu görülmektedir. Şekil 5.5’deki 2 no’lu görevin 1 paralellik seviyesiyle paralellenmesi Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

Paralellığe izin verilmediğinde, C’nin 12’ye çıkarılması gerekmektedir. Yani üretim oranı, istenilen zamanda karşılanamamaktadır. Bu durumda dengenin sağlanması için 4 istasyon ([1], [3], [2,4], [5]) gerektiği görülmektedir. Paralellığe izin verildiğinde, arzu edilen üretim oranı $C=10$ ile karşılanabilmektedir ve gerekli istasyon sayısı 4’tür ([1], [2, 3a], [3b,4], [5]). Paralel görev ilave maliyet gerektireceğinden, fayda-maliyet analizi ile paralelliğin yapılp

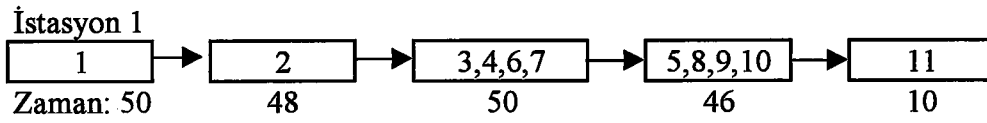


Şekil 5.6 Görevi paralellenmiş öncelik Dyg.

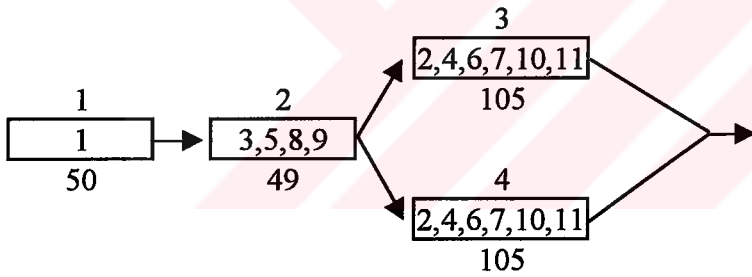
yapılmamasına ya da paralellik seviyesinin ne olacağına karar verilmesi gerekmektedir. Montaj hattında hiçbir görevin çevrim zamanını geçmemesi durumunda dahi görevlerin paralellenmesi ile fayda sağlanabilmektedir.

5.4.2.2 İstasyonların paralellliği

Bu kavram, görevlerden ziyade, görevlerin atandığı istasyonların paralel hale getirilmesi ile ilgilidir. Şekil 5.7 (a) da 11 görevli ve $C=55$ olan bir problem için optimal denge ve hattın etkinliği (E), şekil 5.7 (b) de ise aynı problem için paralel istasyonlu denge ve hattın etkinliği ve ayrıca Çizelge 5.4’de istasyonlardaki görevlerin görev zamanları verilmiştir .



(a) $E = 0,742$



(b) $E=0,927$

Şekil 5.7 Seri İstasyonlu (a) ve Paralel İstasyonlu (b)

Çizelge 5.4 Görev Zamanları

Görev No.	Görev Zamanı	Görev No.	Görev Zamanı
1	50	7	11
2	48	8	17
3	11	9	12
4	16	10	8
5	9	11	10
6	12		

Paralelliğin olmadığı dengede hat, 5 istasyonla % 74 etkinlikle çalışırken, paralel istasyonlardan oluşan dengede hat 4 istasyon ve % 92 etkinlikle çalışmaktadır.

5.4.3 Notasyonlar ve formülasyonlar

- ST : Toplam istasyon sayısı, $k=1, \dots, ST$.
- S : Teorik enküçük istasyon sayısı, $S=[\sum T(k)/C]^+$, ve $S \leq ST$.
- C : Çevrim zamanı.
- T(k) : k. İstasyonun istasyon zamanı, $k=1, \dots, ST$.
- BZ(k) : k.istasyonun boş zamanı, $BZ(k)=T(k)-C$, $k=1, \dots, ST$.
- A(k) : İstasyon boş zaman oranları, $A(k)=BZ(k)/C$, $k=1, \dots, ST$.
- TBZ : Hattın toplam boş zamanı, $\sum BZ(k)$, $k=1, \dots, ST$.
- ISC : Hattaki toplam işçi sayısı.
- HUZ : Hattın uzunluğu, $HUZ=\sum T(k)$, $k=1, \dots, ST$.
- δ : Boş zaman sınır değeri (%).
- D : Hattın boş zaman yüzdesi, $D=TBZ/C*ST$.
- E : Hattın denge etkinliği, $E=1-D$.

5.4.4 Varsayımlar

- 1) İstasyon zamanları ve çevrim zamanı deterministiktir.

- 2) İstasyonlarla ilgili bölgeleme kısıtı yoktur.
- 3) Her bir istasyonda (gruplanmamış) tek operatör çalışmaktadır.
- 4) Denge sonrası, orijinal çevrim zamanından büyük görev ya da istasyon bulunmamaktadır.

Literatürde görev ve istasyonların paralellenmesi ile ilgili tüm çalışmalarda, paralellik kavramı, montaj hatlarının dengelenmesi esnasında dikkate alınarak oluşturulmuşlardır. Çevrim zamanını geçen görevler için ya görevler paralel yapılmış, ya da istasyonlar birleştirilmiştir. Çevrim zamanını geçmeyen görevlerin olduğu problemler için ise, boş zamanın azaltılması bakımından görevler birden fazla çevrim için ($2xC$, $2xC$, ...vb.) istasyonlara atanarak paralellik oluşturulmuştur.

Sezgisel metotda, hat dengelendikten sonra paralellik kavramı söz konusudur ve dolu istasyonlardan ziyade atıl çalışan istasyonların paralellenip hemen yanındaki istasyonla boş zamanı azaltacak şekilde birleştirilmesi (gruplanması) esasına dayanır. Makalede, paralellikle ilgili iki karar söz konusudur. Birincisi, hatta paralelliğe gerek olup olmadığıdır. Bununla ilgili kriterimiz, denge sonrası istasyon sayısı $ST=S$ ise hatta paralelliğe gerek olmadığı, eğer $ST>S$ ve $TBZ \geq C$ ise, istasyonların paralel yapılarak hattın etkinliğini artırmanın mümkün olabileceğidir. İkinci karar hangi istasyonların paralel olacağı ile ilgilidir. Bununla ilgili kriterimiz ise, her bir istasyondaki boş zaman oranının, karar verici tarafından belirlenen bir boş zaman sınır değerinden (δ) büyük olmasıdır. δ 'dan büyük olan istasyonların tamamı paralel yapılmaya çalışılır. Paralel yapılan istasyonlar ise, yine aynı çevrim zamanı geçilmeyecek şekilde gruplanırlar.

5.4.5 Yöntemin adımları

Adım 1. Verilen bir C için, herhangi bir tek modellenmiş MHD yöntemiyle ST istasyonlu bir başlangıç dengesi oluşturulur. Eğer $ST=S$ ise, hatta herhangi bir istasyonun paralellenmesine gerek yoktur ve durulur. Eğer $ST>S$ ve $TBZ \geq C$ ise, paralellik kararı alınır ve Adım 2'ye gidilir.

Adım 2. $L=1$, $ZTOP=0$, $A(0)$, $A(ST+1)=0$ 'dır ve her bir istasyon için $A(k)$ değerleri hesaplanır.

Adım 3. $A(k) \geq \delta$, $k=L, \dots, ST$ ifadesini sağlayan ilk istasyon belirlenir. Paralellik için aday istasyon çiftleri $\delta > 0$ olan ardışık iki istasyonla belirleneceğinden; Eğer seçilen k . İstasyonun bir önceki ve bir sonraki istasyon boş zaman oranları $A(k-1)$ ve $A(k+1)$ 'in her ikisi birden sıfır ise ilgili istasyonla çift oluşturulamaz. $L=k+2$ yapılır ve Adım 3 tekrarlanır. Herhangi birisi sıfır ise ilgili istasyonla ilgili tek aday çifti elde edilir ($A(k+1)=0$ ise aday çift $(k-1, k)$, ya da $A(k-1)=0$ ise aday çift $(k, k+1)$ dir). $A(k-1)$ ve $A(k+1)$ 'in her ikisi de sıfırdan farklı ise, ilgili istasyon k , hem $(k-1)$ hem de $(k+1)$ ile iki aday çift oluşturulur (bunlar $(k-1, k)$ ve $(k, k+1)$ dir). Aday çift(ler) belirlendikten sonra Adım 5'e gidilir.

Adım 4. $L=k+2$, eğer $L \geq ST$ ise Adım 7'ye gidilir. Aksi halde bir sonraki aday istasyon çiftinin belirlenmesi için Adım 3'e gidilir.

Adım 5. (Aday çift elemanlarından hangisinin paralel yapılacağı kararı verilmesi.) $j=2$, Belirlenen aday çifti $(p1, p2)$ de önce $P1$ paralel yapılır. $G=T(p1)/j$ ve $F=G/C$ hesaplanarak $FARK=A(p2)-F$ değeri belirlenir. Daha sonra $P2$ paralel yapılarak benzer şekilde fark değeri belirlenir. $FARK \geq 0$ olana kadar istasyonun paralellik seviyesi 1 artırılır ($j=j+1$). Her iki aday çift elemanı için $FARK=0$ ise ya da $FARK > 0$ ve herbir çift elemanı için birbirlerine eşitse, elemanlardan birisi rasgele seçilerek j paralellik seviyesiyle paralellenirler. Çift elemanları için $FARK > 0$ ise ve elemanlar birbirlerinden farklıysa, küçük $FARK$ değerine sahip eleman j paralellik seviyesiyle paralellenir. Adım 3'de belirlenen iki aday çiftten her birisi için Adım 5'deki $FARK$ hesaplamaları yapılır ve en küçük paralellik seviyesine sahip ve en az farkın bulunduğu çift seçilir ve çiftin uygun elemanı paralellenir, $ZTOP=ZTOP+(j-1)$ yapılır.

Adım 6. Paralellenen çift elemanı $(p1, p2)$ çiftinden $p2$ ise $T(p1)=T(p1)+T(p2)/j$ hesaplanarak $p1$ ile $p2$ elemanları birleştirilmiş olur ve $T(p2)=0$ ataması yapılır. Paralellenen eleman $p1$ ise, $T(p2)+T(p1)/j$ hesaplanarak $p1$ ile $p2$ elemanları birleştirilir ve $T(p1)=0$ ataması yapılarak Adım 4'e gidilir.

Adım 7. $T(k)$, $k=1, \dots, ST$ dizisinde sıfır olan elemanlar diziden çıkarılarak kalan elemanlar sıralanır. Elde edilen yeni dizi, gruplanmış istasyonları gösterir. Bu dizi kullanılarak, hattın D, E, HUZ ve ISC değerleri hesaplanır ve işlemler durdurulur.

5.4.6 Problem çözümü

Adım 1. Çevrim zamanı 8 olan bir MHD problemi, istasyonlardaki boş zaman enazlanacak şekilde 9 istasyonla çözülmüş olsun. İstasyon zamanları, $T(1)=5$, $T(2)=4$, $T(3)=6$, $T(4)=4$, $T(5)=7$, $T(6)=8$, $T(7)=3$, $T(8)=6$, $T(9)=4$ 'dür. $S=[5,8]^+=6$ adettir. $ST=9>6$ ve $TBZ=25>8$ olduğundan paralellik kararı alınır.

Adım 2. $L=1$, $\delta=0.35$, $A(1)=BZ(1)/C=0.375$, $A(2)=0.5$, $A(3)=0.25$, $A(4)=0.5$, $A(5)=0.125$, $A(6)=0$, $A(7)=0.625$, $A(8)=0.25$ ve $A(9)=0.5$ olarak belirlenir.

Adım 3. δ 'dan büyük eşit ilk istasyon 1 nolu istasyondur ($k=1$). $A(0)=0$ ve $A(2)>0$ olduğundan, aday çifti ($k,k+1$) yani $(1,2)$ 'dir.

Adım 5. $J=2$ ve belirlenen aday çifti $(1,2)$ 'dir. 1. İstasyon paralel yapılırsa, $G=5/2=2.5$, $F=2.5/8=0.31$, $FARK=A(2)-F=0.5-0.31=0.19>0$ 'dır. 2. İstasyon paralel yapılırsa, $G=4/2=4$, $F=2/8=0.25$, $FARK=0.375-0.25=0.125>0$ 'dır. $0.125<0.19$ olduğundan, 2. İstasyon 2 paralellik seviyesiyle paralellenir. $ZTOP=ZTOP+(j-1)=0+(2-1)=1$ 'dir.

Adım 6. $T(1)=T(1)+T(2)/j=5+4/2=7$ 'dir. 1 ve 2. İstasyonlar birleştirilmiştir ve $T(2)=0$ yapılır.

Adım 4. $L=k+2=3$ 'dür. $L<ST$ olduğundan Adım 3'e gidilir.

Adım 3. Döngü $k=3,9$ olmuştur δ 'dan büyük eşit ilk istasyon 4'dür ($k=4$). $A(3)>0$ ve $A(5)>0$ olduğundan aday çift $(3,4)$ ve $(4,5)$ olmak üzere iki tanedir.

