

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAKIM ÇALIŞMASI ESASLI KARMA MODELLİ
MONTAJ HATLARININ TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Emre ÇEVİKCAN**

Anabilim Dalı: ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı: ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2006

**TAKIM ÇALIŞMASI ESASLI KARMA MODELLİ
MONTAJ HATLARININ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Müh. Emre ÇEVİKCAN
507041104**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Mayıs 2060
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Cengiz GÜNGÖR
Doç. Dr. Fatma KÜSKÜ**

MAYIS 2006

ÖNSÖZ

Üretimde rekabet gücü sağlamak öncelikle iyi yapılandırılmış bir üretim sistemi yapısı ile sağlanabilir. Bu amaçla üretim sistemlerinde var olan kaynakları en verimli şekilde kullanma ve bu kaynakların kullanımındaki verimsizlikleri ortadan kaldırma çabasına gidilmiştir.

Montaj hatları, karmaşık yapıları ürünlerin üretiminde kaynakların daha verimli kullanılması ihtiyacından ortaya çıkan üretim sistemleridir. Yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu bu sistemlerde, düşük kapasite kullanımı ve verimsiz çalışmaların da maliyeti çok yüksektir.

Montaj tipi üretim gerçekleştiren firmaların montaj hatlarından aldıkları verimin üzerinde bu yapmış oldukları hat tasarımı çalışmalarının etkisi büyüktür. Bu konuda yapılan çalışmaların büyük bir kısmını montaj işlerinin makine ve işçilere daha düzenli dağıtılmasını ve mevcut kaynaklardan faydalanma oranını en büyüklemeyi amaçlayan montaj hattı dengeleme çalışmaları oluşturur. Bunun yanında, montaj hattındaki katma değeri olmayan süreleri en küçükleme ve günümüzde yaygın olarak uygulanan Tam Zamanında Üretim felsefesi paralelinde düzgün parça kullanımını sağlayan montaj hatlarında ürün sıralama çalışmalarının da montaj hattı tasarımında önemi büyüktür.

Günümüzdeki pazar koşulları, üretim sistemlerini kalite, esneklik ve ürün akış süresi sınırlarını zorlamaya yöneltmektedir. Ayrıca, her geçen gün diğer sistemlerde olduğu gibi üretim sistemlerinde de işgören memnuniyetine verilen önem artmaktadır. Bu bağlamda, klasik montaj sistemleri yerini istasyonların birden fazla sayıda işgörenden oluşabildiği takım çalışması esaslı montaj sistemlerine bırakmaktadır.

Bu tez çalışmasında, takım çalışması esaslı karma modelli montaj hattı tasarımını gerçekleştirmeye yönelik bir metodoloji geliştirilmiştir. Geliştirilen metodolojinin amacı hat etkinliği ve ürün kalitesinin yanında işgören memnuniyeti ve motivasyonunu da arttıran bir karma modelli montaj hattı tasarımı gerçekleştirmektir. Metodoloji, gerçek üretim ortamından elde edilen veriler üzerinde uygulanmış olup, sonuçlar belirtilmiştir.

Bana bu konuda çalışma olanağını sağlayan, tez danışmanlığımı özenle yürüten, ilgi ve önerilerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sayın **M. Bülent DURMUŞOĞLU**'na, bu konudaki bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan değerli arkadaşım End. Müh. Sayın **Murat Engin ÜNAL**'a, montaj hatları ile ilgili pratik bilgimi arttırmamda yardımcı olan **Uzel Makine Traktör Montaj Bölümü** yöneticilerine ve manevi destekleri için aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2006

Emre ÇEVİKCAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. MONTAJ HATLARI TASARIMINA GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Genel Bilgi	1
1.3. Montaj Hatları İle İlgili Temel Kavramlar	2
1.3.1. Montaj İşine Yönelik Kavramlar	2
1.3.2. İş Süresine Yönelik Kavramlar	4
1.3.3. Performansa Yönelik Kavramlar	6
1.3.4. Dengelemenin Amacı İle İlgili Kavramlar	8
1.3.5. Model Sayısı ve Sıralama İle İlgili Kavramlar	8
1.4. Montaj Sistemlerinin Sınıflandırılması	9
1.5. Montaj Sistemlerinde İş İstasyonları Arasında İş Transferi ve Malzeme Taşıma	14
1.5.1. Mekanik Olmayan Hatlar	14
1.5.2. Hareketli Bant Hatları (Mekanik Hatlar)	15
1.5.3. Montaj Sistemlerinde Malzeme Taşıma	18
1.6. Montaj Hatlarının Yerleşimi	19
1.7. Montaj Hattı Dengeleme	21
1.7.1. Montaj Hattı Dengelemenin Amaçları	21
1.7.2. Montaj Hattı Dengelenmesini Etkileyen Temel Etmenler	22
1.7.3. Montaj Hattı Dengelemeyi Etkileyen Kısıtlar	23
1.7.3.1. Temel Kısıtlar	23
1.7.3.2. Yan Kısıtlar	23
2. KLASİK VE TAKIM ÇALIŞMASI ESASLI MONTAJ SİSTEMLERİ	25
2.1. Klasik Montaj Sistemleri	25
2.2. Takım Çalışması Esaslı Montaj (TEM) Sistemleri	26
2.3. Takım Çalışması Esaslı Montaj Sistemlerinin Örnekler Üzerinde İncelenmesi	31

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	37
3.1. Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması	37
3.1.1. Tek Modelli Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması	37
3.1.1. Karma Modelli Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması	38
3.1.2. U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması	41
3.1.3. Takım Çalışması Esaslı Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması	42
3.2. Montaj Hattında Model Sıralama ile İlgili Literatür Araştırması	46
4. TAKIM ÇALIŞMASI ESASLI KARMA MODELLİ MONTAJ HATLARININ TASARIMI İÇİN GELİŞTİRİLEN METODOLOJİ	51
4.1. Metodoloji Adımlarının Matematiksel Programlama Modeli	51
4.1.1. Yatay Dengeleme Modeli	51
4.1.2. Dikey Dengeleme Modeli	54
4.1.3. Fiziksel İstasyon Oluşturma Modeli	57
4.1.4. Sıralama Modeli	61
4.1.4.1. Adımlı Hatlar İçin Sıralama Modeli	61
4.1.4.2. Sürekli Hatlar İçin Sıralama Modeli	64
4.2. Geliştirilen Metodolojinin Adımları	68
4.2.1. Yatay Dengeleme	68
4.2.2. Dikey Dengeleme	77
4.2.3. İşgören Kısıdı Altında İş Çizelgeleme ve Fiziksel İstasyon Oluşturma	81
4.2.4. Model Sıralama	87
4.2.5. İşgören Transfer Sistemi	90
5. BİR TRAKTÖR MONTAJ HATTINDA UYGULAMA	91
5.1. Uygulamanın Yapıldığı Firmanın Tanıtımı	91
5.2. Uygulamanın Yapıldığı Kısım	93
5.3. Kullanılan Yazılım	99
5.4. Yatay Dengeleme Adımının Uygulanması	101
5.5. Dikey Dengeleme Adımının Uygulanması	102
5.6. Fiziksel İstasyon Oluşturma Adımının Uygulanması	104
5.7. Model Sıralaması Adımının Uygulanması	109
5.8. Karma Model Sırasının Diğer Model Sıralarıyla Karşılaştırılması	117
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	122
KAYNAKLAR	125

EKLER

130

ÖZGEÇMİŞ

140

KISALTMALAR

dk	: Dakika
m.	: Metre
İng	: İngilizcesi
TÇEM	: Takım Çalışması Esaslı Montaj
zb	: Zaman Birimi
ÇSEK	: Çevrim Süresinin En Küçüklenmesi
İSEK	: İstasyon Sayısının En Küçüklenmesi
OMEK	: Operasyon Maliyetinin En Küçüklenmesi
EMEK	: Ekipman Maliyetinin En Küçüklenmesi
TMEK	: Toplam Maliyetin En Küçüklenmesi
DEEB	: Denge Etkinliğinin En Büyüklenmesi
İYD	: İş Yüğü Düzgünleştirme
ASEK	: Aylak Sürenin En Küçüklenmesi
Dİ	: Diğer
D	: Düz Hat
U	: U Tipi Hat
TMD	: Tek Modelli Deterministik
TMS	: Tek Modelli Stokastik
KMD	: Karma Modelli Deterministik
KMS	: Karma Modelli Stokastik
S	: Sezgisel Algoritma
OP	: Optimizasyon
DSE	: Diğer Sezgisel Algoritmalar
DPK	: Düzgün Parça Kullanımı
ÜODD	: Ürün Oranı Değişimini Düzgünleştirme
ÜYD	: Ürün Yüğü Düzgünleştirme
YMYD	: Yan Montaj Yüğü Düzgünleştirme
İYD	: İş Yüğü Düzgünleştirme
İASEK	: İstasyon Aşım Süresinin En Küçüklenmesi
HMEK	: Hazırlık Maliyetinin En Küçüklenmesi
EAFMEK	: Etkinlik Azaltıcı Faktörlerin Maliyetinin En Küçüklenmesi
TİOEK	: Tamamlanmamış İş Oranı En Küçüklenmesi
KDSEK	: Konveyörün Durdurulma Süresinin En Küçüklenmesi
E	: Evet
H	: Hayır
ACTIM	: Activity Time
MONSÜR	: Montaj Süresi
TŞİM	: Şimdiki Zaman
TERK	: Bir İşin En Erken Kaynak Tarafından Ele Alınabileceği Zamanı
TBAŞL	: İşe Başlanma Zamanı
TTAM	: İşin Tamamlanma Zamanı
sn.	: Saniye

KS : Karma model sırası
YSÖ : Yüksek sapma süreli model önce
DSÖ : Düşük sapma süreli model önce
GKS : Geliştirilmiş karma model sırası

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1	9 Öğeli Bir Öncelik Matrisi.....3
Tablo 2.1	TÇEM Sistemleri İle Klasik Montaj Sistemlerinin Karşılaştırılması.....28
Tablo 2.2	Takımlara Atanan İşler.....32
Tablo 2.3	Takım-4'e Atanan İş İstasyonları ve İşlem Süreleri.....32
Tablo 2.4	Klasik Yönteme Göre Düzenleme.....34
Tablo 3.1	Montaj Hattı Dengeleme Literatürü Matrisi (1).....44
Tablo 3.2	Montaj Hattı Dengeleme Literatürü Matrisi (2).....45
Tablo 3.3	Montaj Hattı Sıralama Literatürü Matrisi.....49
Tablo 4.1	Örnek 4.1'deki Montaj İşleri, Öncelikleri ve Süreleri.....70
Tablo 4.2	A Modelindeki İşlerin Atama Öncelikleri.....73
Tablo 4.3	B Modelindeki İşlerin Atama Öncelikleri.....74
Tablo 4.4	A Modeli İçin Yatay Dengeleme.....75
Tablo 4.5	B Modeli İçin Yatay Dengeleme.....76
Tablo 4.6	Yatay Dengeleme Sonucu İşgören Etkinlikleri.....77
Tablo 4.7	Örnek 4.1'de Elde Edilen İşgören Model Süreleri.....79
Tablo 4.8	Örnek 4.1'de Elde Edilen Dengenin Dikey Dengeleme Performansı.....80
Tablo 4.9	6 No'lu İşin Transferiyle Oluşan Dikey Dengeleme Performansı.....80
Tablo 4.10	26 No'lu İşin Transferiyle Oluşan Dikey Dengeleme Performansı.....80
Tablo 4.11	Şekil 4.9'daki İşlerin Kısıtlı Kaynaklar altında Çizelgelenmesi.....86
Tablo 4.12	Sıralama Önceliklerinin Hesaplanması.....88
Tablo 5.1	Uygulamaya Alınan Modeller.....95
Tablo 5.2	Hidrolik Kapak Kısımındaki İşler ve Süreleri.....96
Tablo 5.3	Hidrolik Test Kısımındaki İşler ve Süreleri.....97
Tablo 5.4	Hidrolik Kapak Kısımındaki İşler ve Öncelikleri.....98
Tablo 5.5	Hidrolik Kapak Kısımındaki İşler ve Öncelikleri.....99
Tablo 5.6	Yatay Dengeleme Sonucu.....102
Tablo 5.7	Yatay Dengeleme Performansı.....102
Tablo 5.8	Dikey Dengeleme Sonucu.....103
Tablo 5.9	Dikey Dengeleme Performansı.....104
Tablo 5.10	“Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” Kısımlarındaki Takım Boyutları.....106
Tablo 5.11	Oluşturulan Takımların Montaj Süreleri ve Çevrim Sürelerinden Farkları.....106
Tablo 5.12	Montaj Takımlarında İşgörenler ve Numaraları.....106

Tablo 5.13	58 Adet Opsiyonel Modelin Takım Boyutları.....	107
Tablo 5.14	Tablo 5.13'teki Takımların Montaj Süreleri ve Çevrim Sürelerinden Farkları	108
Tablo 5.15	Modellerin Talep Ağırlıkları ve Günlük Üretim Adetleri	109
Tablo 5.16	Elde Edilen Karma Model Sıra.....	110
Tablo 5.17	Karma Model Sıranın Geliştirilmesi İçin Gerekli Karşılaştırma Sayıları.....	111
Tablo 5.18	İkili Çevrim süresi Ortalamalarının Ağırlıklı Çevrim Süresinden Farkları	111
Tablo 5.19	Geliştirilmiş Karma Model Sırası.....	112
Tablo 5.20	Modellerde Yer Alan Parçalar ve Adetleri.....	113
Tablo 5.21	Parti Çizelgesi Uygulandığında Parça Kullanımı	114
Tablo 5.22	Karma Model Sırası Uygulandığında Parça Kullanımı.....	115
Tablo 5.23	Geliştirilmiş Karma Model Sırası Uygulandığında Parça Kullanımı.....	116
Tablo 5.24	Öğleden Önce ve Öğleden Sonra Parça Kullanımları Arasındaki Fark	117
Tablo 5.25	Benzetimde Kullanılan Veriler.....	118
Tablo 5.26	Benzetim Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar	120
Tablo 6.1	Fiziksel Takım Oluşturmadan Sağlanan Kazanç.....	123
Tablo A.1	Birinci Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler	130
Tablo A.2	İkinci takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler	130
Tablo A.3	Üçüncü Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler	130
Tablo A.4	Dördüncü Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler	130
Tablo A.5	Beşinci Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler	131
Tablo A.6	Altıncı Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler	131

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	: 9 Öğeli Bir Teknolojik Öncelik Diyagramı	3
Şekil 1.2	: Ürün (A) İle 2. Ürün (B) İçin ve Birleştirilmiş (C) Teknolojik Öncelik Diyagramları	4
Şekil 1.3	: Yatay Dengelemenin Rolü	7
Şekil 1.4	: Montaj Analizi İçin Tasarım Aşamaları.....	9
Şekil 1.5	: Özel Amaçlı Montaj Sistemleri İçin Bir Örnek	11
Şekil 1.6	: Mekanik Olmayan Hatların Çalışma Biçimi.....	15
Şekil 1.7	: Sürekli Hatlardaki İstasyon Tipleri	17
Şekil 1.8	: Çeşitli Montaj Hattı Yerleşimleri.....	20
Şekil 1.9	: İşlevsel Montaj Hattı Tipleri	21
Şekil 2.1	: Çeşitli Montaj Grupları	27
Şekil 2.2	: TÇEM Sistem Karakteristiklerinin Hedeflere Olan Etkileri.....	30
Şekil 2.3	: Örnek 2.1 İçin İş Öğeleri Öncelik Diyagramı	31
Şekil 2.4	: Örnek 2.1’de Takım Oluşturulması	32
Şekil 2.5	: Örnek 2.2’de Takım Oluşturulması.....	35
Şekil 4.1	: Geliştirilen Metodoloji	68
Şekil 4.2	: Model Bazında Yatay Dengeleme	69
Şekil 4.3	: A Modelinin Öncelik Diyagramı	71
Şekil 4.4	: B Modelinin Öncelik Diyagramı.....	71
Şekil 4.5	: A ve B Modellerinin Birleştirilmiş Öncelik Diyagramı.....	72
Şekil 4.6	: Dikey Dengeleme.....	78
Şekil 4.7	: Fiziksel İstasyon Oluşturma	82
Şekil 4.8	: A Modelinde Dikey Dengeleme Sonucu İşgörenlere Atanan İşler	84
Şekil 4.9	: İlk İki İşgörenin Gruplanmasıyla Oluşan Öncelik Diyagramı	85
Şekil 4.10	: Tablo 4.11’in Gantt Şemasında İfadesi	86
Şekil 4.11	: İki İşgörenin Ayrı Ayrı Çalışması.....	86
Şekil 4.12	: Model Sıralama	87
Şekil 4.13	: İşgören Transfer Sistemi	90
Şekil 5.1	: Uzel Traktör Montaj Birimi	94
Şekil 5.2	: Kullanılan Yazılımın Başlangıç Arayüzü	100
Şekil 5.3	: Kullanılan Yazılımın Veri Girme Arayüzü.....	101
Şekil 5.4	: Fiziksel İstasyon Oluşturma Arayüzü.....	105
Şekil 5.5	: Ortalama Yardımcı İşgören Süreleri	120
Şekil B.1	: Birinci İstasyon Kullanım Oranı	132
Şekil B.2	: İkinci İstasyon Kullanım Oranı	132
Şekil B.3	: Üçüncü İstasyon Kullanım Oranı.....	132
Şekil B.4	: Dördüncü İstasyon Kullanım Oranı	133
Şekil B.5	: Beşinci İstasyon Kullanım Oranı	133
Şekil B.6	: Altıncı İstasyon Kullanım Oranı	133

Şekil C.1	: Birinci İstasyon Yardımcı İşgören Süresi	134
Şekil C.2	: İkinci İstasyon Yardımcı İşgören Süresi	134
Şekil C.3	: Üçüncü İstasyon Yardımcı İşgören Süresi	134
Şekil C.4	: Dördüncü İstasyon Yardımcı İşgören Süresi	135
Şekil C.5	: Beşinci İstasyon Yardımcı İşgören Süresi	135
Şekil C.6	: Altıncı İstasyon Yardımcı İşgören Süresi	135
Şekil D.1	: Birinci İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi	136
Şekil D.2	: İkinci İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi	136
Şekil D.3	: Üçüncü İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi	136
Şekil D.4	: Dördüncü İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi	137
Şekil D.5	: Beşinci İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi	137
Şekil D.6	: Altıncı İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi	137
Şekil E.1	: Birinci İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi	138
Şekil E.2	: İkinci İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi	138
Şekil E.3	: Üçüncü İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi	138
Şekil E.4	: Dördüncü İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi	139
Şekil E.5	: Beşinci İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi	139
Şekil E.6	: Altıncı İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi	139