Adım 5. $J=2$ ve belirlenen aday çiftlerden ilki $(3,4)$ ele alınır. 3. İstasyon paralel yapılırsa, $G=6/2=3$, $F=3/8=0.375$ ve $FARK=0.125>0$ 'dır. 4. İstasyon paralel yapılırsa, $G=4/2=2$, $F=2/8=0.25$ ve $FARK=0$ 'dır. Bu kez $j=2$ için ikinci çift $(4,5)$ ele alınır. 4. İstasyon paralel yapılırsa, $G=2$, $F=0.25$ ve $FARK=-0.125<0$ 'dır. $FARK<0$ olduğundan j bir artırılır ($j=j+1$). $J=3$ için, $G=1.33$, $F=0.16$ ve $FARK=-0.035$ 'dir. Yine negatif olduğundan j bir artırılır. $J=4$ için, $FARK=0$ 'dır. 5. İstasyon paralel yapılırsa, $FARK=0.063$ 'tür. Bu iki incelenen çiftten $(3,4)$ seçilir. Zira $(4,5)$ 'de fark sıfır bulunmuştur ancak paralellik seviyesi büyüktür. Seçilen $(3,4)$ çiftinden de 4. İstasyon 2 paralellik seviyesiyle paralellenir. Bu arada $ZTOP=1+(2-1)=2$ 'dir.

Adım 6. $T(3)=T(3)+T(4)/2=6+4/2=8$ 'dir. 3 ve 4 istasyonlar birleştirilmiştir ve $T(4)=0$ yapılır.

Adım 4. $L=k+2=6$ 'dır. $L < ST$ olduğundan Adım 3'e gidilir.

Adım 3. Döngü $k=6,9$ olmuştur. δ 'dan büyük eşit ilk istasyon 7'dir ($k=7$). $A(6)=0$ ve $A(8)>0$ olduğundan aday çift (7,8)dir.

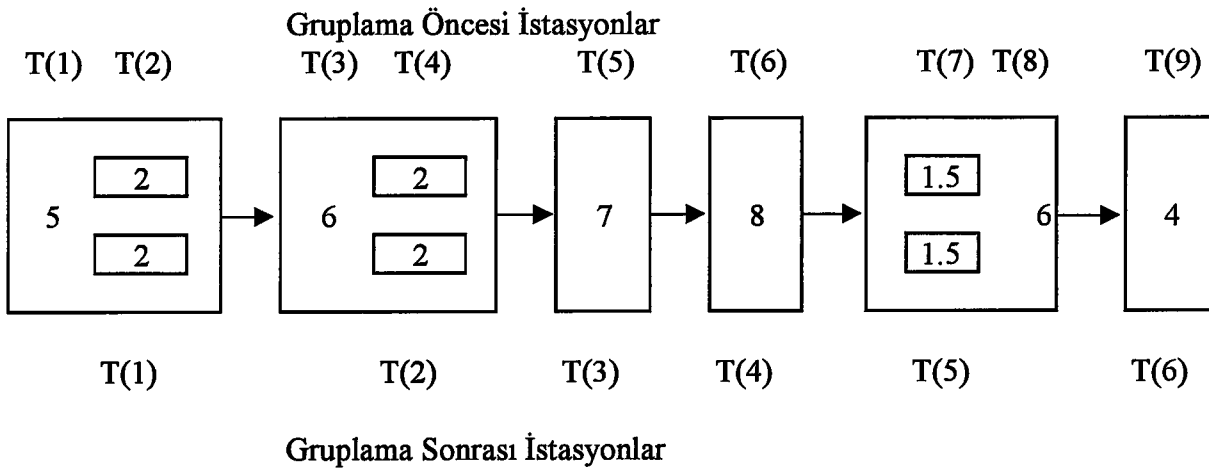
Adım 5. $J=2$. 7. İstasyon paralel yapılırsa, $FARK=0.063>0$ 'dır. 8. İstasyon paralel yapılırsa, $FARK=0.25>0$ 'dır. $0.063<0.25$ olduğundan 7. İstasyon 2 paralellik seviyesiyle paralellenir. Bu arada $ZTOP=2+(2-1)=3$ 'tür.

Adım 6. $T(8)=6+3/2=7.5$ 'dur. 7 ve 8 istasyonlar birleştirilmiştir ve $T(7)=0$ yapılır.

Adım 4. $L=k+2=9$ 'dur. $L \geq ST$ olduğundan Adım 7'ye gidilir.

Adım 7. $T(1)=7$, $T(2)=0$, $T(3)=8$, $T(4)=0$, $T(5)=7$, $T(6)=8$, $T(7)=0$, $T(8)=7.5$ ve $T(9)=4$ 'dür. Sıfır değerli olanlar çıkarılarak kalan elemanlar sıralanır. $T(1)=7$, $T(2)=8$, $T(3)=7$, $T(4)=8$, $T(5)=7.5$ ve $T(6)=4$ 'dür. Bu yeni dizi elemanları gruplanmış istasyonlardır. Gruplanmış istasyon sayısı 6'dır. Sonuç olarak $D=6.5/48=0.13$, $E=0.86$, $HUZ=41.5$ ve $ISC=12$ olarak bulunmuştur. Gruplanmış istasyonların gösterimi Şekil 4'de verilmiştir.

Başlangıç devresinde $D=0.34$, $E=0.66$, $HUZ=47$ ve $ISC=9$ olduğu incelenirse, 3 ilave işçilik ve ekipman maliyetinin, hattın uzunluğunda ürün başına 5.5'lik bir avantaj ve 0.21'lik bir boş zaman tasarrufuna değip değmeyeceğinin kararı fayda-maliyet analizi sonucunda karar verici



Şekil 5.8. Örnek problem için istasyon tarafından verilir.

Bu kısımda, paralellikle ilgili geleneksel çalışmaların dışında, konuya farklı bir bakış açısı getirilmiştir. Yine geleneksel çalışmaların aksine, montaj hatları dengelenirken değil, denge tamamlandıktan sonra istasyonların paralellenerek hattın etkin hale getirilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla geliştirilen sezgisel yöntem, konuya yeni bir bakış açısını getirmesi ve konunun tartışmaya açılması bakımından oldukça anlamlıdır. Yöntem, orijinal çevrim zamanına dokunulmadan denge sonrası aday istasyonları önce paralelleyip sonra gruplayarak boş zamanın azaltılması ve üretim hızının artırılmasını sağlayabilmektedir. Bu amaçla, üretimin erken tamamlanması, siparişin erken teslim edilmesi ve dolayısıyla da yeni projelere başlama imkanı verebilmektedir. Ayrıca literatürdeki dengeleme esnasında paralellığe izin vermeyen birçok yöntemden faydalanma imkanını da sağlayabilmektedir. Ancak tüm bunların yanı sıra paralellığın doğuracağı ilave işgücü ve ekipman maliyetlerinin dikkate alınarak fayda-maliyet analizinin yapılması, artı ve eksilerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Sezgisel yöntem, δ 'dan büyük ve eşit tüm istasyonları paralel yapmaya çalışmaktadır. Aday istasyonların tamamından ziyade maliyet bakımından en uygun azılarının yapılmasını sağlayan prosedürler geliştirilmelidir. Ayrıca, denge sonrası paralel istasyonların oluşturulmasını temin eden ve her bir paralelleme sonrası hattın mali açıdan pozitif ve negatif görüntüsünü tespit ederek karar vericiye yardımcı olan optimal yöntemlerin geliştirilmesi üzerine çalışılmalıdır.

5.5 Çok Modelli Montaj Hatlarında Model Parti Sıralarının Belirlenmesi: Dal ve Sınır Yaklaşımı (Gökçen,H. (1997))

Birçok modellenli hat üzerinde partiler halinde üretilecek modeller ya farklı ürünler ya da aynı ürünün farklı versiyonları olabilirler. Her iki durumda da ürünler (ya da modeller) aynı olmayan fakat benzer üretim ihtiyaçları gösterirler. Çok modellenli montaj hatlarının etkin bir şekilde tasarımı ve çalışması şu üç problemin çözümüne bağlıdır. Birincisi 1. Hat dengeleme problemi, ikincisi, modelin üretim parti büyüklüklerinin belirlenmesi, üçüncüsü de model parti sıralama problemidir. Bu çalışmada model parti sıralama problemi üzerinde durulacaktır. Amaç, verilen bir zaman periyodunda toplam hazırlama maliyetini enazlayan model parti sıralarının belirlenmesidir. Bu amaçla, problemin çözümü için dal ve sınır yaklaşımı kullanılmış ve algoritma basit bir problem üzerinde açıklanmıştır.

5.5.1 Giriş

Bir montaj hattı, malzemelerin üretim hattı boyunca insan gücünden yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin sıralı istasyonlar boyunca yapıldığı sistem olarak tanımlanabilir. Montaj hatları tek modelli (ürünlü), çok modelli ve karışık modelli hatlar olarak sınıflandırılabilir. Tek modelli hatlar, tek tip modelin üretiminde, çok modelli hatlarda ise değişik modellerin üretiminde kullanılırlar. Çok modelli hatlarda değişik modellerin üretimi ayrı ayrı partiler halinde üretilir, arkadan diğer modelin üretimine geçilir. Modeller hiçbir zaman birbirlerine karıştırılmazlar. Pratikte montaj hattı önce birinci model için hazırlanır ve daha sonra ikinci, üçüncü, vb. modellerin parti üretimi için hatta gerekli düzenlemeler yapılır.

Karışık modelli hatlarda, aynı üretim hattında aynı anda birden fazla benzer tipteki modellerin karışık olarak üretilmesi söz konusudur .

Montaj hattı dengeleme, öncelik ilişkileri ihlal edilmeden ve çevrim zamanı aşılmadan yapılacak olan görevlerin hat boyunca sıralı iş istasyonlarına mümkün olduğunca eşit iş yükü temin edecek şekilde atanması olarak tanımlanabilir. Literatürde montaj hattı dengeleme problemleri için geliştirilen birçok çözüm yöntemi bulunmaktadır.

Çok ve Karışık modelli montaj hattı problemlerinde, dengelemenin yapılmasının yanı sıra önemli olan diğer bir karar da model partilerinin sıralanması problemidir.

Bu çalışmada, çok modelli montaj hatlarında model partilerinin sıralanması problemi ele alınacaktır. Problem çözümü için dal ve sınır yaklaşımı kullanılarak örnek bir problem üzerinde algoritmanın işleyişi gösterilecektir.

Parti sıralama problemlerinde çözümünden önce oluşturulan matris (Çizelge 5.5) model çiftleri ile ilgili hazırlama maliyetlerini göstermektedir. Başka bir ifadeyle matristeki rakamlar, önceki modelin üretiminden, izleyen modelin üretimine geçildiğinde oluşan hazırlama maliyetleridir.

Bir modelin parti üretimi yapılırken hattın kendi içerisinde bir değişiklik olmadığından (A modelinden A modeline geçişte, hatta herhangi bir değişikliğe gerek yoktur) ve dolayısıyla da bir hazırlama maliyetine ihtiyaç bulunmadığından, matris köşegeninin sıfırlardan oluşması gerekmektedir. Ancak amaç, değişikliklerin getireceği en az maliyeti belirlemek olduğundan,

köşegen elemanların çözümünde yer almamasını temin edecek çok büyük maliyetlerin verilmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.5 Hazırlama Maliyet

Maliyet		İzleyen Model			
		A	B	C	D
Önceki Model	A	0	80	70	90
	B	85	0	65	100
	C	65	60	0	70
	D	55	75	65	0

5.5.2 Parti sıralama problemi: Dal ve sınır yaklaşımı

$C_0 = [C_{0ij}]$, i modelinden j modeli parti üretimine geçişte ortaya çıkan hazırlama (değiştirme) maliyetlerini gösteren matristir. Amaç, toplam hazırlama maliyetlerini enküçükleyen bir parti sıralamasının bulunmasıdır. C maliyet matrisi aşağıdaki iki şekilde indirgenebilir;

- Matrisin her bir satırı için, her bir satırın en küçük eleman değeri, satırdaki diğer tüm elemanlardan çıkartılır. Eğer bu prosedür, dönüştürülmüş matrisin her satır ve sütununda en az bir sıfır girişi üretmez ise, o zaman
- Dönüştürülmüş matrisin her bir sütunu için, sütundaki tüm elemanlardan, o sütunun en küçük değeri çıkartılır.

Elde edilen matris indirgenmiş matristir (C_0). Yukarıdaki işlemler matrisin her satır ve sütununda en az bir sıfırın olmasını temin etmektedir. Bir S sıralaması, i modelinden hemen sonra j'nin geleceği kararını gösteren n adet sıralanmış (i, j) çiftinin bir seti olarak ifade edilecektir. S her bir modelin bir kez bulunduğu ve bir kapalı bağlı yolun (Closed connected path) ifade edilmesinde dikkate alınacaktır.

5.5.2.1 Algoritma

Adım 1. $C = 0$ ve problem için dikkate alınan sınır B olsun.

Adım 2. Her satır ve sütunda en az bir sıfırın oluşması için maliyet matrisi indirgenir. Azaltılmış sabitlerin toplamı (R_0), herhangi bir sıralamaya başlamadan önce problem için bir alt sınırı gösterir. Başlangıçta $B = R_0$ 'dır.

Adım 3. İndirgenmiş matris dikkate alınarak her satır ve sütundaki en küçük ilk değer arasındaki fark belirlenir.

Adım 4. $C=C+1$, indirgenmiş matristeki her bir sıfır değeri bir Δ_c oluşturmaktadır. Δ_c bir ceza maliyeti ifade etmekte olup, sıfır elemanına karşılık gelen, adım 3'de bulunan satır ve sütun fark değerlerinin toplamından elde edilir.

Adım 5. İndirgenmiş matriste sıfır elemanına karşılık gelen ve en büyük Δ_c değerine sahip sıralanmış bir (i, j) çifti seçilir. Eğer birden fazla en büyük Δ_c var ise seçim keyfi olarak yapılır.

Adım 6. S'nin parçası olarak dikkate alınan (i, j) sıralı çifti işleme alınır. Δ_c değeri (i, j) sırasına izin vermemenin ekstra malitelyini gösterir. (i, j) sırasına izin verilmeme (i, j) ile gösterilmektedir. İndirgenmiş maliyet matrisinden satır i ve sütun j kaldırılır. Böylece $B=B+\Delta_c$, (i, j) sırasına izin verilmediği durum için problemin yeni sınırıdır.

Adım 7. Azaltılmış sabitlerin toplamı (R_c) belirlenir. R_c , her satır ve sütunda en az bir sıfır olması için, adım 6'dan sonra kalan matrisin indirgenmesiyle oluşur. Böylece $B = B+R_c$, (i,j) sırasına izin verildiği durum için problemin yeni sınırıdır.

Adım 8. S'nin tüm modellerin bulunmadığı, kapalı bağlı yolları içermesini engellemek için, engel olan (i, j) çiftlerine ve kaldırılan (i, j) çiftinin bir sonraki matriste (j, i) değerine ∞ atanması yapılır. Algoritma, tüm modeller işleme alınana kadar adım 3'den itibaren tekrar eder.

5.5.2.2 Örnek problem

Problem, Çizelge 5.6.'de verilen matris için toplam hazırlama maliyetlerini en küçükleyen optimum bir parti sırasının bulunmasıdır.

Çizelge 5.6 Başlangıç Hazırlama Maliyet

Model	1	2	3	4	Satır Min.
1	∞	80	70	90	70
2	85	∞	65	100	65
3	65	60	∞	70	60
4	55	75	65	∞	55

R_0 = Azaltılmış sabitlerin toplamı = $70+65+60+55 = 250$ (Tüm mümkün sıralamalar için bir sınır).

5.5.2.3 Çözüm

Her satır ve sütunda en az bir tane sıfır değerli hücre temin etmek için, her bir satırın en küçük değeri, satırın diğer elemanlarından çıkartılmıştır. Neticede her satır ve sütunda en az bir sıfır değeri elde edilemediğinden aynı işlemler, sütunlar için de tekrar edilmiştir. Elde edilen indirgenmiş matris Çizelge 5.7’de verilmiştir. Δ değerleri de yine aynı çizelge üzerinde kutular içinde gösterilmiştir. Bu değerler her satır ve sütundaki en küçük iki değer arasındaki farkların, matris içinde sıfıra karşılık gelen ilgili satır ve sütun fark değerlerinin toplamıyla elde edilmiştir.

Çizelge 5.7 İndirgenmiş başlangıç matrisi C

Model	1	2	3	4	Satır Min.
1	∞	10	0 (10)	10	10
2	20	∞	0 (20)	25	20
3	5	0 (10)	∞	0 (10)	0
4	0 (15)	20	10	∞	10
2min fark	5	10	0	10	

Δ değeri (ceza maliyeti) en büyük olan sıralı çift (2,3) dür ($\Delta_1 = 20$). Bu sıralı çift seçilir ve matristen kaldırılır. İlaveten (3,2) çiftine de ∞ değeri atanır. (2,3) çiftine izin verilmemesi durumunda çözüm sınırı $B=B+\Delta_1$ ’den $B= 250 + 20 = 270$ olacaktır. (2,3) çifti matristen çıkarıldıktan sonra kalan matriste de her satır ve sütunda en az bir sıfır bulunması gerektiğinden 1’inci satırdan 10 ve 2’nci sütundan da 10 çıkartılarak azalan sabitlerin toplamı $R_1 = 20$ olarak bulunur. Yani (2,3) çiftine izin verilmesi durumunda çözüm sınırı $B =$

$B+R_c$ 'den $B = 250 + 20 = 270$ olarak bulunur. İlk sıralı çift dikkate alındıktan sonra elde edilen matris Çizelge 5.8.'de verilmiştir.

Çizelge 5.8 (2,3) Çifti ele alındıktan sonraki indirg. matris

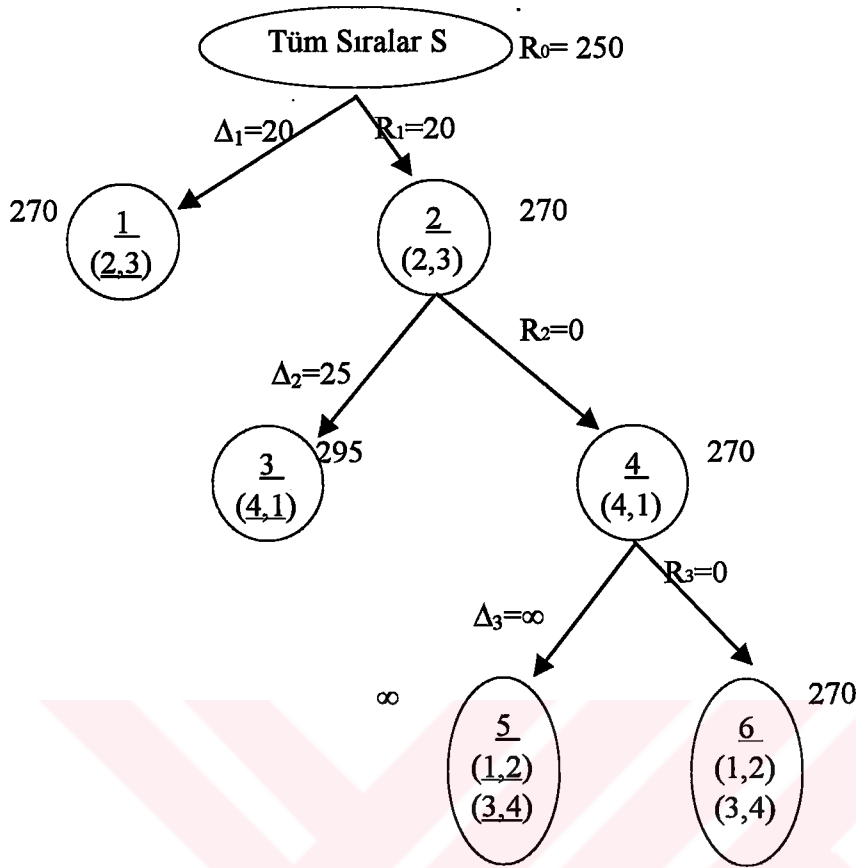
Model	1	2	4	2min.Satır Fark
1	∞	0 (20)	0 (0)	0
3	5	∞	0 (5)	5
4	0 (25)	20	∞	20
2min fark	5	20	0	

Çizelge 5.8.'den görüleceği gibi ikinci dikkate alınacak çift (4,1) dir ($\Delta_1 = 25$). Bu sıralı çift seçilir ve matristen kaldırılır. (1,4) çiftine ∞ değeri verilir. (4,1) sıralı çiftine izin verilmemesi durumu için çözüm sınırı $B = 270 + 25 = 295$ 'dir. (4,1) matrinden kaldırıldıktan sonra kalan matriste her satır ve sütunda en az bir tane sıfır değerli hücre bulunduğuundan $R_1 = 0$ 'dır ve (4,1) çiftine izin verilmesi durumunda çözüm sınırı $B = 270 + 0 = 270$ olarak bulunur. Şu ana kadar dikkate alınan iki sıralı çiftten sonra oluşan matris Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9 (4,1) Çifti ele alındıktan sonraki indirgenmiş matrisi

Model	2	4
1	0	∞
3	∞	0

Çizelge 5.9'da daha fazla indirgemenin bulunmadığı ve sadece (2,1) ve (3,4) sıralı çiftlerinin mümkün olduğu açıkça görülmektedir. Yani problem çözümü tamamlanmıştır. Elde edilen sıralı çiftler (2,3), (4,1), (1,2), (4,3)'dür. Bu sıralı çiftlerin kapalı bağlı bir yol oluşturması gerekmektedir. Bu yol 1-2-3-4-1 olarak yazılabilir. Yol, modellere ait partilerin üretime alınması sırasını göstermektedir. Şekil 5.9'dan da görüleceği üzere (2,3) sıralı çiftine izin verilmediği durum için sınır değeri 270'dir. Eğer buradan dallanmaya devam edilirse, elde edilebilecek en iyi çözüm değeri 270'ten küçük olamayacağı için daha fazla iyileştirmenin yapılmasının mümkün olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla elde edilen (1-2-3-4-1) sırası, 270 toplam değişirme (hazırlama) maliyetiyle optimaldir.



Şekil 5.9. Örnek problemin dal sınır ağacı

Modellere ait partiler aynı sırayla istenildiği kadar hatta alınabilirler. (1-2-3-4-1-2-3-4-1-2-3-4-2,...)

Bu problemde, özellikle çok modelli montaj hatlarında oldukça önemli bir yer tutan model parti sıralarının belirlenmesi problemi üzerinde durulmuştur. Problemin çözümü için kullanılan dal ve sınır yaklaşımıyla, optimal model parti sırası hızlı, sade ve kolay anlaşılır bir şekilde elde edilmiştir.

5.6 Montaj Hatlarında Taşma Durumu (Başlıgil,Hüseyin (1985))

Üretim ve montaj hatlarında taşma hali (overlap), hat üzerinde herhangi bir iş istasyonuna verilen zamandan daha fazla iş zamanlı işlerin tahsis halidir.

İş yapılması ile işin taşma hali arasında farklar:

- 1) İş yapılmasında yeterli iş zamanı verilmiş, iş zamanı işçinin iyi kullanmamasından büyümüşür.
- 2) İş yığılması zaman zaman olur. Bu, fiziksel stoklama ile giderilebilir. İşin taşma hali (aşırı kapasite hali) ise, iş istasyonu zamanı her halükarda fazla iş zamanı gerektirecek ve iş yığılması bundan dolayı sürekli olacaktır.

Bu durum, paralel alt montaj kavramı ile çözülebilir.

5.6.1 Aşırı yüklenmiş (taşmalı) iş istasyonlu montaj hatlarının dengelenmesi tekniği

Bir üretim hattı üzerinde iş elemanlarının iş istasyonlarına tahsisi, toplam bekleme zamanını minimum yapmak için çok önemlidir. Bu işlem, montaj hattı dengeleme probleminin esasını teşkil eder. Tahsis işlemi birkaç dengeleme modelinin gelişmesine neden olmuştur. Örneğin şu şekilde bir kabul yapılabilir: Bütün iş istasyonları seri şeklinde bir sıraya göre yerleştirilmelidir. Böylece hiçbir iş istasyonu bir mamulün birden fazla benzerini yapamazlar.

Yakın bir tarihte Reiter, yayınlamış olduğu makalesinde iki veya daha fazla iş istasyonunun bir mamulün aynı anda birden fazla benzerini yapmasına müsaade eder. Böylece bu iş istasyonunun paralel çalışıyor durumuna gelirler. Aynı iş yükü seri imalat yapan bir istasyona yüklenmiş kabul edilirse, aşırı yükleme olur. Matematiksel olarak bu görüşü esas alan iş tahsisi, Reither tarafından paralel alt montaj kavramı ile çözülmüştür.

Bu paralellik kavramı Jucker, Freeman ve diğerlerinden farklıdır. Onlar paralellik kavramına, montaj hattı üzerinde bazı iş istasyonlarının tamamen aynı kopyası gözü ile bakarlar ve

onların paralellik kavramı içinde, paralel iş istasyonları montajdaki çeşitli işlerde kullanılabilir.

Halbuki Reiter tarafından ortaya atılan paralellik kavramı ilk olarak Hu tarafından ortaya atılmış, daha sonra Reiter tarafından genişletilmiştir.

Reiter, bir mamulün aynı benzerini üretmek için bir üretim hattında denemeler yapılmıştır. Ona göre, bütün iş elemanları eşit zaman süreli olacak şekilde iş istasyonları kendi aralarında aşırı yüklemeli eleman tahsisine müsaade ederler.

Bu kabule göre, paralel alt montajlı, montaj hatları tertip etmek için iki model teklif edilir.

Model.1.

Belirli bir iş istasyonundaki bütün iş elemanları, belirli bir devir zamanı süresince, mamulün aynısının benzerini yapmaya müsaade eder.

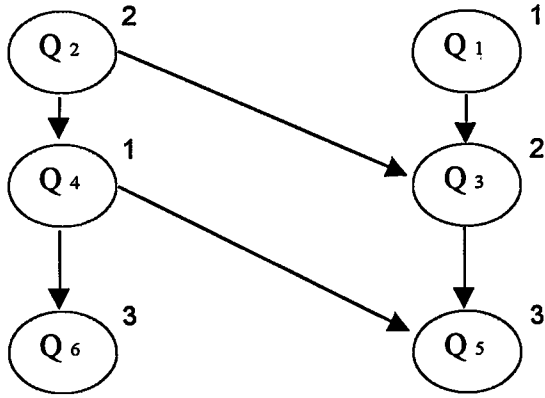
Model.2.

Belirli bir iş istasyonundaki tek tek iş elemanlarının belirli bir devir zamanı esnasında, kısmen montajı yapılmış bir mamulün aynı benzerine tatbik edilmeleri gerekmez.

Model.1. ve Model.2. arasındaki fark ve paralellik kavramı aşağıdaki örneklerle gösterilecektir.

5'lik bir çevrim zamanı ve sabit süreli, 6 iş elemanı için verilmiş bir öncelik diyagramına göre toplam bekleme zamanını minimize eden iş istasyonları için tahsisleri ve grupları tespit edeceğiz.

Seri iş istasyonlarının işlemsel dizaynında (aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi), üç iş istasyonunu gerektiren birkaç alternatif çözüm geliştirmek mümkündür.