SEMBOL LİSTESİ

C	: Çevrim Süresi
T_i	: Eldeki toplam süre
ÜS	: Yapılması istenen ürün sayısı
BS	: Boş süre
T_k	: “k” istasyonunun süresi
DK	: Denge kaybı
R	: Dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısı
t_i	: “i” işinin süresi
EO	: Esneklik oranı
Y	: Öncelik matrisinde sıfır (0) değerine sahip göz sayısı
KE	: Kuramsal etkinlik
I_{enaz}	: En az istasyon sayısı
DI	: Düzgünlük indeksi
T_{enb}	: İş istasyonu sürelerinin en büyüğü
[x]⁺	: x’e eşit ya da x’ten büyük en küçük tamsayı değeri
[x]⁻	: x’e eşit ya da x’ten küçük en büyük tamsayı değeri
enb (x₁;...; x_n)	: Parantez içindeki sayıların en büyüğü
enk (x₁;...; x_n)	: Parantez içindeki sayıların en küçüğü
f_p	: Besleme oranı
V_c	: Bantın hareketiyle oluşan hız
S_p	: Bant boyunca iş parçalarının aralığı
T_t	: Tolerans süresi
L_s	: İş istasyonunun uzunluğu
i	: İş indisi
t	: Zaman periyodu indisi
k	: İşgören indisi
o	: Karşılaştırılan işgören indisi
j	: Takım boyutu indisi
h	: Takım sırası indisi
a	: Takımın ilk elemanı indisi
b	: Takımın son elemanı indisi
m	: Model indisi
j	: Takım cinsi indisi
h	: Belirli bir boyuttaki takım sayısı indisi
y	: Pozisyon indisi
z	: İstasyon indisi
l	: Parça indisi
V_{ikm}	: “m” modelinin “i” montaj işinin “k” işgöreninde yer alıp almamasını gösteren karar değişkeni
X_{km}	: “m” modelinin “k” işgörenini kullanıp kullanmadığını gösteren karar değişkeni
A_k	: Tüm modellerin “k” işgörenini kullanıp kullanmadığını gösteren

	karar değişkeni
C_m	: “m” modelinin çevrim süresi
PR_{im}	: “m” modelinin öncelik diyagramına göre “i” işinin tüm öncüleri
S_{im}	: “m” modelinin öncelik diyagramına göre “i” işinin tüm takipçileri
ZP	: Aynı işgörene atanması istenen iş çiftleri kümesi
ZN	: Aynı işgörene atanması istenen iş çiftleri kümesi
t_{im}	: “i” işinin m modelindeki süresi
M	: Model sayısı
K	: Yatay dengeleme öncesi sezgisel işgören sayısı
N	: Montaj işi sayısı
B	: Bir takıma atanabilecek en yüksek işgören sayısı
q	: Çevrim süresi aşım sınırı
W_{km}	: “m” modelinde “k” işgörenine atanabilecek işler kümesi
$ W_{km} $: W_{km} kümesinin eleman sayısı
E_{im}	: “m” modelinin “i” işinin atanabileceği en erken işgören
L_{im}	: “m” modelinin i işinin atanabileceği en geç işgören
H_{miko}	: “m” modelinin “i” işi “k” işgöreninden “o” işgörenine alınıp alınmadığını gösteren karar değişkeni
T_{km}	: Dikey dengeleme sonucu “m” modelinin “k” işgöreni süresi
T'_{km}	: Yatay dengeleme sonucu “m” modelinin “k” işgöreni süresi
b_{im}	: “m” modelinin “i” işinin yatay dengelemede atandığı işgören
$HB_m(k)$: Yatay dengeleme sonucu “k” işgörenine atanan “m” modeli işleri kümesi
$ HB_m(k) $: $HB_m(k)$ kümesinin eleman sayısı
VB_k	: Dikey dengeleme sonucu birleşik öncelik diyagramında “k” işgörenine atanan işler kümesi
$ VB_k $: VB_k kümesinin eleman sayısı
ST_m	: “m” modeline ait montaj işleri kümesi
R	: Yatay dengeleme sonucu ortaya çıkan işgören sayısı
F	: Dikey dengelemeden sonra işgören sayısı
y_h	: “h” takımının kurulup kurulmadığını gösteren karar değişkeni
e_{hj}	: “h” takımının “j” kişiden oluşup oluşmadığını gösteren karar değişkeni
$Chab$: “h” takımının ilk işgöreninin “a”, son işgöreninin “b” olup olmadığını gösteren karar değişkeni
X_{abmit}	: “m” modelinin “i” işinin ilk işgöreni “a”, son işgöreni “b” olan bir takımda “t” periyodunda sonlanıp sonlanmadığını gösteren karar değişkeni
Z_{mab}	: İlk işgöreni “a”, son işgöreni “b” olan bir takımın montaj akış süresi
X_{my}	: “m” modeli “y.” pozisyonunda olup olmadığını gösteren karar değişkeni
s_{yz}	: “y.” ürünün “z” istasyonundaki işlerine başlanma zamanı
f_{yz}	: “y.” ürünün “z” istasyonundaki işlerinin bitirilme zamanı
w_{yz}	: “y.” ürünün “z” istasyonuna giriş zamanı
g_{yz}	: “y.” ürünün “z” istasyonundan çıkış zamanı
it_{yz}	: “z” istasyonunun “y.” ürünü bekleme süresi
$pw_{t_{yz}}$: “y.” ürünün “z” istasyonunda bekleme süresi
ut_{yz}	: “y.” ürünün “z” istasyonundaki yardımcı işgören süresi
P	: İstasyon sayısı
d_m	: “m” modelinin talebi

b_z	: Parçanın “z” istasyonunu kat etme süresi
u_z	: “z” istasyonu aşım sınırı
D	: Toplam talep
C_1	: Amaç denklemindeki düzgün olmayan parça kullanımının ceza faktörü
C_2	: Amaç denklemindeki istasyon beklemlerinin ceza faktörü (adımlı hat için)
C_3	: Amaç denklemindeki ürün beklemlerinin ceza faktörü
C_4	: Amaç denklemindeki istasyon beklemlerinin ceza faktörü (hareketli hat için)
C_5	: Amaç denklemindeki yardımcı işgören sürelerinin ceza faktörü
L	: Parça çeşidi sayısı
c_{lm}	: “m” modeline gerekli “l” parçası sayısı
U_l	: Tüm sırada gerekli “l” parçası sayısı
r_l	: “l” parçasının istenen tüketim oranı
Δ	: Dikey dengeleme performans ölçütü
$\dot{I}Y_{km}$: “m” modelinin i. işgörendeki iş yükü
$\dot{I}YO_m$: “m” modelinin her işgörene düşen ortalama iş yükü
n	: İşgören sayısı
\acute{e}	: “m” modelinin sıraya alınması için kullanılan indis
$DD(m,\acute{e})$: Sıraya alınan “é” no’lu “m” modelinin önceliği

TAKIM ÇALIŞMASI ESASLI KARMA MODELLİ MONTAJ HATLARININ TASARIMI

ÖZET

Son yıllarda pazar şartları büyük ölçüde değişmiştir. Günümüzde kısa temin sürelerine, yüksek kaliteye ve ürün çeşitliliğine önem verilmektedir. Bunun yanında sosyoekonomik şartlar da değişmiş olup, çalışanlar iş tatmininin üzerinde geçmişe oranla daha fazla durmaktadır. Bu durum, montaj hatlarında kalite ve esneklik hususlarını öne çıkarırken çalışanlara da sosyoekonomik açıdan daha tatmin edici bir iş ortamı sağlamıştır.

Klasik montaj hatları, yüksek verimliliğe sahip olmalarına rağmen, yapılan tasarım değişikliklerine ve ürün çeşitliliğine karşı esnek değildirler. Klasik montaj hatlarında işgörenlerin arasındaki iletişim eksikliği, ürün kalitesi ve motivasyon üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Ayrıca, bu hatlarda ürün akış süreleri uzun olabilmektedir. Takım çalışması esaslı montaj hatlarının uygulamada yer bulması, hat esnekliği ve ürün kalitesi üzerinde gelişmelere yol açarken, klasik montaj hatlarındaki yüksek etkinlik unsurunu da sağlar.

Yapılan tez çalışmasında, takım çalışması esaslı montaj hatlarının tasarımına yönelik bir metodoloji geliştirilmiştir. Geliştirilen tasarım metodolojisi, takım çalışması yaklaşımı ile montaj hattı dengeleme-sıralama problemini bütünleştirmiştir. Metodoloji, yatay dengeleme, dikey dengeleme, fiziksel istasyon oluşturma (takım kurma), ürün sıralama ve işgören transfer sistemi olmak üzere beş adımdan oluşmaktadır. Metodolojinin hemen hemen her adımının amacının farklı olmasından dolayı yapısı çok amaçlıdır. Geliştirilen metodoloji, takım çalışması esaslı karma modellenmiş gerçek bir traktör montaj sisteminde uygulanmış ve uygulama neticesinde modellerin çoğunda çevrim sürelerini azaltacak takım montaj süreleri bulunmuştur.

Yapılan çalışma, “Montaj Hattı Tasarımına Giriş” ile “Sonuç ve Öneriler” bölümleri dahil olmak üzere yedi bölümden oluşmaktadır. “Montaj Hattı Tasarımına Giriş” bölümünde montaj hattının tanımı, konuyla ilgili temel kavramlar, montaj hatlarının sınıflandırılması ve montaj hattı dengeleme ile ilgili bilgiler mevcuttur. Ayrıca, bu bölümde montaj hatlarında iş transferi ve yerleşim konularına değinildikten sonra çalışmanın amacı belirtilmiştir.

İkinci bölümde, takım çalışması esaslı montaj hatlarının, klasik montaj hatlarına kıyasla sağladığı avantajlar açıklanmış olup, bu avantajlar örneklerle irdelenmiştir.

Üçüncü bölümde, konu ile ilgili literatür, montaj hattı tasarımındaki son gelişmeler dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmada yapılan literatür araştırması, montaj hattı dengeleme ve montaj hattında ürün sıralama ile ilgili literatür araştırması olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ayrıca yapılan literatür araştırması, sonuç çıkarımına yardımcı olması amacıyla oluşturulan literatür matrisleri ile desteklenmiştir.

Dördüncü bölümde, öncelikle, yatay dengeleme, dikey dengeleme ve fiziksel istasyon oluşturma adımlarının matematiksel programlama modeli yer almaktadır. Daha sonra, metodolojinin her adımı açıklanmış ve sayısal örnekler üzerinde incelenmiştir.

Beşinci bölümde, geliştirilen metodoloji bir traktör montaj hattının pilot bölgesinde uygulanmıştır. Metodolojinin ilk üç adımında yazılım kullanılmıştır. Ürün sıralama adımında değişik sıralama şekilleri kullanılmış olup, simülasyon ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Son bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar ve konu ile ilgili gelecekte yapılabilecek çalışmaların yer aldığı “Sonuç ve Öneriler” kısmı bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Takım çalışması, karma modellenmiş montaj hattı dengeleme, ürün sıralama, kısıtlı kaynaklar altında çizelgeleme

DESIGN FOR TEAM-ORIENTED MIXED MODEL ASSEMBLY LINES

SUMMARY

In the last few decades, market demands have changed enormously. The emphasis is now on shorter delivery times, larger product variety, higher quality and more customized options. At the same time, socioeconomic conditions have improved and workers have a greater interest in work satisfaction. These changes increase the importance of quality and flexibility of the assembly system, while providing a satisfying work environment.

The traditional assembly line is characterized by high efficiency, maximizing throughput with minimum resources, but due to its high specification and division of labor it has disadvantages such as poor flexibility, poor quality products, poor working environment and long flow time. Implementation of a team-oriented system may lead to an improvement of both the flexibility of the assembly system and the quality of the product, while maintaining the high efficiency associated with traditional assembly lines.

This study presents a team-oriented design methodology for mixed model assembly lines. The design methodology integrates both team work and mixed model assembly line balancing-sequencing problem. The methodology does have five stages: horizontal balancing, vertical balancing, creating physical station, product sequencing, and worker transfer system. Because of the fact that almost each stage of the methodology has different objectives, the methodology can be regarded as multi-objective. Furthermore, the presented methodology is implemented in a real life mixed model tractor assembly system. Team assembly times that have most of the model cycle times shortened are found as the result of the implementation.

There are seven chapters in this study including introduction to assembly line design, main chapters, results and recommendations. In the chapter of introduction to assembly line design, assembly line is defined. Main concepts used in assembly line literature are described. Furthermore, classification, material handling styles, layout options and balancing of assembly lines are included in this chapter. Finally, the general aim of the study and the aim of each stage of the methodology are explained.

In Chapter 2, the advantages of the team-oriented system over the traditional assembly system are discussed. The advantages of implementing team work approach in assembly lines are illustrated with examples.

In Chapter 3, relevant literature is reviewed by considering recent improvements in assembly line design. Literature review in this study consists of two parts: review of assembly line balancing literature and review of product sequencing literature. Moreover, literature matrixes of both assembly line balancing literature and product sequencing literature are generated so as to make comments.

In Chapter 4, firstly, the mathematical models of horizontal balancing, vertical balancing, physical station creating (team forming) and model sequencing stages of

the methodology are given. Then, each step of the methodology is explained and numerical examples about them are given.

In Chapter 5, the presented methodology is implemented in a chosen part of mixed model tractor assembly system. In the first three stage of the methodology, a software is used. Different sequencing rules are used in the product sequencing stage and results obtained by simulation are compared.

The last chapter introduces conclusions of the study and research directions to be pursued in the future.

Keywords: Teamwork, mixed model line balancing, product sequencing, scheduling under limited resources

1. MONTAJ HATLARI TASARIMINA GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Yapılan çalışmanın genel amacı, karma modelli montaj hatlarının tasarımına yönelik takım çalışmasını esas alan bir metodoloji gerçekleştirmektir. Metodoloji iş yükleri düzgünleştirilmiş işgörenlerden takımlar oluşturarak montaj akış sürelerini kısaltmaktadır. Takım çalışması esaslı montaj hatları, klasik montaj hatlarına kıyasla esneklik, kalite, iş memnuniyeti konularında üstünlüğe sahip olmakla birlikte daha düşük akış süreleri sağlamaktadır. Çalışmada dengeleme iki adımda gerçekleştirilmektedir. Birinci adım olan yatay dengelemede işgören sayısının en küçüklenmesi amaçlanırken ikinci adım olan dikey dengelemede işgörelere model bazında iş yükünü düzgün dağıtmak amaçlanmaktadır. Dolayısıyla dengeleme aşamasında, literatürdeki iki önemli dengeleme amacı gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. Daha sonra işgörelere fiziksel istasyon (takım) oluşturulmasıyla paralel işlerin aynı istasyonda yapılması sağlanarak daha düşük istasyon süreleri dolayısıyla daha düşük akış süreleri elde edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, çalışmada yer alan çevrim süresini veya talebi esas alan sıralama yöntemlerinden birinin kullanılması tasarlanan montaj hattında düzgün parça kullanımı ve tamamlanamayan işlerin en aza indirilmesine yöneliktir.

1.2. Genel Bilgi

Montaj kavramı, imalat firmalarında karşılaşılan önemli kavramlardan biridir. Montaj, çeşitli parçaların ve alt-montajların, yeni bir ürün oluşturmak üzere, birleştirme yöntemi ile bir araya getirilmesi sürecidir (**Acar ve Eştaş, 1991**).

Montaj işlemi sırasında birbirinden çok farklı operasyonlar yapılmasına rağmen, montaj operasyonlarını dört ana başlık altında toplayabiliriz: Besleme (İng: feeding), taşıma (İng: handling), ekleme (İng: insertion) ve kontrol (İng: check).

Besleme; malzemenin veya yarı ürünün, depolandığı yerden (iş istasyonu vb.) alınıp, montaj yapılabilecek bir konuma sokulmasıdır.

Taşıma; malzemenin montajın yapılacağı istasyona götürülmesidir.

Ekleme; parça üzerine yeni parçaların takılmasıdır.

Kontrol; ise parçanın incelenmesini, yapılan işin kontrolünü ifade eder.

Endüstrileşme sürecinde, toplam işin öğelerine (parçalarına, modüllerine) ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı, kitlesel (seri) ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden malzemelerin geçirilmesi yoluyla yapılır. 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 sıralanmalarıyla oluşan sisteme, montaj hattı denir. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler, ürün durumuna getirilecek yarı ürün önlerinden geçerken, kendilerine ait iş öğeleriyle ilgili bir veya birkaç işlemi yaparlar. Bu işlem sonucunda, hatta giren parça ve yarı ürünler, gereken tüm işler yapılmış şekilde, hattın sonundan ürün olarak çıkarlar (Baskak, 2005).

1.3. Montaj Hatları İle İlgili Temel Kavramlar

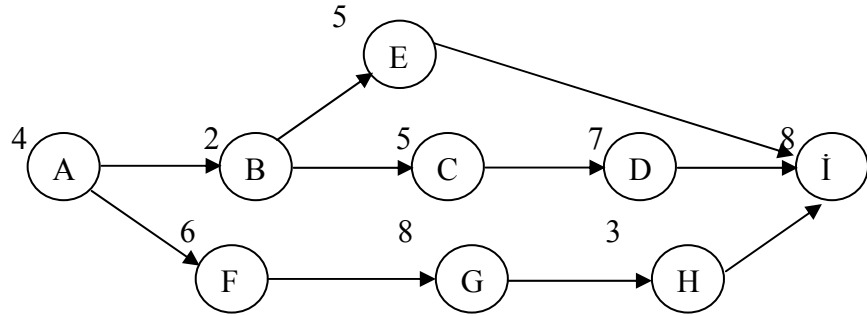
1.3.1. Montaj İşine Yönelik Kavramlar

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

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

Bu diyagramı bir okla birbirine bağlanmış iki iş öğesinden okun çıktığı yönde bulunanın, okun ucunda bulunan iş öğesinden daha önce işleme alınacağını gösterir. İçindeki numaralar iş öğesi numaralarını, dairelerin sağ üstündeki sayılar ise iş öğesi

sürelerini gösterir. Şekil 1.1’de bir montaj hattına ilişkin öncelik diyagramı görülmektedir.