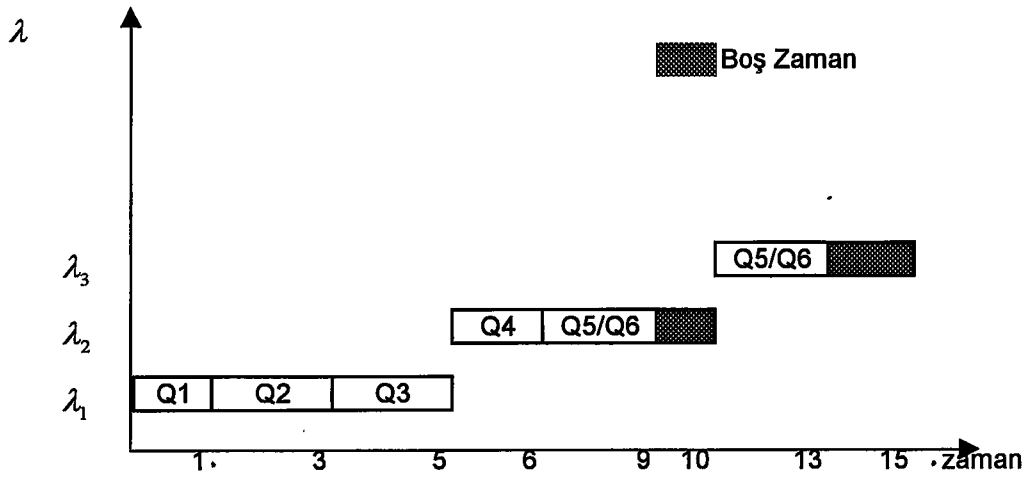
Toplam Zaman 12

Şekil 5.10 6 iş elemanlı problem için öncelik diyagramı

İş istasyonu	İŞ ELEMEN TAHSİSLERİ		
	Çözüm.1	Çözüm.2.	Çözüm.3.
1	Q1,Q2 (3)	Q1,Q2,Q3 (5)	Q1,Q2,Q4 (4)
2	Q3,Q5 (5)	Q4,Q5/Q6 (4)	Q3, Q5/Q6 (5)
3	Q4,Q6 (4)	Q5/Q6 (3)	Q5/Q6 (3)

() içindeki numaralar, özel iş elemanı tahsisli istasyon zamanlarını gösterir.
(Qi/Qj) ise bu Qi veya Qj yapılabilir demektir.

Şekil 5.11 İstasyona Tahsisler



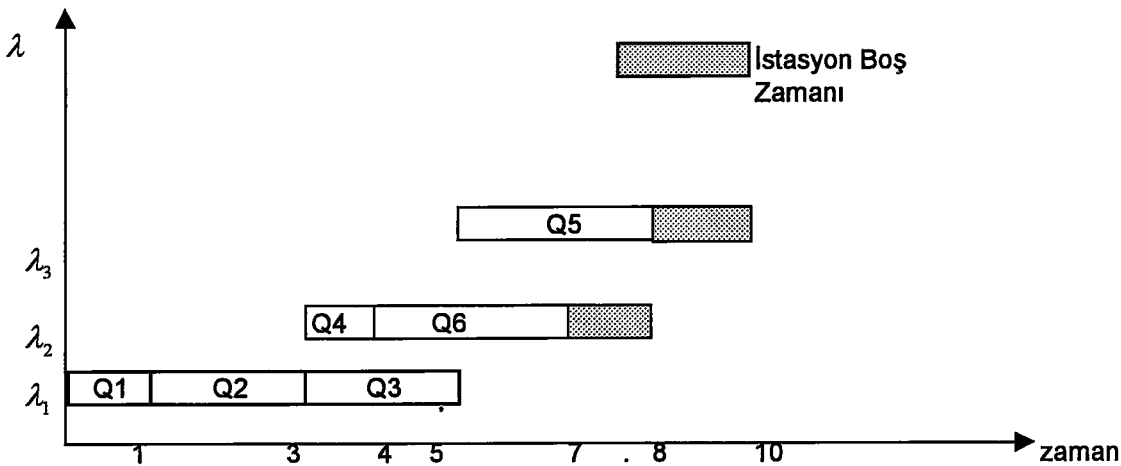
Şekil 5.12 Çözüm-2 için seri iş istasyonu düzeninin Gant diyagramı

Model.2.'ye göre yapılan işlemler için; verilmiş bir istasyonundaki öncelik ilişkileri, iş elemanlarının kısmi montajlı bir mamulün farklı kopyalarına tatbik edilebildiği için birbiriyle çakışmaz. Yani yapıldığı kadarıyla mamuller birbirinden farklı olacaktır. Yukarıdaki problem için farklı bir istasyon tahsisi olarak $\lambda_1(Q_2, Q_3(4)), \lambda_2(Q_1, Q_5(4)), \lambda_3(Q_4, Q_6(4))$ düşünelim. Model.2.'de, tamamlanmış iş elemanlı kısmi bir montaj mamulün sıfır zamanında λ_1 istasyonuna tedarik edilmesi gerekir. Benzer şekilde kısmi montajlı kopyalar diğer istasyonlarda mevcut olmalıdır. Daha sonra Model.2.'ye göre Q_2 ve Q_3 , λ_1 istasyonunda kısmi montajlı bir mamulün aynı kopyasına tatbik edilmeleri gerekmez. Reiter Model.1.'i iyice uygulamış ve Model.2.'nin gerekliliğini belirtmiştir.

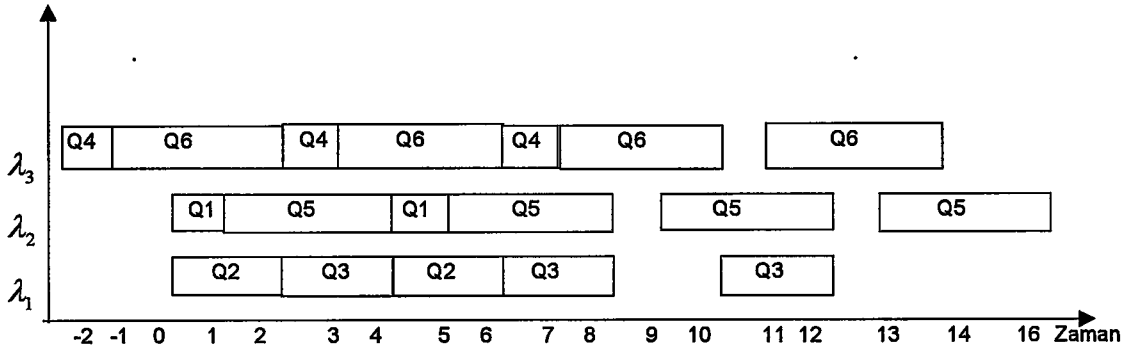
Model-1'de

- Her iş elemanı, sadece bir istasyona tahsis edilmelidir.
- Herhangi bir istasyona tahsis edilmiş toplam işlerin zamanları toplamı, önceden tayin edilmiş devir zamanına eşit veya daha az olmalıdır.
- Bütün öncelik şartları, farklı istasyonlara olduğu kadar aynı istasyonlara tahsis edilmiş bütün elemanlar tarafından tatmin olmalıdır.

Şekil 5.13, iş istasyonlarının bir mamulün aynı benzeri üzerinde, aşırı kapasite ile çalıştığı duruma göre paralel alt montaj kriteri Model.1. uygulandığında, aynı işin istasyon tahsislerinin ne şekilde olacağını göstermektedir.



Şekil 5.13 Model 1. Paralel alt montaj kriterine göre 6 işli Gant diyagramı



Şekil 5.14 Model 2'ye görülen çözülen 6 işli problemin Gant Diyagramı

5.7 Paralel Alt Montaj Modellerinin Avantajları(Başlıgil,Hüseyin(1984))

5.7.1 Yüksek verim

Seri halde yapılan montaj işinin, alt montaj modelleri ile daha kısa zamanda yapılacağı açıktır. Başka bir deyişle aynı zamanda yapılacağı açıktır. Başka bir deyişle aynı zamanda alt montaj modelleri ile daha çok parça yapılacaktır.

Harcanan zaman aynı olmak şartıyla yapılan kopyaların sayısı:

$$\Delta = \left\lceil \frac{n - E_p}{\delta} \right\rceil \quad \text{veya} \quad \Delta = \left\lceil \frac{n}{\delta} \right\rceil - \left\lceil \frac{E_p}{\delta} \right\rceil - 1 \quad \text{veya} \quad \Delta = m - \left\lceil \frac{E_p}{\delta} \right\rceil - 1$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada:

n : Montaj hattının toplam zamanı,

m : İstasyonların gereken sayısı,

Δ : İlave aynı benzerlerin sayısı.

E_p : Paralel istasyonlarda harcanan zaman.

δ : Devir zamanıdır.

5.7.2 Öncelik ilişkilerinin ortadan kalkması

İş istasyonlarında öncelik ilişkilerinin ortadan kalkması, oldukça önemli kolaylıklar sağlayacaktır. Bu olay, kendiliğinden olur. Birinci istasyonda 1. işçi iş yapılırken, onun paraleli 6. işi yapabilir. Çünkü, 6. işin önceliği ikinci veya gerekirse üçüncü işin aynı benzeri şeklinde yapılmıştır. Bundan dolayı başlangıçta dahi benzeri yapılmış olarak stokta bekletilebilen benzer kopyalar, 6. işin öncelik şartlarını ortadan kaldırır. Bu da hat düzenleyicisine muazzam kolaylıklar sağlar. Örnek: 1 işini yapan işçi 6 işini yapmada da uzman olabilir. Planlayıcı 6 işini, 1 işini yapan işçiye vererek verimi ve kaliteyi artırabilir.

Bu tip bölgeleme problemleri, MODEL.II' ye göre kolayca yapılabilir.

5.7.3 Paralel hatlarda adam tahsis problemleri

Paralel hatlı bir üretim sisteminde işlere adamların tahsisini ihtiva eden iki problem vardır. Bu iki problemde amaç, mevcut üretim hızını maksimum yapmaktır. Bu problemler :

- 1) Bir adamın hızı, ona tahsis edeceğimiz hattan bağımsız olduğundan, basit bir kural olarak “aynı hatta en hızlı adamları gruptama” ile en iyileme elde edilir.
- 2) Üretim hızlarının üretim hattına bağlı olduğu hallerde, bir çözüm elde etmek için algoritma geliştirilir.

Bir tek üretim hattı, seri şekilde devam eden n_s işlerinden ibarettir. Paralel hat üretim sistemi ise, kavramsal olarak yan yana k adet hattan oluşur ve bağımsız olarak çalışır.

Varsayımlarla her bir hattaki her bir işi yapan her adam için bilinen hızlarına göre, bu işlerin adamlara tahsisinde,

$$m = \sum_{s=1}^k n_s$$

kadar adam kullanılsın. Genel olarak en önemli sorun, sistem üretim hızının maksimum bir seviyeye getirmek için işlerin bütün işçilere ayrı ayrı tahsis edilmesidir. Sistemin üretim hızı, ayrı ayrı hat üretim hızlarının toplamıdır ve bir hattın üretim hızı, en düşük adam-iş bileşenidir.

Matematiksel olarak, e_{ij}^s ; s hattında, j işindeki i adamının üretim hızını gösterebilir.

$$\left. \begin{array}{ll} x_{ij}^s = 1 & \text{eğer i adamı, s hattındaki j işine tahsis edilmişse} \\ x_{ij}^s = 0 & \text{aksi takdirde.} \end{array} \right\} \quad (5.3.)$$

$i=1, \dots, m$ için $j=1, \dots, n_s$ için $s=1, \dots, k$ olsun. Daha sonra X_1^s , (s) hattı ile birleştirilmiş $x = (x_{ij}^s)$ toplam tahsisinin bir parçasını temsil etsin. Bu durumda verilmiş X^s tahsisi için, s hattının üretim hızı:

$$\text{Min } X_{ij}^s > 0 ; x_{ij}^s \in x^s \{x_{ij}^s, e_{ij}^s\}$$

ve sistemin üretim hızı;

$$\sum_{s=1}^k \text{Min } x_{ij}^s > 0 ; x_{ij}^s \in x^s \{x_{ij}^s, e_{ij}^s\} \quad (5.4)$$

denklemleri olur.

Daha önce gösterildiği gibi bir tahsis probleminde kısıtlamalar şunlardır:

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m x_{ij}^s = 1 \quad j=1, \dots, n_s \text{ ve } s=1, \dots, k \\ \sum_{s=1}^k \sum_{j=1}^{n_s} x_{ij}^s = 1 \quad i=1, \dots, m \end{array} \right\} \quad (5.5)$$

(1)ve (2) eşitliğinin lineer olmayışından dolayı standart hesaplama metodları, problem için pek uygun değildir. Buna rağmen özel durum için çözüm mevcut olup, üzerinde çalışılabilir. Fulkerson, Glicksberg ve Gross'un da tek bir üretim hattı problemi ($k=1$), standart matematiksel şekle, yani çok kullanılan ayırma problemi şekline çevirmişlerdir.

Şimdi varsayalım ki, bir üretim hattı belirli işleri kapsasın ve sistemdeki her hat aynı olsun. Daha sonra varsayalım ki, bir hat üzerinde belli bir iş için görevlendirilmiş adam başka bir iş yapmasın. İşçinin üretim hızı, tahsis edilmiş olduğu hatla aynı olsun. Bu problemin bir örneği 1,2,3 formüllerinde belirtilen e_{ij}^s 'ye göre Şekil 5.15'deki düzenle gösterilmiştir.