Şekil 1.1: 9 Öğeli Bir Teknolojik Öncelik Diyagramı (Aydoğdu, 2005)

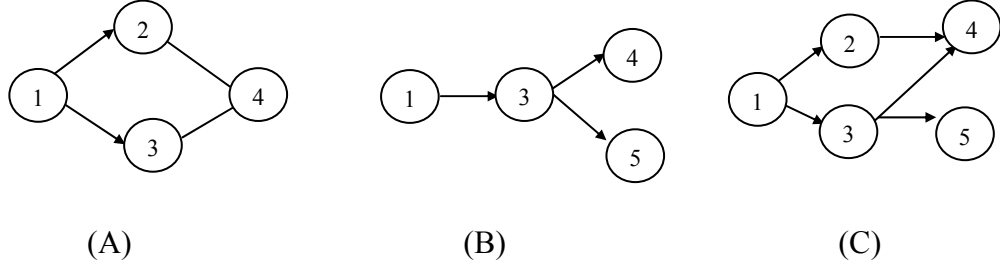
Öncelik Matrisi: Öncelik diyagramının matris durumuna dönüştürülmüş şeklidir. Bu matriste aralarında doğrudan doğruya öncelik ilişkileri bulunan iş öğeleri için, matriste önde gelen öğe numaralı satırla; izleyen öğe numaralı sütunun kesiştiği noktaya “1”, diğer noktalara “0” değeri konur. Tablo 1.1’de, Şekil 1.1’de teknolojik öncelik diyagramı verilen montaj hattı için hazırlanmış öncelik matrisi görülmektedir.

Tablo 1.1: 9 Öğeli Bir Öncelik Matrisi (Aydoğdu, 2005)

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

Birleştirilmiş Öncelik Diyagramı: Birden fazla modelin öncelik ilişkilerinin birleşiminden oluşur. Şekil 1.2’de, 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 A modelinde 1 no.lu iş ögesi 2 no.lu iş ögesinden önce geliyorsa, diğer hiçbir modelde 2 no.lu iş ögesi, 1 no.lu iş ögesinden önce gelemez.



Şekil 1.2: Ürün (A) İle 2. Ürün (B) İçin ve Birleştirilmiş (C) Teknolojik Öncelik Diyagramları (Aydoğdu, 2005)

Esneklik Oranı: Bir montaj sürecinin öncelik yapısının belirlenmesinde kullanılan bir ölçüttür. Esneklik oranı, bir montaj sürecinde elde edilebilen uygun sıraların sayısının bir ölçüsüdür.

EO: Esneklik oranı

Y: Öncelik matrisinde sıfır (0) değerine sahip göz sayısı

olmak üzere şu ifade yazılabilir:

$$E = (2*Y) / [N*(N-1)] \quad (1.1)$$

1.3.2. İş Süresine Yönelik Kavramlar

Toplam İş Süresi: Montaj hattı üzerinde bir ürünün montajı için gerekli olan sürelerin veya işi oluşturan tüm iş ögelerinin standart sürelerinin toplamıdır.

İstasyonu Süresi: İstasyona gelen bir parça üzerinde o istasyonda yapılması gereken ilk iş ögesinin başlangıç anı ile son iş ögesinin bitiş anı arasındaki süre farkıdır. Bir iş istasyonu süresi, o hattaki iş ögesi sürelerinin en büyüğünden küçük, çevrim süresinden büyük olamaz.

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

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. Bu nedenle çevrim süresi üç alt süreye ayrılabilir: Üretken iş süresi, üretken olmayan iş süresi, atıl süre. Kuramsal olarak çevrim süresi, gerçekleşmesi istenen ürün çıktısından hesaplanabilir:

C: Çevrim süresi

Tİ: Eldeki toplam süre

ÜS: Yapılması istenen ürün sayısı, olmak üzere

$$C = Tİ / ÜS \quad (1.2)$$

Düzensizlik İndeksi: Düzensizlik indeksi, montaj hattındaki iş istasyonlarının işlem sürelerinin düzensizliğini gösterir. Bir bakıma, işlerin istasyonlar arasında düzensiz, orantılı dağıtılıp dağıtılmadığını kontrol eder. Düzensizlik indeksinin küçük olması, hat üzerinde iyi bir dengenin sağlanmış olduğunu gösterir.

Dİ : Düzensizlik indeksi

T_{enb}: İş istasyonu sürelerinin en büyüğü

T_k: i. iş istasyonu süresi

olmak üzere hesaplamada şu formül kullanılır:

$$Dİ (\%) = \left[\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^R (T_{enb} - T_k)^2}{R \cdot C}} \right] * 100 \quad (1.3)$$

İş İstasyonu Boş Süresi: Operatörlerin diğer istasyonlara kıyasla boş kalma süresidir. Çevrim süresi ile iş istasyonu süresi arasındaki fark, iş istasyonunun boş zamanını göstermektedir.

BS: Boş süre

T_k: “k” istasyonunun süresi

$$BS = C - T_k \quad (1.4)$$

1.3.3. Performansa Yönelik Kavramlar

Denge Kaybı: İş istasyonları arasındaki montaj işlemlerinin dengesiz bir şekilde dağıtılmasından kaynaklanan boş süredir. Bir montaj hattı mükemmel bir şekilde dengelenmiş ise, tüm iş istasyonlarının süreleri eşit olup, hiçbir gecikmeye izin vermeyecek derecede düzgün bir ürün akışı gerçekleşir. Uygulamada daha kısa iş tahsis edilen operatörler her çevrim sonunda gerçekte boş kalmayacak, bunun yerine daha yavaş bir tempo ile çalışmasını sürdürecektir. Denge kaybı, iş istasyonlarındaki ortalama boş zamanın çevrim süresine oranı olarak ifade edilmektedir.

DK: Denge kaybı

C^* : Ortalama iş istasyonu süresi

R: Dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısı

t_i : “i” işinin süresi

olmak üzere şu ifade yazılabilir:

$$DK (\%) = [(C - C^*) / C] * 100 = [(R*C - \sum t_i) / (R*C)] * 100 \quad (1.5)$$

Hat Etkinliği: Toplam iş süresi, iş istasyonlarına atanan iş öğelerinin süreleri toplamı olan iş istasyonu süresi değerlerinin genel toplamıdır. Bir anlamda bu süre, hat nasıl dengelenirse dengelensin, etkin olarak gerçekleştirilen işlerin toplam süresidir. İşte bu toplam etkin sürenin (toplam iş süresinin) dengeleme sonucunda montaj için ayrılması gerektiği saptanan süreye oranı, hat etkinliği olarak adlandırılan değeri verir.

HE: Hat etkinliği

olmak üzere şu ifade yazılabilir:

$$HE (\%) = [\sum t_i / (R*C)] * 100 \quad (1.6)$$

Hat etkinliği; montaj hattındaki toplam işgücünün ne kadarlık bir yüzdesinin kullanıldığını gösteren önemli bir ölçektir.

Kuramsal Etkinlik: Hattın, belirlenmiş çevrim süresinden hareketle, en az istasyon sayısı ile kurulması durumundaki etkinliğidir. Hat etkinliğinin üst sınırıdır ve iş öğelerinde yapılabilecek düzenlemelerle üst düzeye çıkarılabilir (**Baskak, 1991**).

KE: Kuramsal Etkinlik

\dot{I}_{enaz} : En az istasyon sayısı

$$\dot{I}_{enaz} = [\sum t_i / C]^+ \quad (1.7)$$

(Burada $[x]^+$; x'e eşit ya da x'ten büyük en küçük tamsayı değeri ifade etmektedir.)
olmak üzere şu ifade yazılabilir:

$$KE (\%) = [\sum t_i / (\dot{I}_{enaz} * C)] * 100 \quad (1.8)$$

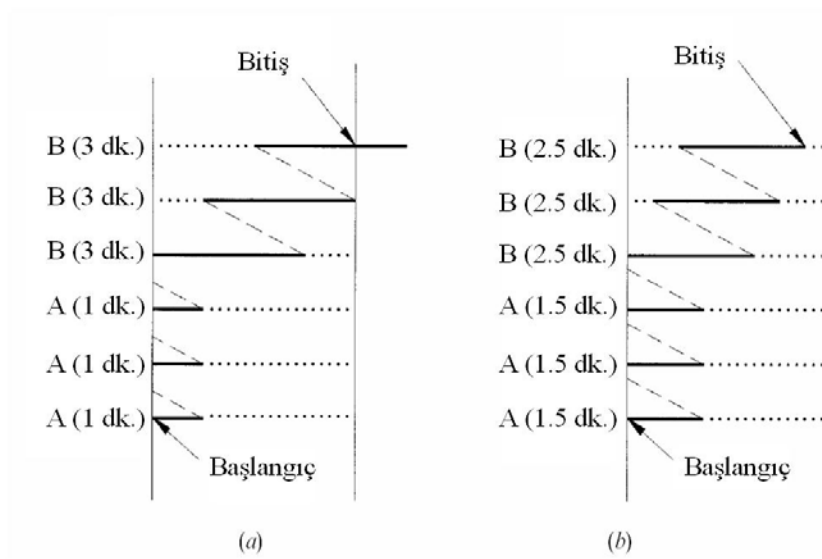
1.3.4. Dengelemenin Amacı İle İlgili Kavramlar

Yatay Dengeleme: Yatay dengelemenin amacı belirli bir istasyon içerisindeki model sürelerinin birbirine yakınsamaktır. Eğer bir istasyondaki çalışanın değişik modellerdeki iş yükü büyük değişimler gösteriyorsa, ortalama çıktısı yeterli olsa bile peş peşe yüksek iş yükü gerektiren modellerle başa çıkamayabilir. Bu durumu bir örnekle açıklayalım:

A ve B olmak üzere iki değişik model üretilmektedir ve her iki modelin de çevrim süresi 2 dakikadır.

İstasyon süreleri A ve B için sırasıyla 1 ve 3 dakika ve istasyonlar arası hattın hareket süresi 4 dakikadır.

Üretim sıralaması ise 3 adet A ve ardından 3 adet B şeklindedir.



Şekil 1.3: Yatay Dengelemenin Rolü (Merengo ve diğ., 1999)

Şekil 1.3 incelendiğinde görülmektedir ki; sistemin mevcut haliyle 6. parçada tamamlanamayan bir ürün ortaya çıkaracaktır (a). Ancak yatay denge durumu iyileştirilerek parçaların istasyon süreleri sırası ile 1,5 ve 2,5 dakika olsaydı, ortalama iş yükü değişmese bile tamamlanamayan ürün ortaya çıkmayacaktır. (b).

Dikey Dengeleme: Dikey dengeleme yapılırken ortalama istasyon süresi göz önünde bulundurulur ve model bazında, her bir istasyona dağıtılan iş yükünün ortalama iş yüküne yakın olmasını sağlar. Bir diğer deyişle dikey dengelemenin amacı her model için işleri istasyonlara düzgün dağıtmaktır (**Merengo ve diğ., 1999**).

1.3.5. Model Sayısı ve Sıralama İle İlgili Kavramlar

Tek Modelli Hatlar: Bunlar, tek bir model veya ürünün üretimine ayrılmış özel hatlardır. Bu tip hatların tasarımı daha basittir.

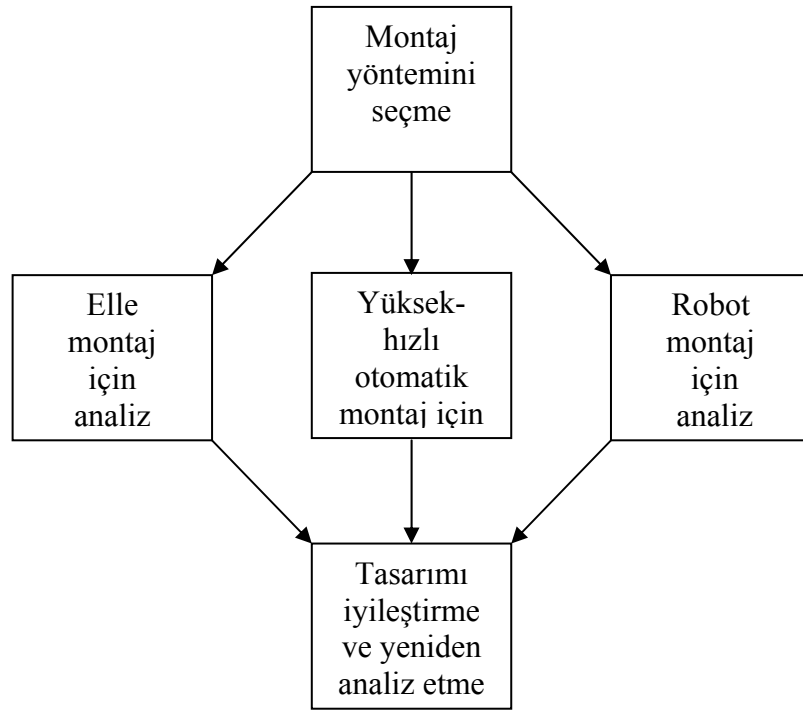
Çok Modelli Hatlar: Bu tür hatlarda farklı ürünler veya aynı ürünün iki veya daha çok benzer tipi, ayrı yığınlar halinde üretilir. Her model, bu hat üzerinde ayrı bir yığın oluşturur. Ürünler veya modeller, genellikle iş öğelerinin benzer bir sırasını gerektirir. Bu nedenden dolayı, değişik modellerin üretimi için aynı hat kullanılabilir. Çok modelli montaj hatları, eğer yığınlar büyük ise tek modelli montaj hatlarına, küçük ise karışık modelli montaj hatlarına benzerlik gösterirler.

Karma Modelli Hatlar: İki veya daha çok benzer ürünün veya bir ürünün değişik modellerinin, aynı anda ve karışık olarak üretildiği montaj hatlarıdır (**Acar ve Eştaş, 1991**). Bu tür üretimde, kuramsal olarak büyük miktarlarda bitmiş ürün stoklarına gereksinim olmayıp, çok modelli hatların tersine, tüketicinin istekleri, sürekli bir şekilde yapılan üretimle karşılanır. Otomobil ve kamyon montaj hatları, bu duruma örnek olarak verilebilir. Karma 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.

Ürün Karışımı: Birden çok ürünün partiler halinde veya karma olarak üretildiği montaj hatlarında; ürünlerin üretimine süre olarak ayrılan payların ne olacağının belirtecidir.

1.4. Montaj Sistemlerinin Sınıflandırılması

Üç temel montaj sistemi vardır: Elle çalışan (manuel), otomatik/yarı otomatik ve robotlar. Bu yöntemlerin her biri ayrı ayrı kullanıldığı gibi, bunlar arasında bir kombinasyon yapılarak da kullanılmaktadırlar. Zaten çoğu uygulama, üç montaj türünün bir kombinasyonundan oluşmaktadır. Uygulamada en başta, montajın ekonomikliği ve uygunluğu göz önünde bulundurularak bir analiz (Şekil 1.4) yapılmalıdır.



Şekil 1.4: Montaj analizi için tasarım aşamaları (Baskak, 2005)

1. Elle (İnsanlı-Manuel) Montaj Sistemi: Bu sistemde oldukça basit âletler kullanılır ve küçük miktardaki partiler için uygundur. İnsan elinin ve parmaklarının yetenekleri ve insanın herhangi bir yanlışlığı duyularını organlarını kullanarak hissettiğinde hemen bir geri-bildirimde bulunarak düzeltmeler yapması nedeniyle, işçilerin montajı, hatta karmaşık parçaların montajını bile az bir zorlukla elle yapabilmesi olanaklıdır. Elle montajda operatör önemli yeteneklere sahiptir. Operatörler, parçayı farklı yerlerden, farklı konumlarda alabilirler ve oldukça verimli bir şekilde yerine yerleştirirler. Ancak bunun istisnalarının olduğu durumlar da vardır:

- Çok küçük parçalar
- Çok büyük veya ağır parçalar

- Tutulması zor parçalar (keskin yüzeyli, ince, kırılğan vb.)
- Tek olarak tutulması ve/veya alınması zor parçalar
- Hemen hemen aynı görünümüne sahip parçalar

Burada belirtilen kolaylık ya da zorluk, işlemin aldığı süre ile doğru orantılıdır. Yukarıda belirtilen istisnalar zaman alan işlemlerdir.

Tipik elle montaj hatlarına; otomobil, kamera, elektrik motoru, mobilya ve pompa üretimleri örnek olarak verilebilir.

Paralel veya seri olabilen elle montaj sistemleri kendi içinde iki alt-sınıfa ayrılır:

a) Tek İstasyonlu Elle Montaj Sistemi: Tek İstasyonlu elle montajda, hareketin kontrolü ve montaj operatörünün karar verme yeteneği, iyi eğitilmiş bir operatör varsayımı altında, temel makine ve yapay zekâ sistemlerine kıyasla daha üstündür. Bu tip bir sistemde, çoğunlukla karışık yapıya ancak kısıtlı miktarlarda üretilen ürünler için kullanım söz konusudur. Üretim süreci boyunca taşınması ekonomik olmayan yüksek hacimli fırınların, uçakların ve deniz taşıtlarının üretimi için kullanılan montaj sistemleridir.

b) Çok İstasyonlu Elle Montaj Sistemi: Bu tip montaj sistemleri, yapılacak işlemlerin alt-işlemlere bölünerek birden fazla istasyonda gerçekleştirilmesi esasına dayanır. Montaj hattı mantığının ve bugün kullanılan pek çok karmaşık montaj hattı yapısının oluşması, bu sistemin evrimleşmesi sayesinde gerçekleşmiştir.

Çok istasyonlu insanlı montaj hatlarında, her istasyonda yapılacak iş ile ilgili ayrıntıların belirli bir kısmı gerçekleştirilerek, hatta işlem gören yarı ürün bir sonraki istasyona aktarılır. İstasyonlarda çalışan işçiler sürekli aynı işi yaptıklarından, bu iş üzerinde bir uzmanlaşma söz konusu olmaktadır. Bu nedenle işçiler belirli bir süre sonra aynı işi daha hızlı ve daha kaliteli gerçekleştirebilmektedirler.

Bu tip bir montaj sisteminin ekonomik olması için üretimin yüksek miktarlarda gerçekleşmesi gerekir.

2. Otomatik ve Yarı Otomatik Montaj Sistemi: Montaj için özel olarak tasarlanmış transfer mekanizmaları kullanılır. Salt paralel olabilen otomatik montaj, birçok avantaj sunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, mekanik montajda bulunan operatörün yerini otomatik araçların almasıdır. Böylece, basit işler otomatik olarak yapılırken; kişi, otomasyonla ekonomik olmayan işlere yönlendirilir (**Baskak, 2005**).