		1.Hat			2.Hat			3.Hat			
İşçi		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	1	5			5			5			k=3 (hat) n=3 (işçi) m=9 (iş)
2	2	10			10			10			
3	3	7			7			7			
1	1		4			4			4		
2	2		8			8			8		
3	3		5			5			5		
1	1			9			9			9	
2	2			6			6			6	
3	3			3			3			3	
Hız		8			5			3			Toplam 16

Şekil 5.15 Tahsis Problemi

Şekilde her hattaki ilk iş için iyi yetiştirilmiş 3 adam görevlendirilir. İkincisi için üç kişi, üçüncü hat için tekrar üç kişi görevlendirilir, uygun çözümlerden biri 4,6,3'tür. Üretim hızlarına göre daire içine alınmış sayılar, uygun çözümleri gösterir.

Daha sonra aşağıdaki kuralı kullanarak, optimum bir sonucun elde edilebileceğini göstereceğiz.

Tahsis edilmemiş olanlardan en hızlı adamı, ayrı ayrı bir işe, bir kereye mahsus olmak üzere tahsis ederek, sırayla hattın tahsisini tamamlayalım:

Bu kaide Şekil 5.16. daki probleme uygulanırsa, Şekil 5.17.deki çözüm elde edilir.

		1.Hat			2.Hat			3.Hat			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
İşçi	1	5			5			5			Toplam
	2	10			10			10			
	3	7			7			7			
	1		4		4				4		
	2		8		8				8		
	3		5		5				5		
	1			9			9			9	
	2			6			6			6	
	3			3			3			3	
Hız		8			5			3			16

Şekil 5.16 Eleman Tahsis-2

Kabul edelim ki, üretim sistemi, 2 inci hattı ihtiva etsin. Genel problemde olduğu gibi; bütün işlere tahsis edilebilsin ve üretim hızları adamın tahsis edildiği hatta ve işe bağlı olsun.

Burada bütün adamların eğitilmiş olduğunu ve sadece bir işe tahsis edildiğini kabul ediyoruz. Bununla beraber, aynı düzende hatlar aynı işleri kapsasın. Sistemdeki hatların k ile, her hattaki işlerin sayısı n ile, toplam adam sayısını m ile gösterirsek, verilmiş bir tahsis için,

		İş			
		1	2	3	
Hat	1	5	4	9	Hız (Üretim Hızı)
	2	10	8	6	
	3	7	5	3	

Şekil 5.17 Tahsis Problemi Sonuç

üretim hızı olarak kabul edilen $k \times n = m$ giriş düzeninde toplanır. Şekil 5.15.de veriler. Tahsiste, her sütun uygun adamların tahsislerini ihtiva ettiğinden, Şekil 5.17.'deki gibi olur.

5.8 Bilgisayar Programında Montaj Hattı Dengeleme

STORM, çeşitli Endüstri mühendisliği çalışmalarında kullanılan bir programdır. Yöneylem araştırması, yatırım analizi, talep tahminleri gibi bir çok dalda karşılaşılan problemleri çözmeye yarar. Bu programda basit montaj hatlarının çözümü için de çözüm yolları vardır. Bu bölümde bu bölümün kullanımından bahsedeceğiz.

5.8.1 Program çalıştırıldığında karşımıza çıkan menü

- 1) Linear & Integer Programming
- 2) Assignment
- 3) Transportation
- 4) Distance Network
- 5) Flow Networks
- 6) Project Management
- 7) Queueing Analysis
- 8) Inventory Management
- 9) Facility Layout
- 10) Assembly Line Balancing
- 11) Investment Analysis
- 12) Forecasting
- 13) Production Scheduling
- 14) Material Requirements Planning

15) Statistical Process Control

16) Statistics

Bizim ilgilendiğimiz konu Montaj Hattı Dengeleme (Assembly Line Balancing) olduğundan Select option bölümüne “10” yazılır. Entera basılır.

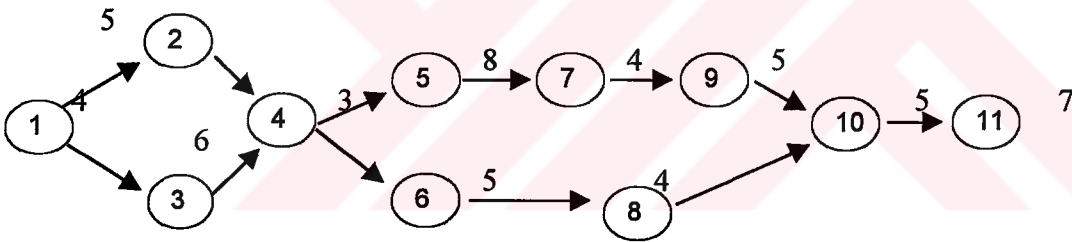
5.8.2 Ekranı gelen 2 seçenek:

B1) Read an existing data file (Hazır veriden okutmak için)

B2) Create a new data set (Yeni veriyi girmek için)

Yeni veri girişi yapılacağından B2 nolu işlem seçilir

Örnek olarak Bölüm-4'te verilen Öncelik Diyagramı ile çözülen örneği ele alalım:



Şekil 5.4 Örnek 5.3'e ilişkin Öncelik Diyagramı

5.8.3 Ekranda çıkan menüye gerekli değerlerin girilmesi

Title : (Başlık Girilir)

Number of tasks : (Kaç Adet İş Ögesi Var)

Maximal number of predecessors : (Makimum Önceleme Durumu)

Cycle time : (Çevrim Zamanı)

Girilen değerler:

Title : Öncelik Diyagramı İle Çözüm

Number of tasks : 11

Maximal number of predecessors : 2

Cycle time : 10

Yukarıdaki değerler girildikten sonra

5.8.4 Problemle ilgili ayrıntılar, öncelikler

R1 : C4 TASK NUMBR TASK TIME PRED 1 PRED 2

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

TASK 11 11 7. 10 .

5.8.5 Tahsis işlemini başlatma

- 1) Edit the current data set
- 2) Save the current data set
- 3) Print the current data set
- 4) Execute the module with the current data set

Girilen değerler ile programı çalıştırmak için 4.seçenek seçilir.

5.8.6 Son çözüm

Karşımıza son çözüm olarak aşağıdaki bilgiler çıkmaktadır. Bu duruma göre %20 lik denge kaybı ile 7 istasyonda örnek problem dengelenmiştir. Bölüm 3'te yapılan örnekte de aynı sonuçları görmek mümkündür.

Work Number of Tasks %

Station Operators Assigned Task Time Idle Time Idle

1 1 TASK 1 4.0000 0.0000 0.00

TASK 3 6.0000

Total Time: 10.0000

2 1 TASK 2 5.0000 2.0000 20.00

TASK 4 3.0000

Total Time: 8.0000

3 1 TASK 5 8.0000 2.0000 20.00

Total Time: 8.0000

4 1 TASK 6 5.0000 1.0000 10.00

TASK 7 4.0000

Total Time: 9.0000

5 1 TASK 9 5.0000 1.0000 10.00

TASK 8 4.0000

Total Time: 9.0000

6 1 TASK 10 5.0000 5.0000 50.00

Total Time: 5.0000

7 1 TASK 11 7.0000 3.0000 30.00

Total Time: 7.0000

FINAL SOLUTION - NOT GUARANTEED OPTIMAL

Cycle Time = 10.0000

Summary information for this balance

Total number of work stations 7

Total number of operators 7

Number of multiple operator stations ... 0

Balance delay (%) 20.00

6. UYGULAMA

6.1 Problem

Defter üretimi yapan firmanın ürünlerinden Güzelyazı-20 yaprak için günlük 1500 kg; Bloknot A5 40 yaprak için günlük 1791 kg talep vardır. 1 hafta üretim istenmektedir. Çevrim süresi olarak 1 vardiya (7 saat) alınması istenmektedir. Verilen kısıt ve iş akışlarına göre üretim hattının dengelenmesi istenmektedir.

6.2 Seçilen Ürünlerin Üretim Aşamaları

Güzelyazı-20 yaprak ve A5 40 yaprak bloknot üretim aşamaları şu aşamalardan oluşmaktadır:

6.2.1 Güzelyazı-20 yaprak üretim aşamaları

- 1) Bobin Ebatlama Makinası: Bobin olarak gelen 1.Hamur Kağıt bobin; Bobin açma makinalarında ürün cinsine göre firmanın destek dokümanında belirtilen şekilde belli ebatlara kesilir. Bu makinada kesim işleminin yanısıra mamülün cinsine göre uygun merdanelerle kağıt çizgili hale getirilir. (Mesela bu bölümde güzelyazı çizgileri çizili halde makinadan çıkıyor.) Firmada 3 adet Bobin ebatlama makinası vardır. Gerektiğinde kapasite arttırımı için 3 vardiya çalışılabilir. 3 vardiyadaki kapasitenin de yetmeyeceği işler için (yüksek kapasiteli işler); veya hat dengeleme sonrası eleman ihtiyacı olunan işler için bu işlem yapılmaz, bunun yerine ana fabrikadan 1. Hamur kağıt hazır ebatlanmış olarak getirilir. Ebatlama işinin bu fabrikada yapılmasının amacı değişik ebata kesilecek ürünler için esneklik sağlama (İşe göre ebatlama) ve ebatlama maliyetinin ana fabrikadan satın alımına göre maliyetinin daha ucuza gelmesidir.
- 2) Sayım: Bu tamamıyla işçilik isteyen bir işlemdir. Tabaka halinde bobin ebatlama makinalarında ebatlanmış kağıt, mamülün cinsindeki sayfa adedine göre sayılır. Bizim örneğimizde 20 Yapraklı Güzelyazı üretimi için 10'ar yaprak sayılıyor, işaret konuyor. (10'ar yaprak sayılmasındaki mantık defter daha sonra dikiş atıldığında ikiye katlanacak ve defter 20 yapraklı olmuş olacaktır. Mesela aynı şekilde 40 yapraklı üretim yapmak istersek 20şer yaprak sayılacaktı.

- 3) **Kapak Harmanlama:** Sayım bölümünde defterlerin içleri hazırlanmış oldu. Kapak harmanlama işlemi bir tabaka kapağın üstüne sayımda birbirlerinden ayırdığımız defter içlerinin konulma işlemidir.

Ön	Arka	Ön	Arka
Ön	Arka	Ön	Arka
Ön	Arka	Ön	Arka

Şekil 5.1 Güzelyazı kapak

- 4) **Kesim-1:** Kapakları harmanlanmış tabaka halindeki defterleri bir sonraki aşamaya hazırlamak için 2'ye bölmektir. Bu işlem Giyotin makinasında yapılacaktır. Giyotin makinasında iki işçi çalışmaktadır. Birinci işçi kesimi gerçekleştirirken, ikinci işçi kesilmiş malları palete dizmektedir. Bu işlemden sonra tabakamız Çizelge 5.2.'deki gibi olacaktır.

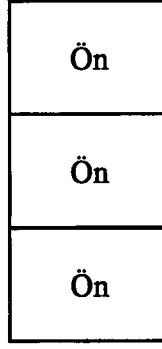
Ön	Arka
Ön	Arka
Ön	Arka

Şekil 5.2 Kesim-1'den sonraki görüntü

- 5) **6 Kafa Dikiş:** 6 Kafa Dikiş Tabakaya 6 adet dikiş vuran (Defterlerin zımbası) ve aynı zamanda tabakayı 2'ye katlayan bir makinedir. İki işçi çalışır. Birinci işçi tek tek tabaka halindeki defterleri koyar, ikinci işçi makinanın sonundan çıkan tabakayı palete yerleştirir.

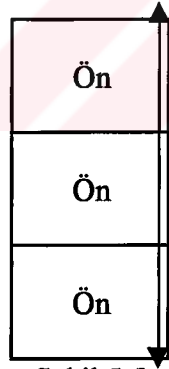
Ön		Arka
Ön		Arka
Ön		Arka

Şekil 5.3 Defterlerin dikişli hali

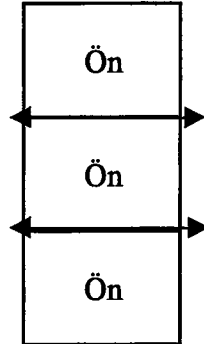


Şekil 5.4 Defterlerin
katlanmış hali

- 6) Istaka: 2'ye katlanmış tabakanın sırtlarının özel makinada uygun biçimde ezilmesidir. Bu aşamada iki işçi çalışır, birincisi makinada çalışırken diğeri makinadan çıkan yarı mamülleri paletlere yerleştirir. Bu şekilde, katlanmış kalın defter sırtı oval durumdan dik duruma getirilir.
- 7) Kesim-2: Defter bu aşamada tabaka halinde uçlarından kesim payı alınır, sonra tek defter haline getirmek için kesilir



Şekil 5.5 Kesim-2 uç kesim



Şekil 5.6 Kesim-2 tek defter haline getirme

- 8) Shring: Destek dokümanda belirtilen adetteki defter koruma amacıyla Shringlenir. (Bir çeşit şeffaf ambalaj). Bu iş için özel makine vardır. Makinanın başında bir kişi makinanın konveyörüne defterleri koyarken, bir kişi de makinadan çıkacak ve konveyörle kendisine ulaşacak shringlenmiş paketleri palete dizecektir. Güzelyazı 20 Yaprakta 24 adet defter bir arada shrinklenir.

DeFTER-1
DeFTER-2
DeFTER-3
DeFTER-4
DeFTER-5
DeFTER-6

Şekil 5.7 DeFTERlerin shringlenmiş hali

- 9) Etiket Hazırlama: Bilgisayardan her bir shringin üstüne konan TSE standartı olan defterler için mecbur tutulan, diğer defterler için isteğe bağlı olmasına karşın firmanın reklamının olması ve kırtasiyecilerin raflarına koyduğu shringlenmiş paketleri rahat okuyabilmeleri açısından tüm defterler için shringin üzerine mamülü tanıtıcı etiket konur. Bu etiket hazır şablondan özel etiket makinasından çıkarılır. Kullanımı kolaydır. Hemen hemen her işçi bu işlemi rahatlıkla yapabilmektedir, yani herhangi bir eleman kısıtı yoktur.

İç Etikette Yeralan Bilgiler:

- a) Firma İsmi
- b) Firma Adresi
- c) Ürün Tipi ve Cinsi
- d) Üretim Tarihi
- e) Parti Numarası
- f) Barkodu
- g) TSE amblemi (Varsa)

- 10) Etiket yapıştırma: Bilgisayardan çıkarılan etiketler palete dizilmiş olan shringlenmiş haldeki paketlerin üzerine yapıştırılır.

- 11) Koliye Koyma: Destek dokümanlarda belirtilen miktardaki paketler uygun kolilere konur. Konveyörden geçirilir, otomatik olarak bantlama makinasında bant yapıştır ve konveyörün sonunda çember atılır. Bu işlem için konveyörün başında ve sonunda birer işçi kullanılır.
- 12) Koli Etiketleri: Kolilerin üzerine kolilerin içindeki ürünü belirten, ve ISO ambleminin yer aldığı koli etiketi yapıştırılır. Bu etiket planlama bölümü tarafından temin edilip üretime teslim edilir.

Güzelyazı 20 yaprak için tüm üretim aşamaları bitmiş olur.

6.2.2 A5 40 yaprak kareli bloknottun için üretim aşamaları

- 1) Bobin Ebatlama Makinası: Bobin olarak gelen 1.Hamur Kağıt bobin; Bobin açma makinalarında ürün cinsine göre firmanın destek dokümanında belirtilen şekilde belli ebatlara kesilir. Bu makinada kesim işleminin yanısıra mamülün cinsine göre uygun merdanelerle kağıt çizgili hale getirilir. (Mesela bu bölümde A5 Kare çizgileri çizili halde makinadan çıkıyor.)
- 2) Sayım: Bu işçilik isteyen bir işlemdir. Tabaka halinde bobin ebatlama makinalarında ebatlanmış kağıt, mamülün cinsindeki sayfa sayısına göre sayılır. Bizim örneğimizde 40 Yapraklı A5 bloknottun üretimi için 40'ar yaprak sayılıyor, işaret konuyor.
- 3) Kapak Harmanlama: Sayım bölümünde defterlerin içleri hazırlanmış oldu. Kapak harmanlama işlemi bir tabaka alt kapağın üstüne sayımda birbirlerinden ayırdığımız defter içlerinin konulma işlemidir.

Arka	Arka
Arka	Arka
Arka	Arka
Arka	Arka

Şekil 5.8 Bloknottun kapak

- 4) Kesim-1: Kapakları harmanlanmış tabaka halindeki defterleri bir sonraki aşamaya hazırlamak için 8'e bölme işlemidir. (Tek defter haline getirme) Bu işlem Giyotin makinasında yapılacaktır. Giyotin makinasında iki işçi çalışmaktadır. Birinci işçi kesimi gerçekleştirirken, ikinci işçi kesilmiş malları palete dizmektedir.
- 5) Kesim-2: Ön Kapakların Bloknot makinasına girebilecek şekilde uygun ebatlara kesilmesidir. Tek olarak defter ön kapağı haline getirilmesidir. Bu işlem Giyotin makinasında yapılacaktır. Giyotin makinasında iki işçi çalışmaktadır. Birinci işçi kesimi gerçekleştirirken, ikinci işçi kesilmiş malları palete dizmektedir.
- 6) Bloknot Makinası: Bu makinada 3 işçi çalışmaktadır. Birinci işçi makinaya belirli tempo ile harmanlanmış arka kapak ile içleri koyar; ikinci işçi makinanın tutkalını kontrol eder, 1. işçiye harmanlanmış mamülleri hazır eder, Ön kapakları makinaya koyar. Üçüncü işçi makinadan hazır olarak çıkan bloknotları kontrol eder ve palete dizer.
- 7) Shring: Destek dokümanda belirtilen adetteki bloknot koruma amacıyla Shringlenir. (Bir çeşit şeffaf ambalaj). Bu iş için özel makine vardır. Makinanın başında bir kişi makinanın konveyörüne defterleri koyarken, bir kişi de makinadan çıkacak ve konveyörle kendisine ulaşacak shringlenmiş paketleri palete dizecektir. A5 Bloknot 40 Yaprakta 24 adet defter bir arada shrinklenir.

Defter-1
Defter-2
Defter-3
Defter-4
Defter-5
Defter-6

Şekil 5.9 Defterlerin shringlenmiş görünümü

- 8) Etiket Hazırlama: Bilgisayardan herbir shringin üstüne konan TSE standartı olan defterler için mecbur tutulan, diğer defterler için isteğe bağlı olmasına karşın firmanın reklamının olması ve kırtasiyecilerin raflarına koyduğu shringlenmiş paketleri rahat okuyabilmeleri açısından tüm defterler için shringin üzerine mamülü tanıtıcı etiket konur. Bu etiket hazır şablondan özel etiket makinasından çıkarılır. Kullanımı kolaydır. Hemen hemen her işçi bu işlemi rahatlıkla yapabilmektedir, yani herhangi bir eleman kısıtı yoktur.
- 9) Etiket yapıştırma: Bilgisayardan çıkarılan etiketler palete dizilmiş olan shringlenmiş haldeki paketlerin üzerine yapıştırılır.

- 10) Koliye Koyma: Destek dokümanlarda belirtilen miktardaki paketler uygun kolilere konur. Konveyörden geçirilir, otomatik olarak bantlama makinasında bant yapıştır ve konveyörün sonunda çember atılır. Bu işlem için konveyörün başında ve sonunda birer işçi kullanılır.
- 11) Koli Etiket: Kolilerin üzerine kolilerin içindeki ürünü belirten, ve ISO ambleminin yer aldığı koli etiketi yapıştırılır. Bu etiket planlama bölümü tarafından temin edilip üretime teslim edilir.

A5 40 yaprak Bloknot için tüm üretim aşamaları bitmiş olur.

6.3 Makine Kapasiteleri ve Zaman Etüdları

Seçilen ürünlerin kullanıldığı makinaların kapasiteleri tespit edilmiştir. Bunun dışında elde yapılan işlemlerinde zaman etüdları ile standart zamanları tespit edilmiştir. Çevrim süresi 1 vardiya (7 saat) alınmıştır.

6.3.1 Güzelyazı 20 yaprak üretimi için kapasiteler

Makine Kapasite (Vardiyada kg)

1) Bobin Açma	678
2) Sayım	1.597
3) Kapak Harmanlama	418
4) 2'ye Kesim	3500
5) 6 Kafa Dikiş	2.083
6) Istaka	5.322
7) Giyotin	1.573
8) Shring	5.580

9) Etiket Hazırlama	12.000
10) Shrink Etiketi	8.000
12) Koliye Koyma	10.000
13) Koli Etiketi	15.000

6.3.2 A5 40 yaprak bloknot üretimi için kapasiteler

<u>Makine</u>	<u>Kapasite (Vardiyada kg)</u>
1) Bobin Açma	678
2) Sayım	3.010
3) Kapak Harmanlama	950
4) 8'e Kesim	2.250
7) Bloknot	934
8) Shring	5.580
9) Etiket Hazırlama	24.000
10) Shrink Etiketi	8.000
14) Koliye Koyma	10.000
15) Koli Etiketi	15.000

İlk olarak Güzelyazı üretimi için iş akışını gösterelim. Şekil 6.10'da görüldüğü gibi Güzelyazı üretimi 12 aşamadan oluşmaktadır. Şekilde aynı zamanda her istasyonun günlük kapasiteleri ve bu kapasiteye göre kullanım %leri de verilmektedir. Mesela Bobin Ebatlama makinası %221'lik bir kullanıma sahipmiş. Bu durumda 1 adet Bobin ebatlama makinasının istenilen üretim için kapasitesinin yetmediği ve bu sebepten paralel istasyon açılması gerekmektedir. Kolileme iş ögesi ise toplam zamanın 1 kişi için kullanılabilir toplam zamanın %10'u kadar doluluğu vardır, problem çözümünün ileriki aşamalarında bu iş ögesinin başka iş ögesiyle beraber bir istasyona yükleneceği görülmektedir.

Dengeleme öncesi eleman kullanımı 24 kişidir. (Şekil 6.11)

Dengeleme kaybı şekil 6.12'de gösterilmiştir.

Güzelyazı üretiminde her bir iş ögesi istasyon olarak düşünüldüğünde işçilik kaybı %40 olmaktadır. (Şekil 6.12)

Bloknot üretimi için iş akışını gösterelim. Şekil 6.13'de görüldüğü gibi Bloknot üretimi 10 aşamadan oluşmaktadır. Şekilde aynı zamanda her istasyonun günlük kapasiteleri ve bu kapasiteye göre kullanım %leri de verilmektedir.

Bloknot üretimi için dengeleme kaybı şekil 6.14'de gösterilmiştir.

Bloknot üretiminde her bir iş ögesi istasyon olarak düşünüldüğünde işçilik kaybı %30 olmaktadır. (Şekil 6.15)

6.4 Problemin Formülasyonu

Bu aşamada Güzelyazı ve Bloknot üretimleri için iş öğelerini şu şekilde belirtiriz.

	Süre (Saat)
1a) Bobin Ebatlama (Bloknot)	19.10
1b) Bobin Ebatlama (Güzelyazı)	15.49
2a) Sayım (Bloknot)	4.30
2b) Sayım (Güzelyazı)	6.57
3a) Kapak Harman (Bloknot)	13.65
3b) Kapak Harman (Güzelyazı)	25.12
4a) 8'e Kesim (Bloknot)	5.76
4b) 2'e Kesim (Bloknot)	3
5) Bloknot Makinası	13.87
6) 6 Kafa Dikiş (Güzelyazı)	5.04
7) Istaka (Güzelyazı)	1.97
8) Kesim-2 (Güzelyazı)	6.68
9a) Shring (Bloknot)	2.32
9b) Shring (G.Yazı)	1.88
10a) Etiket Hazırlama (Bloknot)	0.54
10b) Etiket Hazırlama (G.Yazı)	0.88

	135
11a) Shring Etiketi (Bloknot)	1.62
11b) Shring Etiketi (G.Yazı)	1.31
12a) Kolileme (Bloknot)	1.30
12b) Kolileme (G.Yazı)	1.05
13a) Koli Etiketi (Bloknot)	0.86
13b) Koli Etiketi (G.Yazı)	0.7



6.5 Problemin Çözümü

Problemin çözümünü öncelik diyagram (Hoffman) metodu ile yapalım. İlk olarak bölüm 6.3.'te verilen ortak üretim iş sıralamasına göre öncelik matrisi oluşturulur (Çizelge 6.1). Burada 1.a, 1.b, 10a, 10b, 13a, 13b iş öğelerinden önce gelen iş öğesi yok. Bu iş öğelerinden biri birinci istasyona yüklenebilir. Biz 1a' nolu iş öğesini birinci istasyona özgülüyoruz. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek ikinci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.2).

İlk özgüleme bizim çevrim süremizden fazla, paralel istasyon açmak zorundayız. Fakat 1b iş öğesi de 1a iş öğesi ile aynı işlem olduğundan ve 1a ile 1b işlemleri toplamı çevrim süresi olan 7'nin katı olduğundan 1b iş öğesi de ilk istasyona özgülenir. Toplam süre $19.11 + 15.47 = 34.58$ yani toplam birbirine paralel 5 istasyon açılacaktır. İşletmede 3 adet bobin ebatlama makinası olduğundan, 3 makinada çalışacak, 2 makinada ise ikinci vardiya açılacaktır. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek üçüncü öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.3).

Bu aşamada 2a, 2b, 10a, 10b, 13a, 13b iş öğeleri yeni istasyona yüklenebilecek durumdadır. 2b nolu iş öğesi 2. İstasyona yüklenir. Bu iş öğesi tam çevrim süresine eşit olduğundan 2. İstasyona başka özgüleme yapılamaz. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek dördüncü öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.4).

Bu aşamada 2a, 3b, 10a, 10b, 13a, 13b iş öğeleri yüklenebilecek konumdadır. Bu iş öğelerinden 2a iş öğesi 3. İstasyona yüklenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek beşinci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.5).

3. istasyon için çevrim süresinden arta kalan süre $7 - 4.27 = 2.73$ 'tür. Bu süreyi dolduracak yüklemeye müsait iş öğelerinden 10a (0.56) özgülenir ve özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek altıncı öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.6). 3. İstasyon için kalan süre $2.73 - 0.56 = 2.17$ olmuş oldu. 3. İstasyona özgülenmemiş süre 2.17'ye yakın olan ve özgülenmeye müsait olan (3a, 3b, 10b, 13a, 13b) iş öğelerinden 10b iş öğesi de 3. İş istasyonuna özgülenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek yedinci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.7). 3. İstasyondan kalan süre $2.17 - 0.91 = 1.26$ olmuş oldu. Bu süreye yakın olupta yüklenebilecek olan iş öğelerinden (3a, 3b, 13a, 13b) 13a da 3. İş

istasyonuna yüklenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek sekizinci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.8) 3. İstasyondan kalan süre $1.26 - 0.84 = 0.42$ olmuş oldu. Bu süreye yakın yüklemeye müsait iş öğesi olmadığından 3. İstasyona yeni bir özgüleme yapılamaz.