Diğer avantajlar aşağıdaki gibidir:

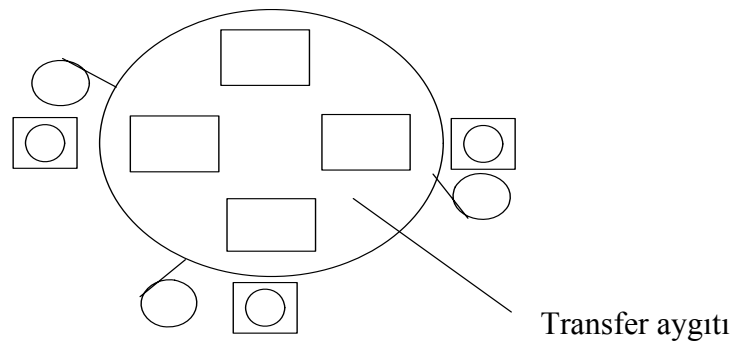
1. Montaj maliyeti düşer.
2. Verimlilik artar.
3. Daha uygun ve tutarlı ürün üretilebilir.
4. Güvenlik (operatörün tehlikeli işlemlerden uzaklaştırılması) sağlanır.

Otomatik montajda dikkat edilmesi gerekenler ise şunlardır:

1. Parçaları aşırı yüklenme ve rotalama en küçüklenmelidir.
2. Tasarım salt basit hareketlere gereksinim duymalıdır.
3. Bağlama elemanları düşey ya da diğer bir yönde en az şekilde yönlendirilmelidir.
4. Vida, civata, perçin gibi bağlama elemanları kullanılmamalıdır.
5. Montaj; koparma, birleştirme, etiketleme, delme ve çeşitli presleme işlemlerinden oluşmalıdır.
6. Bağlama elemanları standart olmalı ve olanaklı ise boyutları aynı olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Otomatik montaj sistemleri iki tiptir:

a) Özel Amaçlı Montaj Sistemleri: Bu tip montaj sistemleri, genellikle özel (tek tip) bir ürünün üretimi için kurulurlar. Tek-amaçlı çalışma başlığından oluşan bir transfer aygıtı ve çeşitli istasyonlardaki besleyicilerden oluşur. Transfer aygıtı, senkronize veya asenkronize ilke ile çalışıyor olabilir. Şekil 1.5'te özel amaçlı bir montaj sistemi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.5: Özel Amaçlı Montaj Sistemleri İçin Bir Örnek (Baskak, 2005)

b) Programlanabilir Montaj Sistemleri: Programlanabilir çalışma başlıkları ile veya robotlar ile kurulan bu sistemler, her bir istasyonda birden fazla farklı işlemin yapılabilmesi esnekliğini sağlarlar. Böylece üretim hacminde azalma olmadan,

tasarım değişikliklerine ve ürün çeşitliliğine izin veren montaj sistemleri kurulmuş olmaktadır.

Otomatik montaj sistemleri; montajı yapılan parçaları bir istasyondan diğerine taşıyan taşıma sistemleri, montaj işlemini gerçekleştiren otomatik iş kafaları, operatörün daha karmaşık montajları yapması için gereken boş iş istasyonları ve operasyonların başarısını kontrol eden denetim istasyonlarından oluşur. Otomatik iş kafaları, magazin ile elle ya da otomatik besleyiciler tarafından beslenebilir.

Montaj makineleri genellikle, taşıma sistemine uygun tasarlanır. Örneğin, düz hat montaj makinesinde iş parçaları düz bir hat üzerinde hareket eder. Dönel montaj makinelerinde ise, taşıma dairesel bir yol üzerinde olur. Her iki tür makine için de, taşıma sürekli ya da kesikli olabilir. Sürekli taşımada, iş parçaları sabit bir hızla hareket ederken iş kafaları da ileri ve geri yönde çalışır.

Otomatik montaj makineleri ile ilgili ciddi sorunlardan biri, makine beklemelerinden kaynaklanan üretim kayıplarıdır. İnsanlı montaj hatlarında, operatör hatalı parçaları hızla çıkarabilir ve böylelikle az üretim kaybı olur ya da hiç olmaz. Hatalı bir parça ile beslenmiş otomatik iş kafası, hata bulunup ödünlenene kadar makinenin beklemesine neden olur. Dolayısıyla, otomatik montajda kullanılacak parçaların kalite düzeyi, düşünülmesi gereken ilk etmendir.

Otomatik montaj sistemleri, üretim hacminin çok yüksek olduğu durumlarda kârlıdır. Yaklaşık olarak, yıllık üretim miktarının 500.000 adet ya da üzeri olduğu durumlarda başarı şansının çok yüksek olduğu ileri sürülmektedir. Bu da, sistemin ekonomik açıdan değerlendirilmesinde ikinci etmen olarak düşünülebilir.

Diğer bir etmen ise, parçaların beslenmesi ve montajıdır. Bu noktada, karar vericinin karşısına dört olası durum çıkar:

1. Otomatik besleme ve montaj
2. Elle besleme ve montaj
3. Otomatik besleme ve elle montaj
4. Elle besleme ve otomatik montaj

İşletme bunları ve benzeri birçok etmeni göz önünde bulundurmalı ve otomatik montaj sisteminin kurulup kurulmayacağı kararını vermelidir.

3. Robot Montajı ve Esnek Montaj Sistemleri: Bir veya iki genel amaçlı robot, tek bir istasyonda veya robotlar çok istasyonlu bir montaj sisteminde çalışırlar. Paralel veya seri olabilirler.

Basit montaj ve malzeme taşıma robotları bilgisayar kontrolü altında basit mekanik bir koldan oluşur ve bugün endüstride en çok kullanılan türdür. Robotlar için çok sayıda farklı boyut, kapasite ve yetenek seçenekleri vardır. Montaj robotları alanında, x-y-z doğrusal hareketli, elektro-optik konum merkezleme sistemli, sıkıştırıcı, tornavida gibi donanımlara sahip küçük montaj robotları vardır. Özel aletler, tork ve güç duyarlılığı için geri besleme sinyalli, servo-sürümlü ve bilgisayar kontrollüdür. Böyle bir robot, küçük montaj uygulamalarında kullanılır (elektrik devre kartlarına küçük bileşen eklemesi gibi).

Robot montajının dört adet parametresi vardır:

1. Taşınan parçaların ağırlığı
2. Montajın doğru gerçekleştirilmesini sağlayan yinelenebilirlik
3. İşlemcinin hızı
4. Yapılacak işin büyüklüğü

Esnek Montaj Sistemleri, kısa üretim süreçlerinde maliyet düşüşü sağlamaktadır. Sistem, seçilen işin, gerekli olmayan istasyonları geçerek, seçilen montaj istasyonunda yapılmasına izin verir. Montajı yapılacak ürünlerin birden fazla hatta sahip olduğu durumlarda esnek montaj sistemleri şu tip büyük avantajları sağlamaktadır:

1. Süreç içi iş azalır.
2. Ürün kalitesi artar.
3. Alan kullanımını eniyiler.
4. Sermaye gereksinimini en küçükler.
5. Montaj sisteminin en az maliyetle, istenen şekilde değiştirilmesini ve yeniden düzenlenmesini sağlar.

Sağladığı bu faydaların yanında esnek montaj sistemleri, geleneksel montaj hattı ile karşılaştırıldığında, daha büyük işçi hoşnutluğu, daha kaliteli ürün, model değişikliklerinin uzlaşımı için artmış yetenek ve tüm üretim hattını durdurmak için gerekli olandan daha çok süre gerektiren sorunlarla başa çıkmada daha büyük yetenek sağlar.

Esnek montaj sistemi ile değişiklikler, saat ya da gün değil, dakikalar almaktadır. Sistemde, otomatik yükleme ve boşaltma araçları, otomatik rehberli taşıma sistemleri, otomatik rotalama sistemleri için barkod tarayıcıları ve bilgisayar ya da başka kontrolörler kullanılır.

1.5.Montaj Sistemlerinde İş İstasyonları Arasında İş Transferi ve Malzeme Taşıma

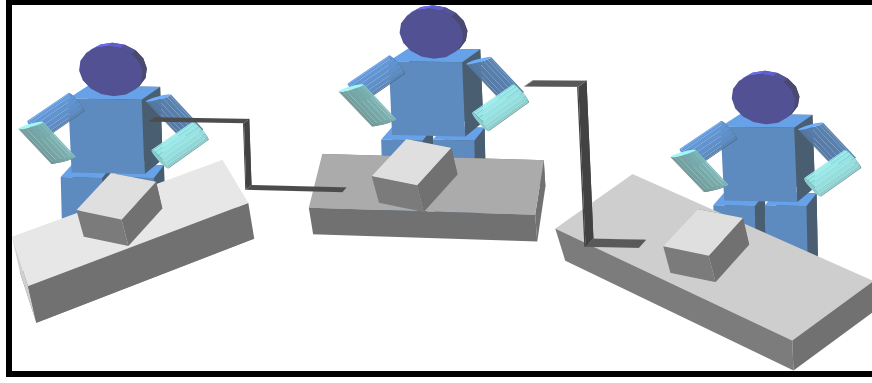
Montaj sistemlerinde önemli olan bir diğer nokta da montajı yapılan ürünün istasyonlar arası transferidir. Bu transfer için kurulacak iletim hattı, ürünün hassasiyetine, yerleşim tipine, seçeneklerin çevrim süresine etkisine ve maliyet öğelerine uygun olarak seçilmelidir. Bu iletim hatları, mekanik olmayan hatlar ve hareketli bant hatları olmak üzere iki grupta incelenebilir.

1.5.1. Mekanik Olmayan Hatlar

Mekanik olmayan hatlarda, operatörler tarafından montajı yapılan ürünler bir istasyondan diğerine insanlar tarafından aktarılır, kayış veya bant kullanılmaz. Mekanik olmayan hatlar, çoğunlukla küçük hacimli ürünlerin taşınmasında kullanılır. Bu etkinlik modunda aşığıdaki sorunlar görülür:

- 1. İstasyonlarda İşin Beklenmesi:** İşlemci işini tamamlamıştır ama önceki istasyondan gelecek parçalar için beklemektedir.
- 2. İstasyonların Tıkanması:** İşlemci işini tamamlamıştır ama bitirdiği parçayı bir sonraki istasyona geçirmeden önce, bir sonraki işleminin görevini tamamlamasını beklemektedir.

Bu sorunların sonucu olarak, mekanik olmayan bir hat üzerindeki iş akışı düzensiz gelişir. İş istasyonlarında aksamalar olur. Çevrim süresi değişir. İş istasyonları arasındaki parçalara ilişkin güvenlik stokları, üretim akışını düzeltmek için kullanılır. Ancak bu, maliyeti artırıcı bir durumdur. Şekil 1.6'da mekanik olmayan hatların çalışma biçimi görülmektedir.



Şekil 1.6: Mekanik Olmayan Hatların Çalışma Biçimi (Baskak, 2005)

1.5.2. Hareketli Bant Hatları (Mekanik Hatlar)

Hareketli bantta sahip sistemlerde, montajı yapılan ürünü istasyonlar arasında hareket ettiren bir bant (örneğin bir hareketli kayış, taşıyıcı zemin zinciri vb.) bulunur. Bu bant ile montajı yapılan ürünlerin taşınması hızlandırılır, hat üzerindeki iş akışı düzenlenir ve çalışanların iş yükü azaltılmış olur. Taşıma sistemi; sürekli, aralıklı (kesikli) veya eşzamanlı olmayan (düzensiz) şekilde olabilir (Acar ve Eştaş, 1991).

Hareketli bant hatları için genelde iki durum söz konusudur:

a) Birimlerin Banttan Alınabilir Olduğu Durum:

Hareketli bant sistemlerinde üretim hattının işleyişi çeşitli şekillerde olabilir. En karmaşık şekillerden biri; işçilerin, birimleri hareketli bant üzerinden alarak, işi tamamlayıp bantta geri koymaları ve yeni birimi (iş parçasını) almalarıdır. Böyle bir üretim hattı üzerindeki herhangi bir istasyonda, iki farklı durumla karşılaşılır:

a1) İstasyonun Boş Kalması: Elindeki işi tamamlayan istasyon, ikinci iş birimini zamanında alamaz ve işi beklemek zorunda kalır. Bu durumda, istasyonda boş zaman ve dolayısıyla düşük kapasite kullanımı söz konusu olacaktır. İstasyonların bloke olması (tıkanması) olasılığı, bantın sürekli hareketi sayesinde ortadan kalkacaktır.

a2) Eksik Birim Üretimi: Düzenli harekete sahip bantlarda, hatalı malzeme, işi bitmemiş parça vb. nedenlerle çevrim süresi içinde tamamlanmamış ürünler, sonraki istasyonlara, gereken işlem eksik yapılarak veya hiç yapılmadan taşınacaklarından hattın düzeni bozulabilir. Bu nedenle çoğunlukla hareketli bant sistemlerinde hatalı ürünü hattan alabilecek destek sistemleri de kurulmaktadır. Bazı sistemlerde ise hattın bir bölümü bu tip ürünlerin taşınmasına ayrılır. Hatalı veya tamamlanamamış ürünler, çoğunlukla hat sonunda bulunan özel bir alanda yeniden işlenir, eksik

işlemler tamamlanır.

Bu üretim hatlarında, genellikle ilk istasyon için sabit bir besleme (yükleme) oranı saptanmıştır ve birimler, düzenli aralıklarla hareketli banda yüklenirler. Ancak sonraki istasyonlarda bu sabit oran giderek düzensizleşir ve istasyonların servis sürelerine göre değişen bir hareket görülür. Dolayısıyla, iş akışının düzensiz olduğu bu hatlarda çıktı oranı, ilk istasyon için saptanmış sabit yükleme oranı veya ortalama yükleme oranı tarafından belirlenir (**Acar ve Eştaş, 1991**).

Eğer işçiler, bir parçayı işlerken, arkadan gelen parçaların önlerinden geçmesi yerine, bunları hattan çıkarıyorlarsa, bu hatlarda güvenlik stokları kullanılabilir. Güvenlik stokları en üst düzeye ulaşırsa bile, bunlar üretim hattından çıkarıldıkları için, istasyonları bloke etmeleri (tıkamaları) söz konusu olmayacaktır.

Bu tür hatlarda, iş parçasının hattan alınması için gerekli süre, yani tolerans süresi çok büyük önem taşır. Tolerans süresi, iş parçasının geçtiği istasyonun uzunluğu ve hattın hızı ile belirlenir.

f_p besleme oranını göstermek üzere, zaman başına iş parçaları olarak hesaplanır ve iki etmene bağlıdır: Bandın hareketiyle oluşan hız [V_c (m/sn.)] ve bant boyunca iş parçalarının aralığı [S_p (m/iş parçası)]. Bu durumda besleme oranı şu şekilde hesaplanır:

$$f_p = V_c / S_p \quad (1.9)$$

Tolerans süresi (T_t), bant hızı ve iş istasyonunun uzunluğu (L_s) ile saptanır. L_s , iş istasyonunda işlemcinin uzanmasıyla geniş anlamda saptanır. Bu nedenle tolerans süresi şöyle hesaplanır:

$$T_t = L_s / V_c \quad (1.10)$$

Örneğin; hareketli bantlı ve insanlı bir akış hattında, istenen üretim hızının 60 adet/saat olduğunu varsayarsak, bu, 1 adet/dk.'lık bir besleme oranı gereksinimini işâret eder. Bu da, 0,5 m./dk.'lık bir bant hızı ve 0,5 m.'lik parça aralığı ile başarılr (V_c ve S_p 'nin diğer karışımları, yine aynı besleme oranını sağlayacaktır). Eğer her iş istasyonunun uzunluğu 1,5 m. olsaydı, her iş parçası için işlemcilere uygun tolerans süresi 3 dk. olacaktı. İşçinin işlem süresi değişkenliğini ödünlemek (telafi etmek) için genellikle, tolerans süresi büyük yapılmaya çalışılır.

b) Birimlerin Bant Üzerinde Sabit ve Banttan Alnamaz Olduğu Durum:

Hareketli bantların kullanıldığı üretim sistemlerinde, işlenecek parçaların bant üzerine sabit olarak yerleştirildikleri durumlarla sık sık karşılaşılır. “Sabit olarak yerleştirme” çeşitli anlamlarda olabilir: Parçalar hat üzerine tutturulmuşlardır, ağırlıkları fazla olabilir veya başka herhangi bir nedenle banttan alınmaları olanaksızdır. Bu tür sistemlere, motorlu taşıt araçları üretimi, örnek olarak verilebilir. Bu durumda iki farklı hat tipi ile karşılaşılır:

b1) Sürekli Hat (İng: moving line)

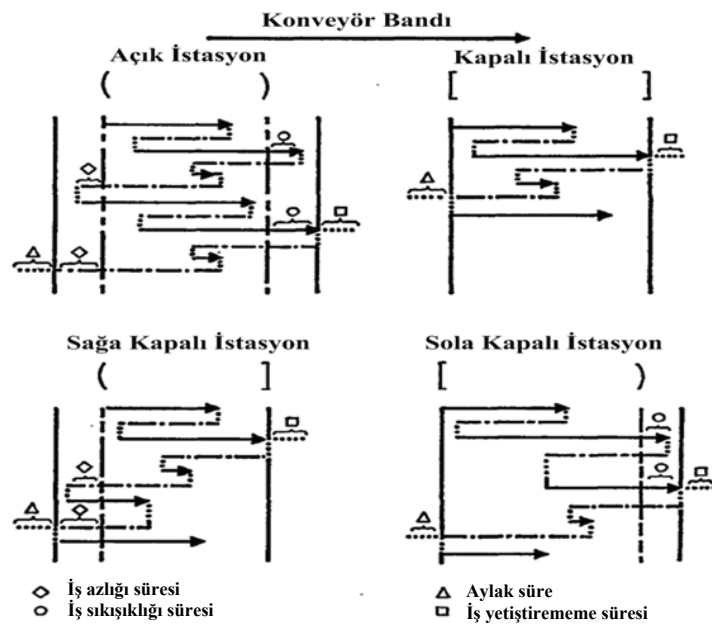
Sürekli hatlarda parçalar, paletler üzerinde sabit bir hızda hareket eder ve hareket ediyorken monte edilir. Sürekli hatlarda şekil 1.7’de görülen dört çeşit istasyon mevcuttur.

1. Açık istasyon: Bu tip istasyonlarda işgören önündeki ve ardındaki istasyonlara belirli bir mesafede geçebilir.

2. Kapalı istasyon: Bu tip istasyonlarda işgören önündeki ve ardındaki istasyonlara geçemez.

3. Sağa kapalı istasyon: Sağa kapalı istasyonlarda işgören önündeki istasyona belirli bir mesafede geçebilir, ancak ardındaki istasyona geçemez.