4. istasyona yükleme yapılabilecek öğelerden (3a, 3b, 13b) 3a nolu iş öğesi özgülenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek dokuzuncu öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.9). 3a iş öğesi 13.65 ile çevrim süresinden büyük olduğundan toplam birbirine paralel 2 iş istasyonu açılır. (İstasyon 4a ve 4b).

5. İstasyona yükleme yapılabilecek öğelerden (3b, 4a, 13b) 3b nolu iş öğesi seçilir ve özgülenir. 3b iş öğesi 25.13 lük süre ile çevrim süremiz olan 7 den fazla olduğundan $25.13/7 = 4$ adet paralel istasyon açılır. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek onuncu öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.10). 4 adet paralel istasyon açıldığında toplam süre 27 saat iken 25.13 saati doldurulmuş olmaktadır. Kalan süre $27 - 25.13 = 1.87$ saattir. Kalan süre için de 5. İstasyona özgüleme yapabilecek iş öğelerinden (4a, 4b, 13b) 13 b özgülenir. Kalan süre $1.87 - 0.7 = 1.17$ kalır. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek onbirinci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.11).

6.istasyona yükleme için müsait iş öğelerinden (4a, 4b) 4a özgülenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek onikinci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.12). Çevrim süresinden kalan süre $7 - 5.74 = 1.26$ olur. Bu kalan süreye yükleme yapılabilecek istasyon olmadığından 7.istasyonun yüklenmesine başlanabilir.

7.istasyona yükleme için müsait iş öğelerinden (4b, 5) 4b özgülenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek onüçüncü öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.13). Çevrim süresinden kalan süre $7 - 3 = 4$ 'tür. Bu süreye uygun yükleme yapılabilecek iş öğesi olmadığından 7.istasyona yapılacak yükleme tamamlanmış olur.

8.istasyona yükleme için müsait iş öğelerinden (5,6) 5 özgülenir. 5 nolu iş öğesinin 13.86 olan süresi çevrim süresinden büyük olduğundan 8. İstasyona paralel iş istasyonu açılır. Bu istasyondaki makinadan 2 adet bulunmadığından 2.vardiya üretim gerçekleştirilir (Çizelge 6.14) Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek ondördüncü öncelik matrisi oluşturulmuş olur.

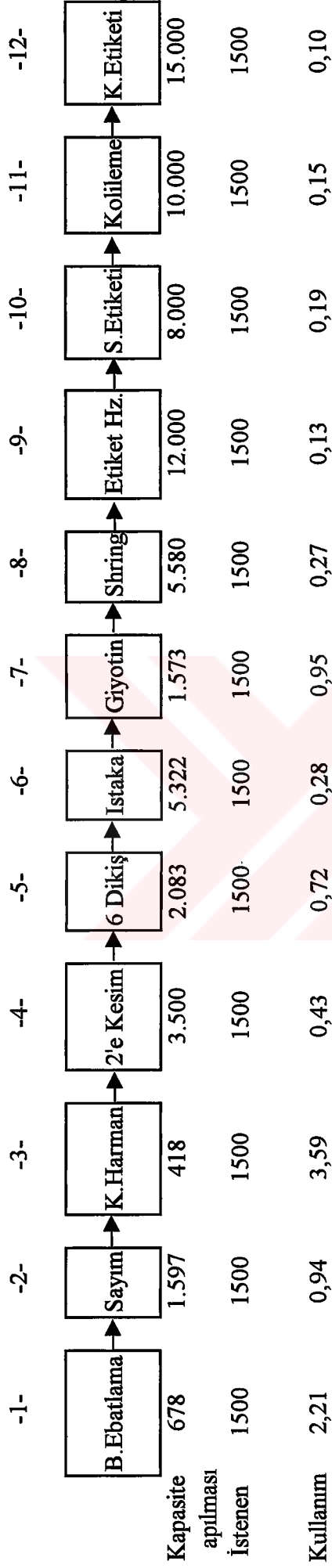
9.istasyona yükleme için müsait iş öğelerinden (6, 9a) 6 nolu iş öğesi 9. İstasyona yüklenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek onbeşinci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.15). 9. İstasyon için kalan süre $7-5.04=1.96$ dır ve bu süreye yapılabilecek yükleme 7 nolu iş öğesidir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek onaltıncı öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.16). 9.istasyon için kalan süre $1.96-1.96=0$ olmuş olur ve istasyon kapatılır.

10.iş istasyonuna yükleme için müsait iş öğelerinden (8,9a) 8 nolu iş öğesi özgülenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek onyedinci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.17). Çevrim süresini tam olarak doldurduğu için 10.istasyona başka özgüleme yapılmaz.

11.iş istasyonuna yükleme için müsait iş öğelerinden (9a,9b) den 9a nolu iş öğesi yüklenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek onsekizinci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.18). Çevrim süresinden kalan süre $7-2.31=4.69$ dur ve bu süreye uygun 9b iş öğesi de 11.istasyona özgülenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek ondokuzuncu öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.19). İş istasyonunda kalan süre $4.69- 1.89= 2.8$ dir ve 11a nolu iş öğesi de 11.iş istasyonuna yüklenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek yirminci öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.20). 11.iş istasyonundan kalan süre $2.8-1.61=1.2$ olur. Kalan süreye yükleme yapılabilecek iş öğesi olmadığından bir sonraki istasyonun yüklenmesine geçilebilir.

12.İş istasyonuna yükleme için müsait iş öğelerinden (11b,12a,12b) 11b 12.istasyona özgülenir. Özgülediğimiz öğeye ait satır ve sütun silinerek yirmibir öncelik matrisi oluşturulmuş olur (Çizelge 6.21). Çevrim süresinden arta kalan zaman $7-1.33=5.67$ dir. Kalan süre için 12a ve 12b nolu iş öğeleri yüklenir. Bu istasyon için kalan süre $5.67-1.33-1.05=3.27$ dir. Yükleme yapılacak başka iş öğesi kalmadığından 12. İstasyona yapılan yüklemeler tamamlanmış olur.

Şekil 6.16'da istasyonlar, yüklemeleri, hat denge kaybı gösterilmektedir. Verilen 7 saat kısıtına göre problem çözülmüştür. Yönetici 7saat kısıtını giyotin makinası için (4a ve 4b işlemleri için) kaldırırrsa, bu makınada 1 hafta boyunca hergün 1.74 saat mesai vermesi halinde hat kaybı %10'dan %6'ya inmektedir (Şekil 6.17). Uygulamalarda yöneticiler teorik çözümün yanında, çözümü basitleştirici kararlar alabilmektedirler.



Şekil 5.10 Güzelyazı defter iş akışı

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-	-10-	-11-	-12-
	B.Ebatlama	Sayım	K.Harman	2'e Kesim	6 Dikiş	Istaka	Giyotin	Shring	Etiket Hz.	S.Etiketi	Kolileme	K.Etiketi
Kapasite	678	1.597	418	3.500	2.083	5.322	1.573	5.580	12.000	8.000	10.000	15.000
Yapılması İstenen	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Kullanım	2,21	0,94	3,59	0,43	0,72	0,28	0,95	0,27	0,13	0,19	0,15	0,10
Kullanılan İstasyon	3	1	4	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Her İstasyon Eleman	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
Toplam Eleman Kullanımı	3	1	4	2	2	2	4	2	1	1	1	1

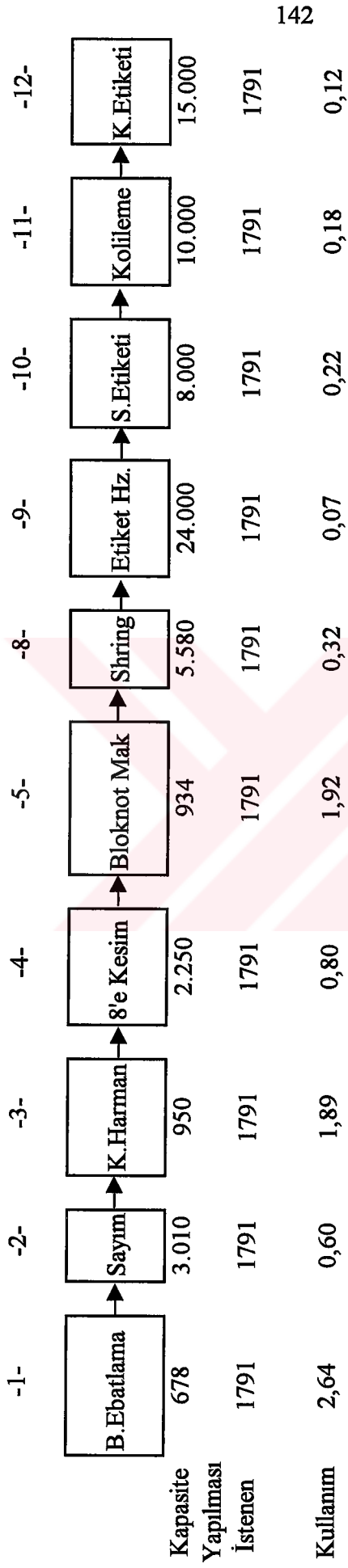
Dengeleme Öncesi Güzel Yazı için Toplam Eleman Kullanımı=

24

Şekil 5.11 Güzelyazı üretimi için dengeleme kaybı

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-	-10-	-11-	-12-
	B.Ebatlama	Sayım	K.Harman	2'e Kesim	6 Dikiş	Istaka	Giyotin	Shring	Etiket Hz.	S.Etiki	Kolileme	K.Etiki
Kapasite	678	1.597	418	3.500	2.083	5.322	1.573	5.580	12.000	8.000	10.000	15.000
Yapılması İstenen	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Kullanım	2,21	0,94	3,59	0,43	0,72	0,28	0,95	0,27	0,13	0,19	0,15	0,10
Gün içinde												
İhtiyaç Olunan												
Saat	15,49	6,57	25,12	3,00	5,04	1,97	6,68	1,88	0,88	1,31	1,05	0,70
Mecburi												
Yükleme	21	7	28	7	7	7	14	7	7	7	7	7
Boş												
Zaman	5,51	0,43	2,88	4,00	1,96	5,03	7,32	5,12	6,13	5,69	5,95	6,30
Boş												
Eleman	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
T.İş Kaybı	5,51	0,43	2,88	8,00	3,92	10,05	14,65	10,24	6,13	5,69	5,95	6,30
T.Çalışma (Tek Kişi)	21,00	7,00	28,00	14,00	14,00	14,00	28,00	14,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Toplam Çalışma												
Toplam İş Kaybı												
% Kayıp:												

Şekil 5.12 Güzelyazı üretimi kayıp zaman



Şekil 5.13 Bloknot defter iş akışı

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-	-10-
	B.Ebatlama	Sayım	K.Harman	8'e Kesim	Bloknot Mak	Shring	Etiket Hz.	S.Etiketi	Kolileme	K.Etiketi
Kapaste	678	3.010	950	2.250	934	5.580	24.000	8.000	10.000	15.000
Yapılması	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791
İstenen	2,64	0,60	1,89	0,80	1,92	0,32	0,07	0,22	0,18	0,12
Kullanım	3	1	2	1	2	1	1	1	1	1
Kullanılan										
İstasyon										
Her İstasyon										
Eleman	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1
Toplam	3	1	2	2	6	2	1	1	1	1
Eleman										
Kullanımı										

143

Dengeleme Öncesi Bloknot için Toplam Eleman Kullanımı=

20

Şekil 5.14. Bloknot için denge kaybı

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-	-10-
	B.Ebatlama	Sayım	K.Harman	8'e Kesim	Bloknot Mak	Shring	Etiket Hz.	S.Etiketi	Kolileme	K.Etiketi
Kapasite	678	3.010	950	2.250	934	5.580	24.000	8.000	10.000	15.000
Yapılması İstenen	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850
Kullanım	2,73	0,61	1,95	0,82	1,98	0,33	0,08	0,23	0,19	0,12
İhtiyaç Olunan Saat	19,10	4,30	13,63	5,76	13,87	2,32	0,54	1,62	1,30	0,86
Mecburi Yükleme	21	7	14	7	14	7	7	7	7	7
Boş Zaman	1,90	2,70	0,37	1,24	0,13	4,68	6,46	5,38	5,71	6,14
Boş Eleman	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1
T.İş Kaybı	1,90	2,70	0,37	1,24	0,40	9,36	6,46	5,38	5,71	6,14
T.Çalışma (Tek Kişi)	21,00	7,00	14,00	7,00	42,00	14,00	7,00	7,00	7,00	7,00

Toplam Çalışma

133,0

Toplam İş Kaybı

39,7

Kayıp Zaman

%30

Şekil 5.15 Bloknot için üretim kayıp zaman

Çizelge 5.1 Öncelik matrisinin oluşturulması

	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5	6	7	8	9a	9b	10a	10b	11a	11b	12a	12b	13a	13b
1a			1																			
1b				1																		
2a					1																	
2b						1																
3a							1															
3b								1														
4a									1													
4b										1												
5													1									
6											1											
7												1										
8														1								
9a															1							
9b																	1					
10a																1						
10b																	1					
11a																		1				
11b																				1		
12a																						
12b																						
13a																						
13b																						
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	1	0	0