4. Sola kapalı istasyon: Sola kapalı istasyonlarda işgören ardındaki istasyona belirli bir mesafede geçebilir, ancak önündeki istasyona geçemez (Thomopoulos, 1967).



Şekil 1.7: Sürekli Hatlardaki İstasyon Tipleri (Thomopoulos, 1967)

b2) Adımlı Hat (İng: paced line)

Adımlı hatlar, istasyon uzunluklarının, ürünlerin her bir istasyonu kat etme süresinin, çevrim süresi olacak şekilde ayarlandığı hareketli hatlar olarak düşünülebilir. Ürün, bir istasyona ulaştığı zaman hat çevrim süresi kadar durur, bunun ardından, bir sonraki istasyona iletilir. Bir diğer deyişle, adımlı hatlarda periyodik hareket söz konusudur.

1.4.3. Montaj Sistemlerinde Malzeme Taşıma

Hat üzerindeki makinelerin arasına otomatik veya yarı otomatik taşıma donanımları kurmak, var olan üretim sistemine otomasyonun kolayca girişini sağlar. Bazı malzeme taşıma sistemleri aşağıda açıklanmıştır:

1. Çekmeli veya Tel Ayarlamalı Taşıma (İng: Tow Line): Bu sistemde iş parçaları zeminin altında yerleştirilmiş bir zincir vasıtasıyla çekilen arabaların üzerinde taşınan palet sabitlerine veya platformlara yerleştirilmişlerdir. Bu yöntemin avantajı, paletteki parçaların doğru biçimde yerleştirilmesi ve her montaj işlemi veya makinesi için doğru biçimde konumlandırılmasıdır.

2. Silindir (Merdane) Taşıyıcı: Bir eksen üzerinde dönen silindirden oluşan silindir taşıyıcılar, üretimin bir ucundan bir ucuna kadar rahatlıkla kullanılabilen taşıyıcılardır. Taşıyıcı sabit bir hızla hareket eden iş parçalarını imalat hücreleri arasında taşır. Taşıyıcı bu iş parçalarından herhangi birini ilgili imalat hücresine ulaştırdığında, iş parçası bir robot tarafından kaldırılır veya çapraz-silindir (İng: cross-roller) taşıyıcı ile ilgili hücreye yollanır. Silindir taşıyıcılar ya bir zincir sayesinde ya da bir hareketli kayış vasıtası ile güç (elektrik) alırlar.

3. Konveyör: Bu malzeme taşıma sisteminde, çelik bir kemer ya da bir zincir makara yardımıyla iş parçaları taşınır. Bu sistem, üç farklı yöntem ile çalışmaktadır:

a) Sürekli transferlerde iş parçaları, döngü boyunca veya bir robotun iş parçasını hücreye kaldırmasına kadar hareket eder.

b) Eşzamanlı transfer, esas olarak otomatik montaj hatlarında kullanılır. Montaj istasyonları bu taşıyıcılar arasında eşit aralıklarla yerleştirilirler. Her bir istasyonda iş parçaları, bir robot veya âlet vasıtasıyla monte edilir. Burada taşıyıcı bir ayarlama ürünüdür.

c) Yani, taşıyıcı kısa bir uzunluk boyunca hareket eder, ürün istasyondayken durur

ve montaj her istasyonda eşzamanlı olarak yapılır. Bu yöntem, çevrim sürelerinin hemen hemen eşit olduğu yerlerde uygulanır.

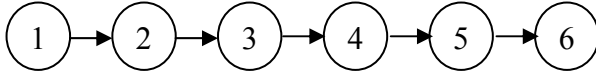
d) Güç (elektrik) ile ve serbest olarak malzeme taşıma, her iş parçasına işlenmek için bir sonraki îmalat hücresine bağımsız olarak hareket etme izni verir.

1.6. Montaj Hatlarının Yerleşimi

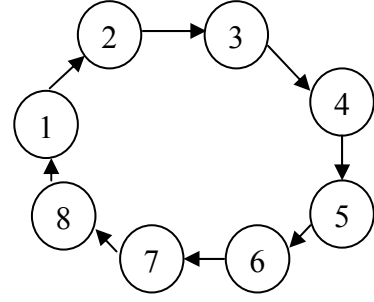
Donanımın ve iş istasyonlarının yerleşim biçimi, hat tipindeki üretimleri etkileyen önemli bir etmendir. Hattın bulunduğu yer ve üretilecek ürünün özellikleri, hattın alacağı şekli belirler. Fiziksel montaj hatları; düz, dairesel, rastsal, değişik açılı, U şekilli ve zig-zag gibi değişik biçimlerde tasarlanabilir.

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

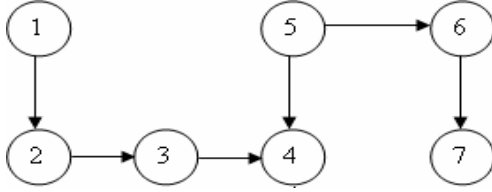
- 1) Hattın boyu uzun ise, var olan yere sığmıyorsa veya düz hat yerleştirme yapıldığında boşta kalacak alanın boyutları büyükse, U-şekilli veya dairesel hat kullanılır.
- 2) Elektrik ve basınçlı hava gibi tesisat bağlantıları, birden fazla istasyona aynı kaynaktan yapılıyorsa U-şekilli hatlar kullanılır.
- 3) Var olan alan uygun değilse ve çok bitişik düzenlemeler gerektiriyorsa, düz hat dışında kalan uygun bir hat şekli yeğlenir.
- 4) Maliyeti yüksek olan bir makineye, birbirinden ayrık iki etkinlik yaptırılması gerekiyorsa, U-şekilli hatlar yeğlenir.
- 5) Bir işlemci, değişik işlem sıralarındaki ve aynı hat üzerindeki makinelerden birden çoğu ile çalışıyorsa U-şekilli hat kullanılır.



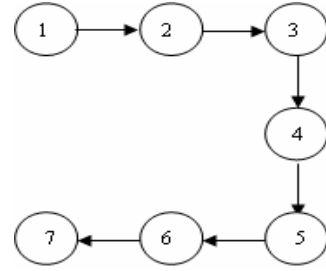
Düz Hat



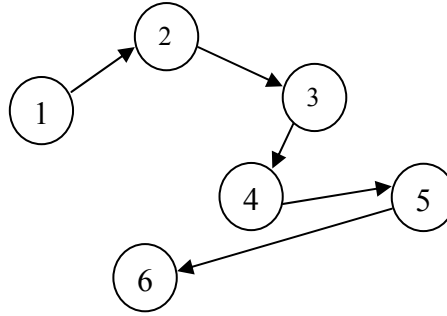
Dairesel Hat



Zig-Zag Hat



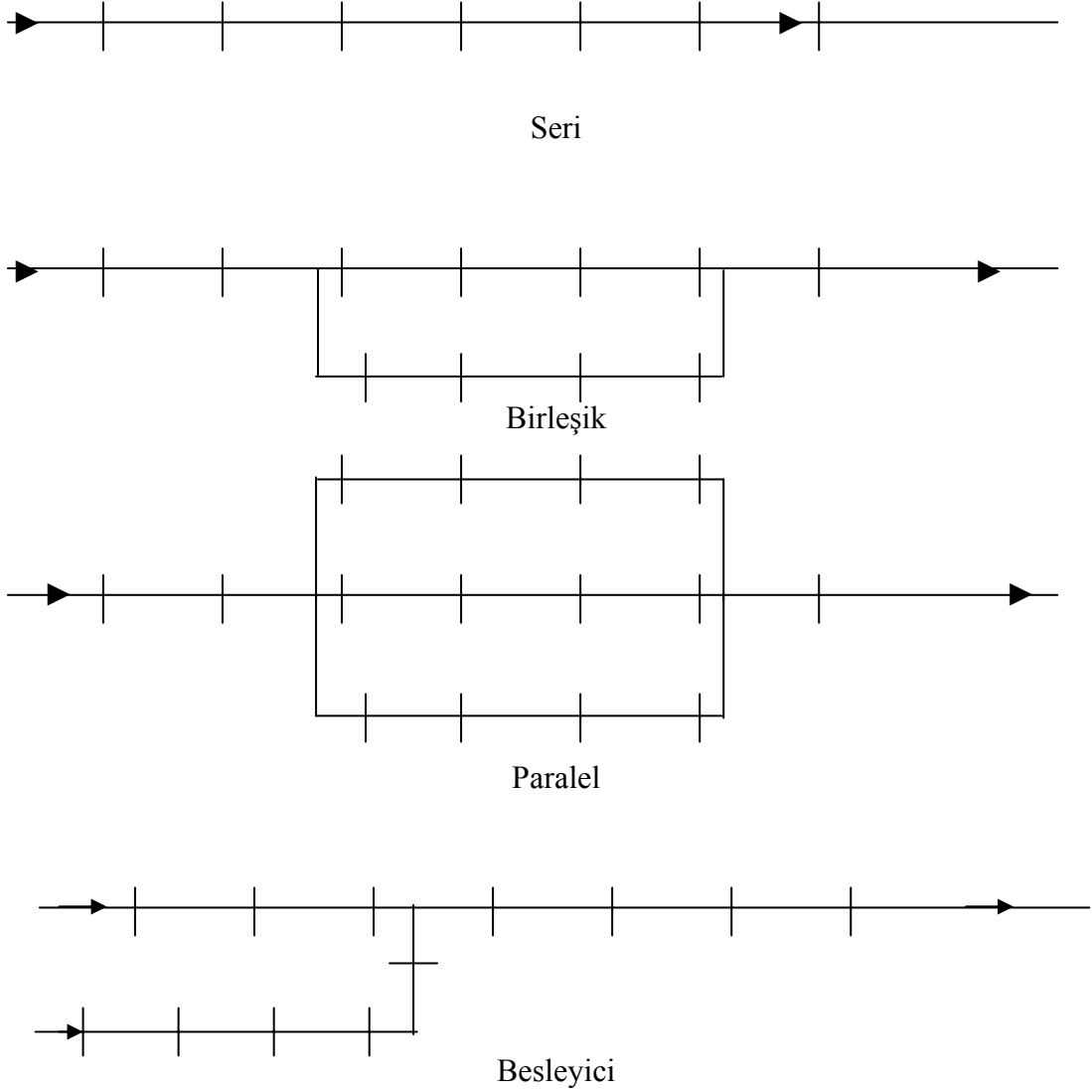
U-şekilli Hat



Değişik Açılı Hat

Şekil 1.8: Çeşitli Montaj Hattı Yerleşimleri (Aydoğdu, 2005)

Fiziksel montaj hatlarından başka ayrıca işlevsel montaj hatları vardır. Bunlar Şekil 1.9'daki gibi dört değişik biçimde olabilir: Seri, birleşik, paralel ve besleyici montaj hattı tipleridir.



Şekil 1.9: İşlevsel Montaj Hattı Tipleri (Aydoğdu, 2005)

1.7. Montaj Hattı Dengeleme

1.7.1. Montaj Hattı Dengelemenin Amaçları

Montaj hatları, kitle üretiminin önemli bir alt sistemidir. Bu tip sistemler ayrıntıda farklı olmakla beraber, temelde birbiri ardına dizilmiş iş istasyonlarından oluşur. Hammadde ve yarı ürün parçalar, hat içine, hattın başlangıcından veya ara istasyonlardan girerler. Giren parçalar bir iş istasyonundan diğerine geçerek en son istasyondan hattı tamamlanmış olarak terk ederler (Tanyaş ve Baskak, 2003).

Bir montaj hattının kurulmasında ulaşılmak istenen amaçlar aşağıdaki gibidir:

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

Montaj hattı dengelemenin amaçları birbirleriyle eliştirdiklerinden, hepsini birden en st düzeye ulaştırmak olası olmayabilir. Dengelemede ana amaç, bu çelişkilerin göz önüne alınarak en uygun zme ulaşılmasıdır. Bu yapılırken montaj maliyetinin de en küçük olması sağlanmalıdır. Dengeleme işleminde hesaba katılan etmenler içinde, maliyeti etkileyen tek değişken, işgücüdür.

İşgücü yükünün dengelenmesinde başvurulabilecek yollar şunlardır:

- 1) İki veya daha fazla tezghta bir işçi çalıştırılabilir.
- 2) İki kısa işlem süresi, diğerleri kadar veya daha az ise bunlar bir işçiye verilebilir.
- 3) İşçinin yükü artırılabilir.
- 4) İşçiler alışma hızlarına göre dizilebilir.

1.7.2. Montaj Hattı Dengelenmesini Etkileyen Temel Etmenler

Montaj hattı dengelemeyi etkileyen temel etmenler, aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1. Mühendislik spesifikasyonları, işlemler arası öncelikler ve kaynak (girdi) gereksinimleri.
2. İşin yapılmasında izlenen yöntem (bazı montaj işlerinde verilen belirli bir teknolojik sıra, işin kolay ve daha hızlı yapılmasını sağlayabilir).

3. Kullanılan aygıtlar ve tezgâhlar (bazı aletlerin, montaj hattının birden çok yerinde kullanılmasına gerek duyulabilir; böyle durumlarda aynı alet grubunu birden fazla işlemcinin kullanabileceği bir şekilde, bazı istasyonları ard arda yerleştirmek gerekebilir).

1.7.3. Montaj Hattı Dengelemeyi Etkileyen Kısıtlar

1.7.3.1. Temel Kısıtlar

Çevrim Süresi: Çevrim süresini; verilmiş net üretim hedefi, brüt çalışma yüzdesi ve tolerans yüzdesi (yani kontrol edilemeyen nedenlerle kaybedilen süreler ve önceden tasarlanmış duruş süreleri toplamının,brüt çalışma süresinin yüzdesi olarak ifadesi) birlikte belirlerler. Bir istasyona atanan etkinliklerin süreleri toplamı, çevrim süresini aşamaz.

Öncelik ilişkileri: Tüm montajın içerdiği etkinliklerin kendi aralarında söz konusudur. Yani bir etkinliğin başlayabilmesi için, diğer etkinlik veya etkinliklerin bitirilmiş olması gerekebilir. İstasyonlara yapılan etkinlik atamalarının, bu öncelik ilişkilerine aykırı olmamaları zorunludur.

1.7.3.2. Yan Kısıtlar

Konum Kısıdı: Konumsal kısıtlamalar, montajı yapılan nesnenin konumu ile işlemcilerin banttaki konumu arasındaki ilişkiyi ifade etmekte kullanılan bir kavramdır.

Sabit Donanım Kısıdı: Makineler, test araçları gibi sabit donanımlar, montaj hatlarının bütünleşik parçalarıdır ve değiştirilemez istasyonları oluştururlar. Bu tip istasyonlardaki işler kesinlikle yapılmalıdır. Sabit donanım kısıdı, iş öğelerinin değiştirilebilirliğini azaltır.

İstasyon Yüğü: Montaj hattında bazı istasyonların sürelerinin, çevrim süresinden düşük olması istenebilir. Özellikle ilk istasyon veya istasyonlarda, hattın başında olabilecek aksamaların, tüm hatta etkisini azaltabilmek için, bu yapılabilir.

Aynı İstasyona Atanması İstenen İşler: Bu özelliğe sahip işlerin, aynı veya birbirini izleyen istasyonlara atanması gereklidir. Böyle durumlarda bir etkinlik alt grubu, tek bir etkinlik gibi düşünülebilir. Örneğin, özel alet kullanımını gerektiren iki etkinliğin

aynı işçi tarafından yapılması, ikinci bir alet gereksinimini ortadan kaldıracığı için istenen bir durumdur.

Aynı İstasyona Atanması İstenmeyen Etkinlikler: Bu özelliğe sahip bir etkinlik, diğer bazı etkinlik veya etkinliklerle, aynı istasyona atanamaz. Örneğin, aşırı fiziksel güç uygulamasını gerektiren iki etkinliğin, iş yükü açısından ayrı istasyonlara atanması istenebilir. Benzer şekilde, birden fazla iş ögesi, teknolojik olarak istenmediği için aynı işlemciye atanmazlar veya en azından bir aracı istasyon ile birbirlerinden ayrılabilirler. Titreşimli bir çalışma ile hassas ölçme gerektiren bir çalışmanın ayrılması bu duruma bir örnektir (**Tanyaş ve Baskak, 2003**).

2. KLASİK VE TAKIM ÇALIŞMASI ESASLI MONTAJ SİSTEMLERİ

2.1. Klasik Montaj Sistemleri

Günümüzde, genelde, klasik montaj sistemleri kullanılmaktadır. Çoğu araştırma ve yazılan makaleler bekleme zamanını minimize eden ve verimliliği maksimize eden tek bir amacı incelemektedir. Baybars, Dar-El, Gosh ve Gagnon gibi araştırmacıların çalışmalarına göre tasarım amaçları aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Aydoğdu, 2005);

- a) Düşük üretim oranına bağlı olarak istasyon sayısını minimize etmek.
- b) Mevcut istasyon sayısı ile üretim oranını maksimize etmek (çevrim süresini minimize etmek).

Bazı araştırmalar ise, aynı montaj hattı üzerinde, aynı ürünün farklı modellerinin üretildiği, daha karmaşık bir yapıya sahip olan *karma modelli montaj sistemleri* ile ilgilidir.

Klasik montaj hatlarının dezavantajları aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- 1) *Düşük Esneklik*: Montaj sistemlerinin esnekliği talepteki dalgalanmalara sistemin verdiği cevaba göre belirlenir. Klasik montaj sistemlerinde esneklik düşüktür. Çünkü, ürün özelliğindeki herhangi bir değişiklik montaj sisteminin tamamını etkilemektedir. Montaj hatlarındaki işçiler az eğitilmiştir. Bu da istasyonlar arası işçi transferinde zorluklar yaşanmasına neden olmaktadır (Bukchin ve diğ., 1997).
- 2) *Yüksek Denge Kaybı*: Karma modelli montaj sistemlerinde model süresindeki varyasyon ve stokastik iş sürelerindeki hatalı hat dengelemelerinden dolayı denge kaybı olur. Denge kaybının yüksek olması performans kaybına neden olur.
- 3) *Düşük Kalite*: Klasik montaj sistemlerinde çalışanların arasında sırasal ilişkiden başka bir bağlantı yoktur. Direk geri besleme olmadığından dolayı çalışanlar hatalarının ne olduğunu öğrenemezler. Ayrıca çalışanlar tamamlanmamış ürünler üzerinde çalıştıkları zaman birbirlerinin o anda yaptıkları işlerden haberleri olmadığından, hatanın farkına geç verilir. Bir diğer deyişle, bu tür hatlarda çalışanlar

arasında görsel kontrol eksikliği mevcuttur. Bütün bunlar çıktının düşük kalitede olmasına neden olmaktadır.

4) *Kötü Çalışma Ortamı*: Klasik montaj sistemlerinde çalışanlar bir makine gibi çalışırlar ve öğrenme eğrilerine göre çıktıyı geliştirmeye çalışırlar. Çalışanlar aynı işi yüzlerce kez yaparlar ve yaptıkları işi daha hızlı yapmak için çaba harcarlar. Bu ise çalışanların motivasyonlarında düşüklüğe neden olur.

5) *Yüksek Süreç İçi Stok*: Klasik montaj sistemleri uzun ürün akış süreleriyle karakterize edilirler. Uzun akış süreleri süreç içi stok miktarını arttırmaktadır.

6) *Yüksek Malzeme Taşıma Maliyeti*: Klasik montaj sistemlerinde, ürünler istasyondaki çalışanların önünden geçer. Böyle bir konfigürasyonda, özellikle tek senkronlu sistem kullanıldığı zaman, yüksek malzeme taşıma sistemi gerektirir.

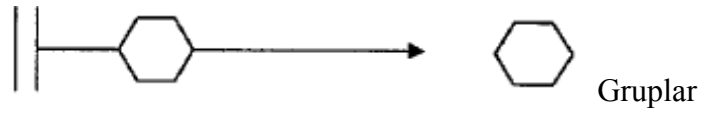
2.2. Takım Çalışması Esaslı Montaj (TCEM) Sistemleri

Büyük ve karmaşık üretimlerin sistemleri birbiriyle bağlantılı hücreli sistemlerden oluşan yapılarla gerçekleştirilmesi ile elde edilen olumlu sonuçlar, takım çalışması yaklaşımının montaj sistemlerine de uygulanmasını sağlamıştır. Takım esaslı montaj sistemleri, klasik montaj sistemlerinin dezavantajlarını en azlamaktadır.

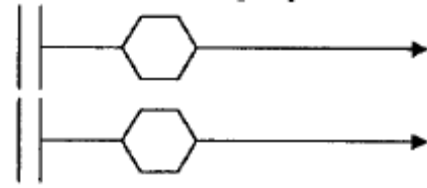
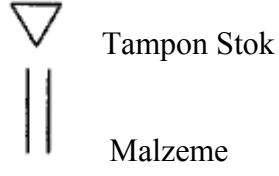
Aşağıdaki şartlar sağlandığı zaman çalışanların oluşturduğu grup “montaj takımı” diye adlandırılır (**Bukchin ve diğ., 1997**);

1. Grup sürekli akış halinde olan her bir parçanın teker teker montajını tamamlar.
2. Grup üyeleri aynı bölgede çalışırlar.
3. Üyelerin birbirine yakın olabilmeleri için grup yeteri kadar küçük olmalıdır.
4. Grup üyeleri kendi iş akış sıralarını kendileri belirler.
5. Grup üyeleri montaj ettikleri parçaların kalitesinden kendileri sorumludur.

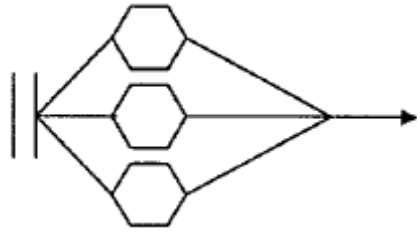
Çeşitli montaj grupları Şekil 2.1’de görülmektedir. Bunlar grupların bir hatta bulunduğu, basit tekil ve paralel gruplardan seri gruplara kadar bir yelpazede çeşitli tipleri içermektedir.



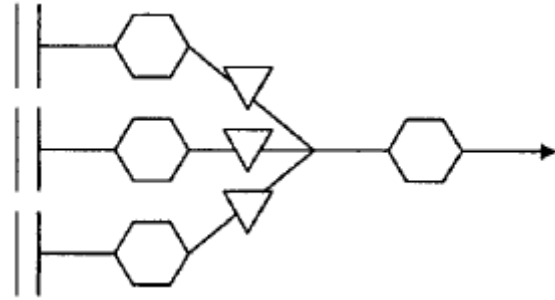
1. Tek grup



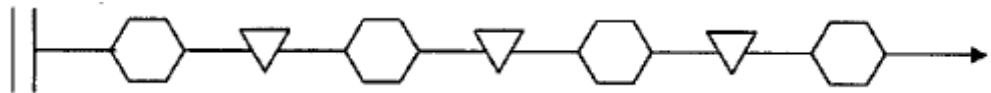
2. Birkaç Tekli Grup



3. Paralel Gruplar



4. Dallı Grup



5. Seri Grup

Şekil 2.1: Çeşitli Montaj Grupları (Bukchin ve diğ., 1997)

Tasarım süreci ürün yapısına bağlıdır ve montaj sistem konfigürasyonu ürün tasarımına dayanır. Montaj takımları ve takım tabanlı sistem konfigürasyonları tanımlandıktan sonra TÇEM sistemi özetlenebilir.

Tablo 2.1: TÇEM Sistemleri İle Klasik Montaj Sistemlerinin Karşılaştırılması

	Klasik Montaj Hatları	Takım Çalışması Esaslı Montaj Hatları
Akış Süresi	Ürün akış süreleri uzundur.	İşlerin paralel olarak yapılabilmesi nedeniyle ürün akış süreleri kısaldır.
Kalite	Çalışanlar arası görsel kontrol olmadığından hatanın farkına geç varılır.	Çalışanlar, diğer takım elemanlarının yaptıkları işleri de gördüklerinden hataların farkına erken varılır.
Esneklik	Talep ve ürün tasarımındaki değişikliklere esnek değildir.	Talep ve ürün tasarımındaki değişikliklere esnektir.
İş Tatmini	Hep aynı işleri yapmak ve iletişim eksikliği işgörenlerin iş tatmininin azalmasına neden olur.	Takım içi iletişim ve işgörenin değişik işler yapması iş tatminini artırır. Takım içindeki öneri sistemi işgören motivasyonunu artırır.
İşgören Niteliği	Kalifiye işgücü gerektirmez.	Kalifiye işgücü gerektirir.
Malzeme Taşıma Faaliyetleri	Malzeme taşıma faaliyetleri fazladır.	Aynı ortamda daha fazla iş yapılması malzeme taşıma faaliyetlerini azaltır.

Tablo 2.1’de bazılarından bahsedilen TÇEM sistemlerinin karakteristikleri şu şekildedir:

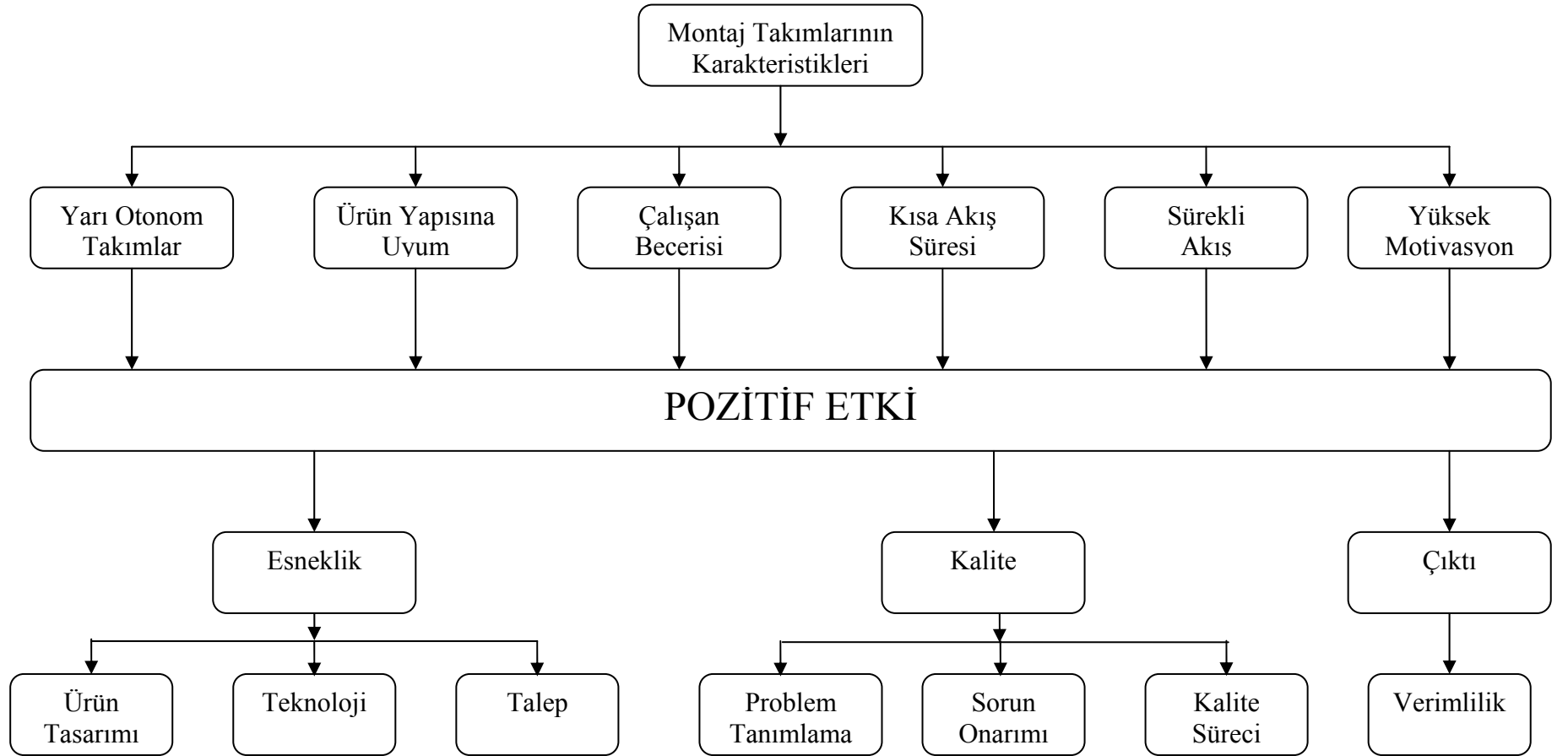
1. *Yarı Otomatik Takımlar:* TÇEM sistemlerinin temel karakteristiklerinden biri yarı otomatik olarak tasarlanmalarıdır. Yarı otomatik olmaları takımın tanımı, iş yapısı ve kalite güvencesinden kaynaklanmaktadır.
2. *Ürün Yapısına Uyum:* TÇEM tasarım süreci montaj sistem konfigürasyonların nasıl olacağını belirleyen ürün yapısına dayanmaktadır. Bu durumda montaj sistemi modüler yapıya dayanmaktadır.
3. *Çalışan Becerisi:* Klasik montaj sistemlerinden farklı olarak, TÇEM sistemi çalışanları, o takım içindeki her bir görevi yapabilecek şekilde eğitilmiştir.

4. *Kısa Akış Süresi*: TÇEM sistemleri kısa akış süreleri ile kategorize edilirler. Çünkü klasik montaj hatları ardışık sıraya göre yapılır, fakat TÇEM sistemlerinde paralel olarak tasarlanabilmektedir.

5. *Sürekli Akış*: Sürekli akış, sistemdeki parçaların senkronize oldukları, yani takımların aynı çıktı ve çevrim sürelerine sahip oldukları anlamına gelmektedir.

6. *Yüksek Motivasyon*: Takım çalışması esaslı tasarımın en önemli avantajlarından ikisi; çalışma ortamının geliştirilmesi ve çalışanların üretim süreçlerine katılımlarını arttırır. Bu sayede çalışanların motivasyonu artmış olur.

TÇEM sistem karakteristiklerinin hedeflere olan etkileri Şekil 2.2'de belirtilmektedir.



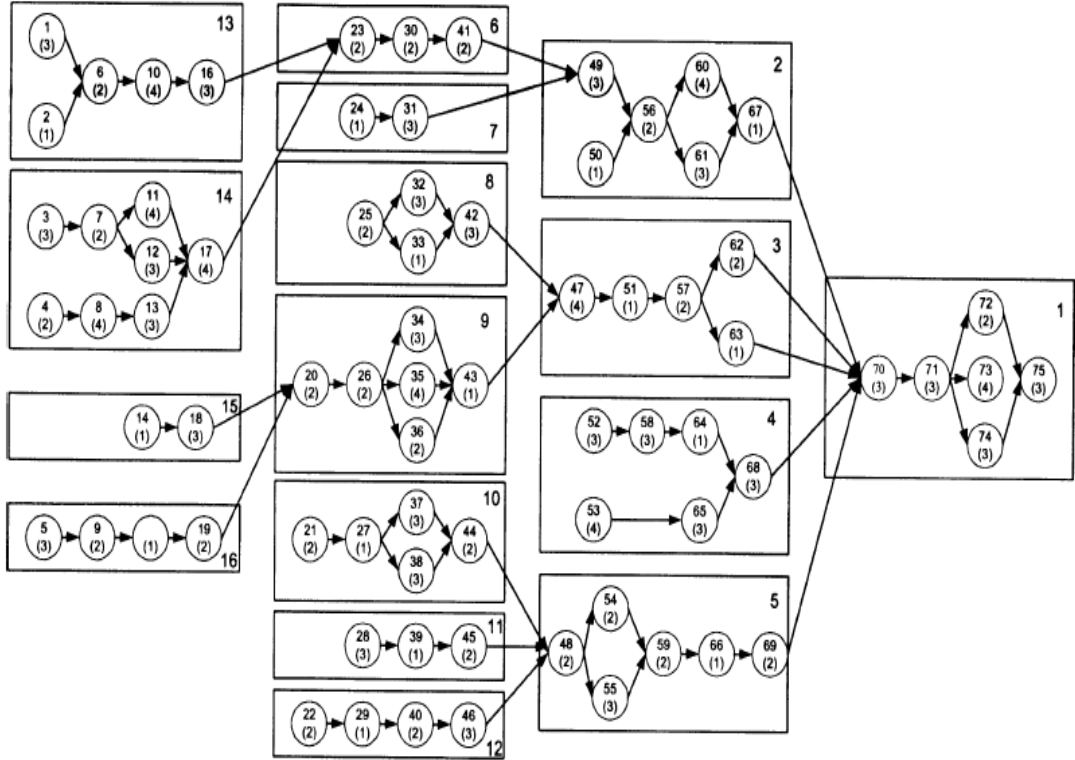
Şekil 2.2: TÇEM Sistem Karakteristiklerinin Hedeflere Olan Etkileri (Bukchin ve Masin, 2003)

2.3. Takım Çalışması Esaslı Montaj Sistemlerinin Örnekler Üzerinde İncelenmesi

Takım çalışması esaslı montaj sistemlerini ilgili 2 örnek üzerinde inceleyelim.

Örnek 2.1

Şekildeki ürün ağacı verilen bir üretim sisteminin TÇEM'e (Takım Çalışması Esaslı Montaj) göre tasarlanmış halini inceleyelim. Bu örnekte verilen ürünün, tüm iş öğelerinin öncelik diyagramları Şekil 2.3'teki gibidir.



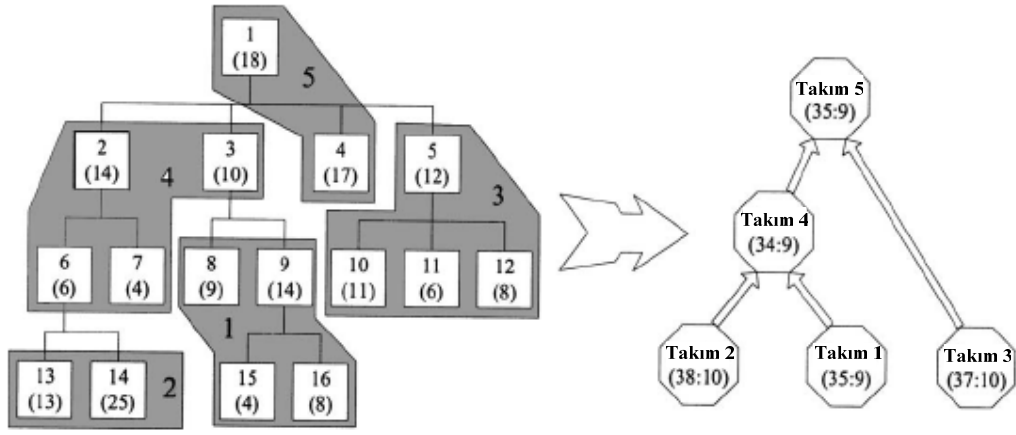
Şekil 2.3: Örnek 2.1 için İş Öğeleri Öncelik Diyagramı (Bukchin ve Masin, 2003)

Şekil 2.3'te takımlar oluşturulmadan önceki montaj sisteminin durumu görülmektedir. Bu sistemde çevrim süresi 4 zb ve sırası ile maksimum ve minimum çalışan sayısı 7 ile 10 arasında değişmektedir. Bu durumda her takıma atanması gereken işlerin süreleri maksimum 40 zb ve minimum 28 zb olmalıdır.

$$\text{Minimum} = 7 \cdot 4 = 28 \text{ zb}$$

$$\text{Maksimum} = 10 \cdot 4 = 40 \text{ zb}$$

Şekil 2.4'te ise, takım esaslı tasarımın uygun bir çözümü görülmektedir. Takımlar oluşturulurken, takımların numaralandırılması, takımların yaptığı işlerin öncül ve artçılıklarına dikkat edilerek edilerek yapılmıştır.



Şekil 2.4: Örnek 2.1’de Takım Oluşturulması (Bukchin ve Masin, 2004)

Tablo 2.2: Takımlara Atanan İşler

Takımlar	Takıma Verilen İşler	Takım Öncülleri	Takım Artçıları
Takım 1	15, 16, 9, 8	-	T4
Takım 2	14, 13	-	T4
Takım 3	12, 11, 10, 5	-	T5
Takım 4	7, 6, 3, 2	T1-T2	T5
Takım 5	4, 1	T3-T4	-

Takım 4’ü inceleyelim.

Takım 4’e 7, 6, 3 ve 2 no’lu iş istasyonları atanmıştır. Bu iş öğelerinin süreleri Tablo 2.3’teki gibidir.