Çizelge 5.2 İkinci öncelik matrisinin oluşturulması

	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5	6	7	8	9a	9b	10a	10b	11a	11b	12a	12b	13a	13b
1b			1																		
2a				1																	
2b					1																
3a						1															
3b							1														
4a								1													
4b									1												
5										1											
6											1										
7												1									
8													1								
9a														1							
9b																1					
10a															1						
10b																	1				
11a																		1			
11b																			1		
12a																					
12b																					
13a																					
13b																					
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	1	0	0

Çizelge 5.3 Üçüncü öncelik matrisinin oluşturulması

	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5	6	7	8	9a	9b	10a	10b	11a	11b	12a	12b	13a	13b
2a			1																	
2b				1																
3a					1															
3b						1														
4a							1													
4b								1												
5									1											
6										1										
7											1									
8												1								
9a													1							
9b														1						
10a															1					
10b																1				
11a																	1			
11b																		1		
12a																				
12b																				
13a																				
13b																				
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	1	0	0

Çizelge 5.4 Dördüncü öncelik matrisinin oluşturulması

	2a	3a	3b	4a	4b	5	6	7	8	9a	9b	10a	10b	11a	11b	12a	12b	13a	13b
2a		1																	
3a				1															
3b					1														
4a						1													
4b							1												
5										1									
6								1											
7									1										
8											1								
9a												1							
9b														1					
10a													1						
10b															1				
11a																1			
11b																	1		
12a																			
12b																			
13a																			
13b																			
	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	1	0	0

Çizelge 5.5 Beşinci öncelik matrisinin oluşturulması

	3a	3b	4a	4b	5	6	7	8	9a	9b	10a	10b	11a	11b	12a	12b	13a	13b
3a			1															
3b				1														
4a					1													
4b						1												
5									1									
6							1											
7								1										
8										1								
9a													1					
9b														1				
10a													1					
10b														1				
11a															1			
11b																1		
12a																		
12b																		
13a																		
13b																		
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	1	0	0

Çizelge 5.6 Altıncı öncelik matrisinin oluşturulması

	3a	3b	4a	4b	5	6	7	8	9a	9b	10b	11a	11b	12a	12b	13a	13b
3a			1														
3b				1													
4a					1												
4b						1											
5								1									
6							1										
7								1									
8									1								
9a										1							
9b											1						
10b												1					
11a													1				
11b														1			
12a																	
12b																	
13a																	
13b																	
	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	1	1	0	0

Çizelge 6.11 Onbirinci öncelik matrisinin oluşturulması

	4a	4b	5	6	7	8	9a	9b	11a	11b	12a	12b
4a			1									
4b				1								
5							1					
6					1							
7						1						
8								1				
9a									1			
9b										1		
11a											1	
11b												1
12a												
12b												
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Çizelge 6.12 Onikinci öncelik matrisinin oluşturulması

	4b	5	6	7	8	9a	9b	11a	11b	12a	12b
4b			1								
5						1					
6				1							
7					1						
8							1				
9a								1			
9b									1		
11a										1	
11b											1
12a											
12b											
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Çizelge 6.13. Onüçüncü öncelik matrisinin oluşturulması

	5	6	7	8	9a	9b	11a	11b	12a	12b
5					1					
6			1							
7				1						
8						1				
9a							1			
9b								1		
11a									1	
11b										1
12a										
12b										
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Çizelge 6.14 Ondördüncü öncelik matrisi

	6	7	8	9a	9b	11a	11b	12a	12b
6		1							
7			1						
8					1				
9a						1			
9b							1		
11a								1	
11b									1
12a									
12b									
	0	1	1	0	1	1	1	1	1

Çizelge 6.15 Onbeşinci öncelik matrisi

	7	8	9a	9b	11a	11b	12a	12b
7		1						
8				1				
9a					1			
9b						1		
11a							1	
11b								1
12a								
12b								
	0	1	0	1	1	1	1	1

Çizelge 6.16 Onaltıncı öncelik matrisi

	8	9a	9b	11a	11b	12a	12b
8			1				
9a				1			
9b					1		
11a						1	
11b							1
12a							
12b							
	0	0	1	1	1	1	1

Çizelge 6.17 Onyedinci öncelik matrisi

	9a	9b	11a	11b	12a	12b
9a			1			
9b				1		
11a					1	
11b						1
12a						
12b						
	0	0	1	1	1	1

Çizelge 6.18 Onsekizinci öncelik matrisi

	9b	11a	11b	12a	12b
9b			1		
11a				1	
11b					1
12a					
12b					
	0	0	1	1	1

Çizelge 6.19 Ondokuzuncu öncelik matrisi

	11a	11b	12a	12b
11a			1	
11b				1
12a				
12b				
	0	0	1	1

Çizelge 6.20 Yirminci öncelik matrisinin oluşturulması

	11b	12a	12b
11b			1
12a			
12b			
	0	0	1

Çizelge 6.21 Yirmibirinci öncelik matrisi

	12a	12b
12a		
12b		
	0	0

	İst1	İst2	İst3	İst4	İst5	İst6	İst7	İst8	İst9	İst10	İst11	İst12
İst 1a	1a				3b-13b							
İst 1b	1a				3b-13b							
İst 1c	1a-1b	2b	2a-10a-10b-13a	3a	3b-13b	4a	4b	5	6-7	8	9a-9b-11a	11b-12a-12b
İst 1d	1b			3a	3b-13b			5				
İst 1e	1b											

Net Kullanılan Saat 34,58 6,57 6,58 13,7 25,83 5,76 3 13,87 7 6,68 5,82 3,66
 Brüt Saat 35 7 7 14 28 7 7 14 7 7 7 7

Kullanılan Eleman 5 1 1 2 4 2 2 2 6 2 2 2 1

Hat Denge Kaybı: %10

Toplam Eleman Kullanımı 30

Şekil 5.16 İstasyonlara yüklenmiş durum

	İst1	İst2	İst3	İst4	İst5	İst6	İst7	İst8	İst9	İst10	İst11
İst 1a	1a				3b-13b						
İst 1b	1a				3b-13b						
İst 1c	1a			3a	3b-13b	4a+4b	5	6-7	8	9a-9b-11a	11b-12a-12b
İst 1b	1a-1b	2b	2a-10a-10b-13a	3a	3b-13b		5				
İst 1d	1b										
İst 1e	1b										
İst 1b	1b										
Net Kullanılan Saat	34,58	6,57	6,58	13,7	25,83	8,76	13,87	7	6,68	5,82	3,66
Brüt Saat	35	7	7	14	28	8,76	14	7	7	7	7
Kullanılan Eleman	5	1	1	2	4	2	6	2	2	2	1
Hat Denge Kaybı:			%6								
Toplam Eleman Kullanımı											

Şekil 5.17. 4a ve 4b işlemlerinde mesai durumu

7. SONUÇLAR

Montaj hattının dengelenmesi problemine, yarım yüz yıla yakın bir süre boyunca, işletmelerde ustabaşlarının, atolye mühendisinin çözümlemesi gereken bir problem gözüyle bakılmıştır. Farklı konularda üretim yönetimi problemleri ele alınarak çözüm yolları araştırılıp bulunurken, imalat ve montaj hatları dengeleme konusunda yapılan akademik çalışmalar çok düşük bir seviyede kalmıştı.1955 yılında M.E.Salveson'un hazırladığı çalışmanın ardından özel araştırmaların sonucu geliştirilen yöntemlerin pek çoğu bugün başarı ile kullanılmaktadır.

Ülkemizde de bu konuda uzman olan, çalışmalar yapmış kişiler vardır. Bu kişiler en başta Prof.Dr.Hüseyin Başlıgil, sonra Doç.Dr.Murat Baskak ve Doç.Dr.Hadi Gökçen Beylerdir.

Benim Yıldız Teknik Üniversitesinden almış olduğum eğitim ve bu tez çalışmasından dolayı, çalıştığım şirkette haftalık hat dengeleme ile Defter Bölümünde eleman sayısı 103 kişiden 48 kişiye indirmiş bulunuyorum. 1997-1998 yıllarında 103 kişi ile yapılan üretim, 1999 yılında 48 kişi ile 10.5 ayda gerçekleştirilmiş, kalan 1.5 ayda ajanda, takvim, sert kapaklı defter gibi yeni ürünlere çalışılmıştır, verimlilik artmış ve maliyetler azalmıştır. Maliyetlerin azalması ile rekabetçi ortamda satışlar artmış bir önceki yıldan kalan 3.000 ton stok bir sonraki yıl aynı miktar üretimle 400 tona düşmüştür.

Üretim Hatlarının Dengelenmesi ile şirketlerde verimlilik yükselmekte, karlılık artmaktadır. Şirketlerin rekabet gücü de artmaktadır. Bu konu üzerinde yeni yapılan çalışmalar da, bu konunun önemini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

Acar, N., (1986), Kesikli Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, No:309, Ankara.

Arcus, A., (1963), An Analysis of A Computer Methods of Sequencing Assembly Line Operation, California.

Baskak, M., (1988), Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Çok Amaçlı Bir Yaklaşım, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Baskak, M., (1998), Çok Modelli/Ürünlü Montaj Hatlarının Dengelenmesi için Yeni Bir Model ve Çözüm Yöntemi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.

Başlıgil, H., (1985), "Montaj ve Üretim Hatlarında Taşmalı Hali ve Paralel Hat Oluşumunun Dengelenmesi", 9.Ulusal Yöneylem Araştırması Kongresi, İzmir.

Başlıgil, H., (1984), "Büyük Tek Model Montaj Hatlarının Dengeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Uygulanması", İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi Cilt 13, Sayı1, İstanbul

Başlıgil, H., (1983), "Montaj Hatlarının Dengelenmesi İçin Çoklu Çözüm Önerileri", 8.Ulusal Yöneylem Araştırması Kongresi, O.D.T.Ü., Ankara

Boucher, T., (1987), "Choice of Assembly Line Design Under Task Production Learning", International Journal of Production Research, C.25, S.517-521.

Bowman, E.H., (1960), "Assembly Line Balancing By Linear Programming", Operations Research, C.8, N.3, S.385-389.

Candan, Ü., (1972), İmalat Hatlarının Dengelenmesi Problemleri, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Doktora Tezi.

Gökçen, T., (1997), Y.T.Ü. Robotlar dersi ders notları,

Gökçen, H., and Erel, E., (1997), "Goal programming Approach to Mixed Model Assembly Line Balancing Problem", International Journal of Production Economics, 48(2), 177-185.

Gökçen, H., and Erel, E., (1997), "Binary Integer Formulation for Fixed Model Assembly Line Balancing Problem", Computers and Industrial Engineering, 34(2), 451-461.

Gökçen, H., (1991), "Bilgisayar Destekli Tek Model Montaj Hattı Dengeleme: COMSOAL Metodu", Endüstri Mühendisliği Dergisi, 3(16), 27-32.

Gökçen, H., (1994), "Montaj Hatlarında Bir Mühendislik Problemi", MMO Ankara Şubesi Makine Bülteni, 5(17), 9-10.

Gökçen, H., and Erel, E., (1995), "Karışık Ürünlü Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Bir Sezgisel Yöntem", Verimlilik Dergisi, (2), 131-140.

Gökçen, H., (1996), "Emniyet Stoklu Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinde Maliyet Analizi", Kara Harp Okulu Bilim Dergisi, 6 (1-2), 135-148.

Gökçen, H., Baykoç, Ö.F., (1997), "Stokastik Görev Zamanlı Dengelenmiş Gecikmesiz (Paced) Montaj Hatlarının İyileştirilmesi için bir Model", Endüstri Mühendisliği Dergisi, 8(1), 3-8.

Gökçen, H., (1997), "Montaj Hattı Etkinliğinin Paralel İstasyonlarla Artırılması: Bir Sezgisel Yöntem", Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(3), 433-442.

Helgeson, W.P.; Birnie,D.P., (1961), "Assembly Line Balancing Using The Ranked Positional Weight Technique", Journal of Industrial Engineering, C.21, N.6, S.394-398

Hoffman, T.R., (1963), "Assembly Line Balancing With a Presedence Matrix", Management Science, C.9, N.4, S.551-563.

Jackson,J.R., (1956), "A Computing Procedure For A Line Balancing Problem", Management Science, C.2,N.3,S.261-271,

Kilbridge, M.D.,Wester,L., (1961), "A heuristic method for assembly line Balancing", Journal of Industrial Engineering, C.12, N.4.

Kobu, B., (1996), Üretim Yönetimi, İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yayını.

Kurt,S.,(1989), Montaj Hattı Dengeleme Teknikleri, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yüksek Lisans Tezi

Moddie,C.L.; Young,H.,H., (1964),"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

Murathan, H., (1986), Montaj Hatlarının Dengelenmesi, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Kütüphanesi..

Salveson,M.E., (1955),"The Assembly Line Balancing Problem", Journal of Industrial Engineering.,C.6,N.3,S.18-25.

Uzmen, M., (1990), Montaj Hatlarının Dengelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Kütüphanesi.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi: 02.01.1976

Doğum Yeri: Bursa

Lisans 1993-1997 Y.T.Ü. Makina Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1997- Y.T.Ü. Fen Bilimleri Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Ödüller

- 1991 TÜBİTAK Türkiye 3.'sü
“Ortam Renginin Reaksiyon Süresine Etkileri” Projesi
- 1992 TÜBİTAK proje sergilemeye değer bulundu.
“Polarizasyonun Trafikte Kullanılması”

Çalıştığı Kurumlar

1997-1998 Borusan Holding- Borusan Makina

1998-2000 Komeks A.Ş. Defer Fabrikası Üretim Planlama Müdürü