Tablo 2.3: Takım-4’e Atanan İş İstasyonları ve İşlem Süreleri

İş İstasyonları	İşlem Süresi
7	4
6	6
3	10
2	14

Burada, her takıma atanan işlerin toplam süresi, 28 ile 40 arasında olması gerektiğinden,

$$4+6+10+14 = 34 \text{ zb olur.}$$

Şekilde takımların altında parantez içindeki ilk sayılar o takımın işlem süresini göstermektedir. İkinci sayılar ise o takıma atanan çalışanların sayısını göstermektedir.

Takım 4 için (34:9) değerleri, 34 işlem süresini göstermektedir. Bu değer nasıl bulunduğu yukarıda gösterilmiştir. 9 değeri ise Takım 4'e atanan çalışan sayısını göstermektedir. Takıma atanan çalışan sayıları ise şöyle hesaplanır.

Takımdaki çalışan sayısı = Takımdaki işlerin süreleri toplamı / Çevrim süresi **(2.1)**

Takım 4 için çalışan sayısı = $\frac{34}{4} \approx 9$ olarak bulunur.

Takımların oluşturulmasından sonra oluşan sistemde bağlantı sayısı 4'tür, Bunlar; 2-4, 3-4, 3-5, 4-5'tir.

Oluşan yeni sistemde akış süresi (İng: flowtime), en uzun yol olan 2, 4 ve 5 takımlarının süreleri toplamına eşittir. Yani $38 + 34 + 35 = 107$ zb'dir.

Bu montaj sistemi Tablo 2.4'teki gibi sezgisel (İng: heuristic) yöntemlere göre tasarlanırsa üretim süresi 179 zb olmaktadır ve bu değer takım esaslı tasarımda bulunan 107 zb değerinden oldukça yüksektir.

Tablo 2.4: Klasik Yönteme Göre Düzenleme (Bukchin ve Masin, 2004)

İstasyon No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
İşlem	1,2	3	4	5	6,7	8	9,21	10	11	12	13,14	14	17
İstasyon No	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
İşlem	18	19,2	22,23	24,28	25,26	27,31	29,32	30,36	33,34	35	37	38,39	40,41
İstasyon No	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
İşlem	42,4	44,4	46	47	48,5	49,5	51,5	53	55	56,5	58	59,6	60
İstasyon No	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49			
İşlem	61,63	64,65	66,68	67,69	70	71	72	73	74	75			

Çevrim süresi 4 zb olduğunu düşündüğümüz zaman, 49 istasyonla bu tasarımı gerçekleştirmiş oluruz.

Örnek 2.2

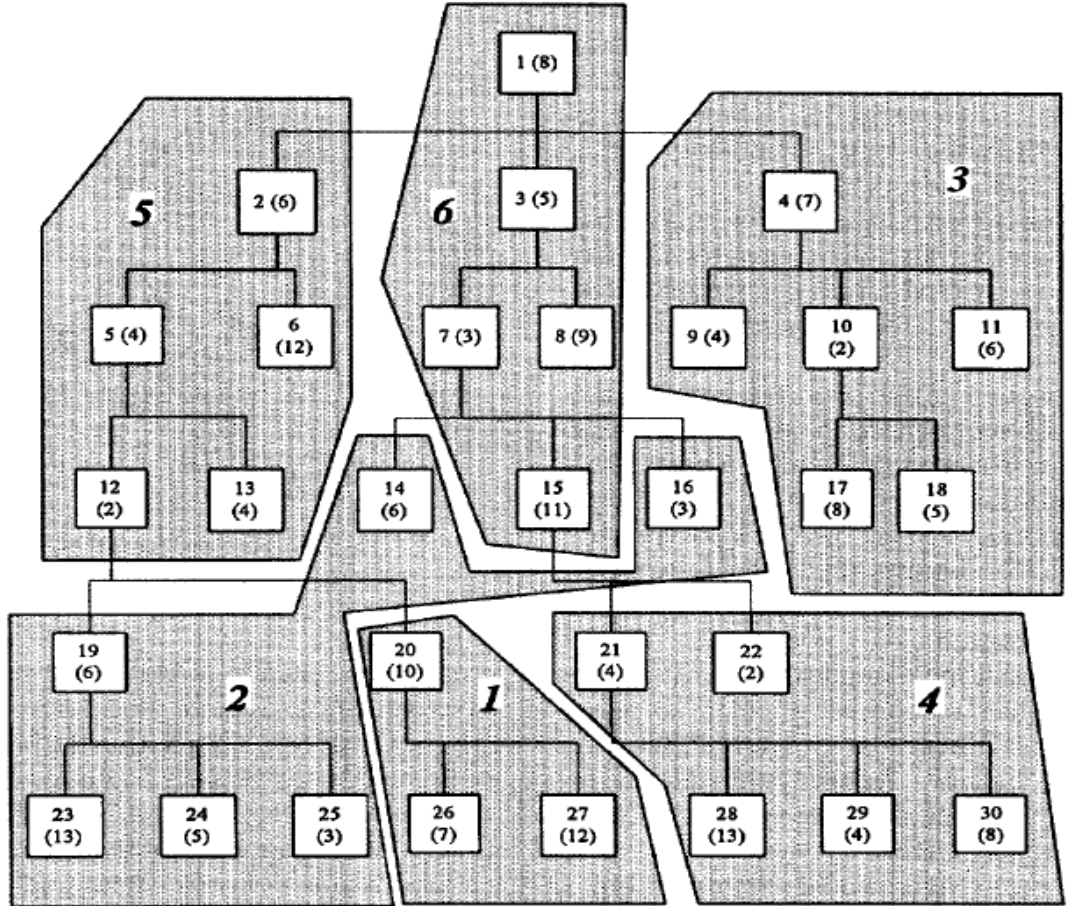
Çevrim süresi 3 zb olan bir üretim aşaması aşağıdaki gibidir. Takım büyüklüğü 8 ile 12 çalışan arasındadır. Bu durumda takım süresi kapasitesi;

$$3*8 = 24 \text{ zb}$$

$$3*12 = 36 \text{ zb}$$

olarak bulunur.

Montaj sisteminin verimliği çalışanların sayısına bağlıdır. Tasarım amaçlarından biride verimliği arttırmak için, kısıtları göz önünde bulundurarak (çevrim süresi gibi) çalışan sayısını azaltmaktır.



Şekil 2.5: Örnek 2.2'de Takım Oluşturulması (Bukchin ve Masin, 1997)

Şekil 2.5'te işler takımlara atanması yapılmış şekliyle görülmektedir. Her parçanın süresi parantez içinde verilmiştir.

Toplam 6 takıma atama yapılmıştır. Toplam takım sayısının iki önemi vardır. Birincisi, takım sayısı ne kadar fazla olursa sistemin karmaşıklığı da o derece fazla olacaktır. İkincisi ise sistemin denge kaybını azaltmaktır. Takım sayısının fazla olması sistem dengesine bozucu etki yapmaktadır.

Komple Alt Montaj Sayısı (İng: complete sub-assembly): Alt montajların tamamı aynı takımdan tarafından gerçekleştirilen parça sayısıdır.

Komple alt montaj sayısı bu örnek için 5 parçadır. Bunlar, 4, 10, 19, 20, 21'dir.

Ardışık Alt Montaj Sayısı (İng: immediate sub-assembly): Bir önceki alt montaj parçaları aynı takım tarafından gerçekleştirilen parça sayısı. Ardışık alt montaj sayısı, komple alt montaj sayısını da içermektedir.

Ardışık alt montaj sayısı bu örnek için 8 parçadır.. Bunların 5 tanesi komple alt montajdır. Ardışık alt montajlar; 2, 3, 4, 5, 10, 19, 20, 21'dir.

Komple alt montaj sayısı ve ardışık alt montaj sayısının yüksek olması takımlar arası yarı mamul taşımalarını aza indirmesi nedeniyle takım çalışması esaslı montaj hatlarında istenilen bir durumdur.

Takımlar arasında 6 tane bağlantı vardır. Bunlar; 1-5, 2-5, 2-6, 3-6, 4-6, 5-6'dır.

Takımlar arasındaki bağlantı sayısının artması, karmaşık bir nakletme sistemine ihtiyaç olduğuna işaret eder. Çok fazla sayıdaki bağlantı, takım özerkliğini de azaltır. Çünkü bir çok alt montaj grubu, birden fazla takım tarafından ele alınır. Takımlar arası toplam bağlantı sayısı sistemin karmaşıklığını artırır. Fazla bağlantı olması bir alt montajın birden fazla takımın gerçekleştirdiğine işaret eder. Böyle bir durum takım otonomisini bozabilir ve karmaşık malzeme taşıma sistemleri kurmak gerekebilir.

Akış süresi kritik yoldaki takımların süreleri toplamına eşittir. Bu örnekte kritik takımlar; 2, 5 ve 6'dır. Bu durumda;

Akış süresi = $36 + 28 + 36 = 100$ zb olarak bulunur.

Aynı kısıt ve girdiler sağlandığı zaman, klasik yöntemlerle montaj süresi 192 zb olarak bulunur. Fakat takım çalışması esaslı montaj sistemi ile bu değer neredeyse yarıya indirilmiştir.

Akış süresinin kısılması, müşteriye hızlı dönme ve yarı mamul envanterinin azalması yönünden önemlidir. Aynı zamanda sistem değişkenliğinin de azalmasına neden olur.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması

Montaj hatları, kalifiye işgücüne gerek olmadan karmaşık yapıdaki ürünlerin montajını mümkün kıldığından, kitlesel üretimde yaygın olarak kullanılmıştır. Son kırk yıldan beri montaj hatları, üretim yönetimi alanındaki araştırmaların ilgi odağı olmuştur. Bu yüzden montaj hatları ile ilgili literatür oldukça geniştir.

3.1.1. Tek Modelli Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması

Yapılan tez çalışması, karma modelli montaj hatlarının takım çalışması esaslı tasarımı ile ilgili olduğundan ve son yıllarda genellikle karma modelli montaj hatları ile ilgili çalışmalar yapıldığından bu bölümde belli başlı tek modelli montaj hattı dengeleme çalışmalarından bahsedilecektir.

Salveson (1955)'un geliştirdiği lineer programlama modeli, montaj hattı dengeleme konusunda yapılmış ilk çalışmadır. Geliştirilen model, tüm olası istasyon atamalarını kapsar.

Bowman (1960), tek modelli montaj hattı dengeleme problemini tamsayılı programlama ile çözmüştür. Çalışmanın amacı, istasyon sayısının en küçüklenmesidir. Modelde yer alan “bölünmezlik” kısıdı problemin tamsayılı programlama modeli geliştirilerek çözülmesi ile elde edilmiştir.

Helgeson ve Birnie (1961)'nin geliştirdikleri “Konum Ağırlıklı dengeleme Tekniği”, montaj hattı dengeleme metotları arasında oldukça yaygın kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde, her iş ögesine kendi süresi ve o iş ögesi bitirilmeden başlanılamayacak iş ögelerinin süreleri dikkate alınarak “konum ağırlığı” olarak adlandırılan bir değer atanır. Dengeleme sırasında, iş ögeleri azalan sıraya göre dizilerek, atamaların çevrim süresi ve öncelik kısıtları dahilinde bu sırada yapılmasına çalışılır.

Kilbridge ve Wester (1961), işleri öncelik diyagramında sütunlarda gruplayan bir metot geliştirmiştir. Bu yöntemde işler, öncelik diyagramında öncelik kısıtlarını sağlayacak şekilde mümkün olduğunca sağa kaydırılır. Elde edilen başlangıç çözümü, iş ögesi transferleriyle iyileştirilerek nihai çözüm elde edilir.

Moodie ve Young (1965), tek modellenli montaj hattı dengeleme problemine yönelik iki adımlı döngüsel bir metot geliştirmiştir. İlk adımda öncelik kısıdını sağlayan işler, işlem süresine göre (en uzun süreli iş birinci önceliğe sahiptir.) istasyonlara çevrim süresi kısıdına göre atanarak bir başlangıç çözümü bulunur. İkinci adımda ise, işlerin yerleri değiştirilerek istasyonlardaki aylak süreler azaltılır ve her istasyona düzgün olarak dağıtılır.

Sabuncuoglu ve diğ. (2000)'nin geliştirdiği kromozom yapısının özgün oluğu genetik algoritma, deterministik tek modellenli montaj hattı dengeleme problemine yöneliktir. Yapılan çalışma, genetik algoritmalaradaki kromozom yapısının çözüm aralığında etkin taramalar yapabilmek için dinamik olarak değiştirilebileceğini göstermiştir. Kullanılan uygunluk fonksiyonu, istasyonlar arası iş yükü dengesinin sağlanması ve istasyon sayısının en küçüklenmesi olmak üzere iki amaca sahiptir. Ayrıca çalışmada, tavlama benzetimi metodundan esinlenilerek yeni bir seçim yapısı geliştirilmiştir.

3.1.2. Karma Modelli Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması

Değişen pazar şartlarında, müşteriye özel ürünlere talep artmıştır. Bu durum da üretim esnekliğine olan gereksinimi doğurmuştur. Sonuç olarak, tek modellenli montaj hatları yerini bir ürünün benzer modellerinin eş zamanlı montajını sağlayan karma modellenli montaj hatlarına bırakmıştır. Bu yüzden karma modellenli montaj hatlarını konu alan çalışma sayısı oldukça fazladır.

Thomopoulos (1967), tek modellenli montaj hattı dengeleme tekniklerini karma modellenli çizelgelere uyarlayan bir yöntem geliştirmiştir. Yazarın geliştirdiği metot, işleri işgörenlere çevrim süresi yerine vardiya süresini esas alarak atamaktır. Yöntemin amacı, aylak süre ve istasyon aşım süresinin en küçüklenmesidir.

Thomopoulos (1970), model bazında iş yükü açısından daha düzgün sonuçlar veren atamalar yapabilmek için grup halindeki montaj süreçlerine uygun bir dengeleme metodu sunmuştur. Yazar, iş yükü bazında düzgün istasyon atamalarında üç amaç belirlemiştir. Bunlar; öncelik kısıtlarına uygunluk, çevrim sürelerine yakın istasyon süreleri ve tüm istasyonlara atanan iş sürelerinin her modelde birbirine yakın olmasıdır.

Macaskill (1972), büyük ölçekli montaj hattı dengeleme problemlerinde çözüme kısa sürede ulaşan bir metot sunmuştur. Metot, kabul edilebilir etkinliğe ulaşmakla

beraber, modellerdeki iş süreleri istasyonlara eşit olarak dağıtılmaktadır. Ayrıca, ürün karması değişikçe iş atamaları da değişmektedir.

Chakravarty ve Shtub (1985), hazırlık, işgücü ve envanter maliyetini dikkate alan ara stoklu karma modelli montaj hatlarına yönelik en kısa yol formülasyonuna ek olarak bir de tek geçişli sezgisel metot geliştirmiştir. Farklı modellerdeki öncelik ilişkilerini birleşik öncelik diyagramına yansıtmıştır. Birleşik öncelik diyagramı çok basamaklı envanter maliyeti bazında seri sisteme çevrilmiştir. Seri sistem en kısa yol algoritmasıyla çözülmüştür.

Silverman ve Carter (1991), stokastik iş süreli karma modelli montaj hattı dengeleme probleminde, deterministik durumdaki işlem maliyetlerinin yanında çevrim süresinin aşılma durumunda ortaya çıkan maliyetleri de göz önünde bulundurmışlardır. Geliştirilen sezgisel algoritma, bu toplam maliyetin en küçüklenmesine yöneliktir.

Gokcen ve Erel (1997), karma modelli montaj hattı dengeleme problemine yönelik hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model, çevrim süresi, istasyon sayısı ve aynı istasyona atanmaması istenen işlerle ilgili değişik önceliklere sahip amaçlar içermektedir.

McMullen ve Frazier (1997), stokastik iş süreli paralel istasyonlar içeren karma modelli montaj hattı dengeleme probleminin çözümüne yönelik sezgisel bir metot geliştirmişlerdir. Yapılan çalışma, önceden yapılmış benzer çalışmalarını kullanmakla birlikte istasyonlara yapılan iş atamalarında yeni ve eski seçim kurallarını kullanır.

Gökçen ve Erel (1998), karma modelli montaj hattı dengeleme problemini tamsayı programlama modeli ile çözmüşlerdir. Bir işin atanabileceği en erken ve en geç istasyonun belirlenmesi, modeldeki değişken sayısının artışı engelleyenmektedir.

Erel ve Gökçen (1999), birleşik öncelik diyagramının kullanıldığı karma modelli hatlara yönelik yeni bir en kısa yol formülasyonu sunmuşlardır. Modellerdeki ortak işlerin aynı istasyonlara atanması ve hat tasarımcısı tarafından konulabilen kısıtlar model boyutundaki artışı frenlemektedir.

Askin ve Zhou (1999)'ya göre paralel istasyon açılması kararı verilirken donanım ve teçhizat maliyeti ve denge kaybının yol açtığı maliyet beraber göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda iyi fizibil çözümlere çabuk ulaşan sezgisel bir metot

geliştirmişlerdir. Sezgisel metot, paralel istasyon sayısında kısıt taşımamakla birlikte, hat etkinliği oranında eşik değeri kullanır.

Merengo ve diğ. (1999), işgücü hâkim karma modelli montaj hatlarına yönelik geliştirmiş oldukları algoritmada tamamlanamayan işlerin oranının en küçüklenmesini dolayısıyla ara stokların azaltılmasını amaçlamışlardır. Yapılan çalışma, edinilen amaç olarak **Thomopoulos (1970)**'un iş yükü düzgünleştirme amacı ile oldukça örtüşmektedir. Yazarlar, montaj hattı dengelemedeki amaçlarını yatay dengeleme ve dikey dengeleme olarak ayırarak gerçekleştirmeye çalışmışlardır.

Liu ve Chen (2002)'in oluşturduğu karma tamsayı programlama modeli istenilen işlem maliyeti çerçevesinde çevrim süresi ve istasyon sayısında optimum çözüme ulaşmaktadır. Ayrıca, çalışmada işlem değişkenliği, tampon stok miktarı, palet sayısı ve paralel akış hattının kapasitesinin belirlenmesinde kullanılabilecek bir benzetim modeli ve insan-makine arayüzü mevcuttur.

Vilarinho ve Simaria (2002)'nin geliştirdiği matematiksel programlama modeli belirli çevrim süresinde istasyon sayısı en küçüklenmesine yöneliktir. Modelde paralel istasyon kullanımı ve aynı istasyona atanması veya atanmaması istenen işlerle ilgili kısıtlar mevcuttur. Çalışmadaki ikinci amaç ise istasyonlar arası ve istasyon içi (model bazında) iş yüklerinin düzgünleştirilmesidir. Ayrıca, yazarlar, modelin karmaşıklığı nedeniyle tavlama benzetimi algoritmasını kullanan iki adımlı sezgisel bir metot da geliştirmişlerdir.

Bukchin ve diğ. (2002)'nin çalışması “Siparişe göre üret” düşüncesinin hakim olduğu ortamlarda montaj hattı tasarımı ile ilgilidir. Yapılan çalışmada üç adımlı sezgisel bir metot geliştirilmiştir. İlk adımda birleşik öncelik diyagramına göre dengeleme yapılırken, ikinci adımda model bazında kısıtlar dikkate alınarak dengeleme yapılır. Son adım ise ikinci adımda elde edilen çözümün geliştirmesi ile ilgilidir.

Karabatı ve Sayın (2003) eş zamanlı parça transferleri ve iş atamaları arasındaki etkileşimi vurgulamıştır. Ayrıca, en büyük alt çevrim süresini en küçükleyen sezgisel bir algoritma da geliştirmişlerdir. Geliştirilen dengeleme algoritması, sıralama verisini kullanmaktadır.

Simaria ve Vilarinho (2004)'nin geliştirdiği matematiksel programlama modeli belirli çevrim süresinde istasyon sayısı en küçüklemektedir. Modelde paralel istasyon kullanımı ve aynı istasyona atanması veya atanmaması istenen işlerle ilgili kısıtlar mevcuttur. İstasyonlar arası ve istasyon içi (model bazında) iş yüklerinin düzgünleştirilmesi, çalışmadaki ikincil amaçtır. Ayrıca, yazarlar, modelin karmaşıklığı nedeniyle genetik algoritması tabanlı bir metot da geliştirmişlerdir.

3.1.3. U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması

Günümüzde pek çok firma Tam Zamanında Üretim Sistemi'ni benimsemiştir. Tam Zamanında Üretim uygulamalarının getirdiği en önemli değişiklerden biri de düz montaj hatlarının yerine U tipi montaj hatlarının kullanılmaya başlanmasıdır. U tipi hatlar, düz hatlara kıyasla şu faydaları sağlar: gereksiz operatör hareketlerinin eliminasyonu, ara stokların azaltılması, verimlilik artışı, sıfır hata uygulamalarının kolaylaştırılması, işgücü planlamasında talep değişkenliği ortamında esnekliğin artırılması ve malzeme taşıma faaliyetlerinin etkin hale getirilmesi. U tipi montaj hatları ile ilgili literatür geniş olmamakla birlikte, zamanla içeriği artmaktadır.

Urban (1998), U tipi montaj hattı dengeleme probleminin optimal çözümüne ulaşmak için tamsayı programlama modeli geliştirmiştir. Yazar “hayali öncelik diyagramı” kavramını ortaya çıkarmış ve bunu gerçek öncelik diyagramına eklemiştir. İşlerin, belirli istasyonlara atanmasını temsil eden değişkenlerin eliminasyonu modelin boyutunu küçülmüştür.

Sparling ve Miltenburg (1998), U tipi karma modellenli montaj hatları için sezgisel bir metot geliştirmişlerdir. Algoritma dört adımlıdır. İlk iki adım, karma modellenli problemi tek modellenli probleme dönüştürürken, üçüncü adım, optimal çözümü bulur. Son adım ise istasyonlar arası iş yükü düzgünlüğünü sağlar.

Miltenburg (1998), muhtelif U tipi hatlardan oluşan çok hatlı istasyonların yer aldığı U tipi yerleşimleri için dinamik programlama formülasyonu geliştirmiştir. Dinamik programlama modeli, U hattı sayısı ile ilgili kısıt taşımamakla birlikte, 22 iş öğesinden az, öncelik ilişkilerinin fazla olmadığı hatlar için uygundur.

Kim ve diğ. (2000) karma modellenli U-tipi montaj hatlarında dengeleme ve sıralamaya yönelik evrimsel bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma entegre kromozom yapısı sayesinde dengeleme ve sıralamayı aynı anda yapabilmektedir. Çalışmada yerel etkileşim, denge durumu üremesi, eşey seçim metotları ve istasyon iş yükleri

arasındaki sapmanın en küçüklenmesine yönelik uygunluk değerlendirmesi mevcuttur.

Erel ve diğ. (2001)'nin geliştirdiği tavlama benzetimi tabanlı sezgisel algoritma, U-tipi karma modellenli montaj hattı dengeleme problemini çözmeye çalışır. Algoritmanın çözüm üreticisi modülü ve tavlama benzetimi modülü olmak üzere iki modülü vardır. İlk modül istasyon en küçüklenmesine yönelik çevrim süresini dikkate almayan çözüm üretirken, ikinci modül, bu çözümü uygun atamalarla fizibil hale getirir.

Chiang ve Urban (2005)'in U-tipi montaj hatlarına yönelik olarak geliştirdikleri sezgisel metot, başlangıç çözüm modülü ve çözüm iyileştirme modülü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Geliştirilen metot, 111 iş ögeli montaj hattı dengeleme problemlerinde bile istasyon sayısı açısından optimal veya optimale yakın çözümlere kısa işlemci sürelerinde ulaşmıştır.

Gökçen ve Ağpak (2006)'in geliştirdikleri hedef programlama modeli, Urban (1998)'in tamsayılı programlama modelini esas alır. Geliştirilen model birbiriyle çelişen öncelikli amaçları (çevrim süresi amacı, istasyon sayısı amacı, istasyon iş yükü amacı) aynı anda göz önünde bulundurduğundan karar vericiye yönelik esnekliğin artmasını sağlar.

Kim ve diğ. (2006) U tipi montaj hattı sıralama ve dengeleme problemlerini geliştirdikleri endosimbiyotik algoritma ile bütünleştirmiştir. Algoritmanın amacı istasyonlar arası iş yükü düzgünleştirmedir. Algoritma, endosimbiyotiklerin doğal evrim sürecinin ökaryot hücrelerin evrim süreciyle birleştirilerek mevcut simbiyotik algoritmalara uyarlanması fikrinden yola çıkmıştır. Algoritma, kısmi çözümleri tarayarak ideal denge sonuçlarına varmış olup, taramayı bütün çözümlerle ilave endosimbiyotik popülasyonu vasıtasıyla entegre etmiştir. Ayrıca, endosimbiyotikler, mevcut simbiyotik algoritmalara nazaran daha kalıcı birey adaptasyonları sağlamaktadır. Algoritmanın yerelliği, popülasyon çeşitliliğini üzerinde olumlu etki sahibi olmakla beraber, netice itibarıyla tarama etkinliğini arttırmaktadır.

3.1.4. Takım Çalışması Esaslı Montaj Hattı Dengeleme ile İlgili Literatür Araştırması

Müşteri gereksinimlerinin artması ve müşterinin yüksek kalite beklentileri ürün pazarındaki rekabeti yükseltmiştir. Ayrıca, günümüzde sosyoekonomik şartlar gelişmiş, işgörenler iş memnuniyeti unsuruna daha fazla önem vermeye başlamıştır.

Tüm bu unsurlar klasik montaj hatlarının düşük kalite, iş memnuniyetinin azlığı, yüksek miktarlarda ara stoklar ve yüksek malzeme taşıma maliyeti gibi dezavantajlarını açığa çıkarmıştır. Takım çalışması esaslı montaj sistemleri bu dezavantajları gidermek için günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. Buna rağmen, bu konuyla ilgili literatürde çok az çalışma mevcuttur.

Johnson (1991), işgücü maliyetlerinin, takım sayısı ve sadece tek bir takıma atanabilen işlerin yüzdesiyle arttığını savunmuştur. Bu bağlamda, yeni bir dal-sınır algoritması geliştirmiş ve ileri sürdüğü hususları doğrulayan sonuçları elde etmek için algoritmayı test etmiştir.

Bukchin ve Masin (2004), ürün ağacı verisi gerektiren çok amaçlı takım çalışması esaslı montaj hattı tasarım sistemi fikri üzerinde durmuşlardır. Çalışmanın amaçları, ürün ağacındaki bileşenlerin mümkün olduğunca alt bileşenleriyle aynı takıma atanması, akış süresinin en küçüklenmesi, akımlar arası bağlantı sayısının en küçüklenmesi ve takım sayısının en küçüklenmesidir. Geliştirdikleri optimal metot, dönüşlü dal-sınır algoritması yapısındadır. Büyük boyuttaki problemler için ise optimal metodu kullanan sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.

Montaj hattı dengeleme literatürü hakkında yorum yapabilmek amacı ile konu dahilindeki yirmi yedi makalenin özellikleri incelenerek literatür matrisleri oluşturulmuştur. Matrislerin yapısının yalın olması, literatürdeki eğilimlerin kolayca anlaşılmasını sağlamaktadır. Tablo 3.1'de montaj hattı dengeleme literatürü için geliştirilen matris görülmektedir.

Tablo 3.1: Montaj Hattı Dengeleme Literatürü Matrisi (1)

MONTAJ HATTI DENGELEME	HAT ÖZELLİĞİ					HAT TİPİ	AMAÇ										TAKIM ÇALIŞMASI		YATAY VE DİKEY DENGELEME	
	TMD	TMS	KMD	KMS	D		U	ÇSEK	İSEK	OMEK	EMEK	TMEK	DEEB	İYD	ASEK	Dİ	E	H	E	H
Askin ve Zhou (1997)			X			X			X	X							X		X	
Bukchin ve diğ. (2002)			X			X		X									X		X	
Bukchin ve Masin (2004)	X					X									X ¹	X			X	
Chakravarty ve Shtub (1985)				X	X					X							X		X	
Chiang ve Urban (2005)		X				X		X									X		X	
Erel ve diğ. (2001)			X			X		X									X		X	
Erel ve Gokcen (1999)			X			X		X									X		X	
Gökçen ve Ağpak (2006)	X					X	X	X							X ²		X		X	
Gökçen ve Erel (1997)			X			X	X	X							X ³		X		X	
Gökçen ve Erel (1998)			X			X	X	X									X		X	
Johson (1991)	X					X		X								X			X	
Karabatı ve Sayın (2003)			X			X	X										X		X	
Kim ve diğ. (2000)			X			X							X				X		X	
Kim ve diğ. (2006)			X			X							X				X		X	
Liu ve Chen (2002)			X			X	X	X									X		X	
Macaskill (1972)			X			X											X		X	
McMullen ve Frazier (1997)				X	X										X ⁴		X		X	
Merengo ve diğ. (1999)			X			X		X					X		X ⁵		X	X	X	
Miltenburg (1998)			X			X		X						X			X		X	
Sabancıoğlu ve diğ. (2000)	X					X		X					X				X		X	
Silverman ve Carter (1986)				X	X					X							X		X	
Simaria ve Vilarinho (2004)			X			X	X										X		X	
Sparling ve Miltenburg (1998)			X			X		X					X				X	X	X	
Thomopoulos (1967)			X			X							X		X ⁶		X		X	
Thomopoulos (1970)			X			X							X				X		X	
Urban (1998)	X					X		X									X		X	
Vilarinho ve Simaria (2002)			X			X							X				X	X	X	
Toplam: 27	5	1	18	3	19	8	5	15	1	1	2	2	8	1	6	2	25	3	24	
	1 ürün ağacındaki bileşenlerin mümkün olduğunca alt bileşenleriyle aynı takima atanması, akış süresinin en küçüklenmesi,																			
	2 takımlar arası bağlantı sayısının en küçüklenmesi, takım sayısı en küçüklenmesi																			
	3 istasyona atanan maksimum iş sayısının belirli bir sınırı geçmemesi																			
	4 belirli işlerin aynı istasyona atanmaması																			
	5 işlerin tam zamanında bitirilmesi olasılığının en büyüklenmesi																			
	6 tamamlanmayan parça oranının en küçüklenmesidir																			
	7 aylık süreler ve istasyon aşım sürelerinden doğan toplam maliyetin en küçüklenmesi																			

Tablo 3.1'e bakıldığında, özellikle son yıllarda, karma modelli montaj hatları, tek modelli montaj hatlarına göre daha sıklıkla incelendiği anlaşılmaktadır. Buna ek olarak, makalelerin çoğunda deterministik iş süreleri kullanılmıştır. Hat tipi açısından olaya bakıldığında U tipi hatlarla ilgili literatürün geniş olmadığı ve düz hatların yanında geçmişinin uzun yıllara dayanmadığı görülmektedir. İstasyon sayısının en küçüklenmesi, montaj hattı dengeleme metotlarında en çok benimsenen amaçtır. Çevrim süresinin en küçüklenmesi ve iş yükü düzgünleştirme amaçları da montaj hattı dengeleme metotlarında sıkça kullanılan diğer amaçlardır. Çeşitli maliyetlerin (işlem maliyeti, donanım maliyeti, vb.) en küçüklenmesine yönelik montaj hattı dengeleme metotları da literatürde mevcuttur. Ayrıca, çok amaçlı montaj hattı dengeleme metotlarının sayısında artış mevcuttur. Yayımlanan çok az sayıdaki çalışma montaj hattı tasarımında takım çalışması yaklaşımını benimsemiştir. Bu nedenle montaj hattı ve takım çalışması konularının kesişimindeki literatür oldukça dardır. Takım çalışmasında olduğu gibi, yatay ve dikey dengeleme kavramlarının kullanıldığı çalışma sayısı yok denecek kadar azdır.

Tablo 3.2: Montaj Hattı Dengeleme Literatürü Matrisi (2)

MONTAJ HATTI DENGELEME	KULLANILAN YÖNTEM			PARALEL İSTASYONLAR		SIRALAMA YÖNTEMİ		GERÇEK VERİLERLE UYGULAMA	
	S	OP	DSE	E	H	E	H	E	H
Askin ve Zhou (1997)	X			X			X		X
Bukchin ve diğ. (2002)	X				X		X		X
Bukchin ve Masin (2004)	X	X			X		X		X
Chakravarty ve Shtub (1985)	X	X			X		X		X
Chiang ve Urban (2005)	X				X		X		X
Erel ve diğ. (2001)			X ^a		X		X		X
Erel ve Gokcen (1999)		X			X		X		X
Gökçen ve Ağpak (2006)		X			X		X		X
Gökçen ve Erel (1997)		X			X		X		X
Gökçen ve Erel (1998)		X			X		X		X
Johnson (1991)		X			X		X		X
Karabatı ve Sayın (2003)	X				X		X		X
Kim ve diğ. (2000)			X ^b		X	X			X
Kim ve diğ. (2006)			X ^b		X	X			X
Liu ve Chen (2002)		X			X		X	X	
Macaskill (1972)	X				X		X	X	
McMullen ve Frazier (1997)	X			X			X		X
Merengo ve diğ. (1999)	X				X	X			X
Miltenburg (1998)		X			X		X		X
Sabuncuoğlu ve diğ. (2000)	X				X		X		X
Silverman ve Carter (1986)	X				X		X		X
Simaria ve Vilarinho (2004)			X ^b	X			X		X
Sparling ve Miltenburg (1998)	X				X		X		X
Thomopoulos (1967)	X				X	X		X	
Thomopoulos (1970)	X				X		X		X
Urban (1998)		X			X		X		X
Vilarinho ve Simaria (2002)			X ^a	X			X		X
Toplam: 27	14	10	5	4	23	4	23	3	24
a) tavlama benzetimi									
b) genetik algoritma									

Montaj hattı dengeleme probleminin karmaşıklığından dolayı bu konuyla ilgili çalışmalarda çözüm yöntemi olarak daha çok sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Ayrıca ileri sezgisel yöntemlerin (tavlama benzetimi, genetik algoritma) kullanıldığı çalışma sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Paralel istasyon kullanımı da literatürde seyrek olarak uygulanan bir unsurdur. Bunun nedeni ise paralel istasyon açmanın getirdiği artan donanım maliyetidir. Karma modelli montaj hattı dengeleme ve sıralama problemleri birbiriyle yakın ilişkilidir. Sıralama problemlerinin optimalliği yine sıralamadan etkilenen hat dengelemeye bağlıdır. Buna rağmen bu iki problemin bütünleştirildiği çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bunların yanı sıra, montaj hattı dengeleme çalışmalarından pek azı gerçek verilerle uygulama içermektedir. Bu

unsur, geliştirilen metodun pratikliğinin göstergesidir. Bu açıdan bakıldığında, geliştirilen montaj hattı dengeleme metotları endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamaktan uzaktır.

3.2. Montaj Hattında Model Sıralama ile İlgili Literatür Araştırması

Sıralama problemleri, karma modellenli montaj hatlarının etkin kullanımı için büyük önem taşır. Hat etkinliği hususunda model sıralarını değerlendirmek için kullanılan kriter sayısı oldukça fazladır.

Thomopoulos (1967), dengeleme metoduna ek olarak bir de sıralama metodu geliştirmiştir. Geliştirilen metot, her pozisyon için bütün modellerin hat etkinliğini azaltıcı faktörlerinin (istasyon aşım süresi, aylak süre, vb.) maliyetini bulur. Her pozisyon için, o pozisyonda en düşük maliyetli model seçilir.

Aigbedo ve Monden (1997)'in geliştirdikleri metot, Tam Zamanında Üretim ortamında çok kriterli sıralama üzerinde durmuştur. Yazarlar çalışmada, literatürde daha önce adı geçen parça ve yan montaj kullanımını düzgünleştirme, ürün yükü düzgünleştirme, ürün oranı değişimini düzgünleştirme gibi kriterlerin yanında bir de yan montaj yükü düzgünleştirme isimli bir kriter daha kullanmıştır. Bu son kriter, son montaj hattında kullanılan parçaların çok modellenli yapıda üretilmeleri ve montaj sürelerinin farklılık göstermesi durumunda önem kazanmaktadır. Geliştirilen metot, adım adım mümkün olduğunca çok sayıda amacı sağlayan ürünü arar. Nihai sıralamanın belirlenmesinde ise iki çeşit karar kuralı kullanılmıştır.

Hyun ve diğ. (1998) çok amaçlı sıralama probleminde Pareto optimumuna yakın çeşitli çözümler üreten genetik bir algoritma geliştirmişlerdir. Önerilen algoritmanın amaçları, istasyon süresini aşan iş süresinin en küçüklenmesi, düzgün parça kullanımı ve toplam hazırlık maliyetinin en küçüklenmesidir. Algoritmada yeni bir değerlendirme ve seçim yöntemi (Pareto stratum-niche cubicle) kullanılmıştır. Sıralamada kullanılan amaçların matematiksel açıklamaları ve geliştirilen genetik algoritmanın makalede mevcut üç adet genetik algoritmayla yapılan performans karşılaştırması göstermiştir ki; geliştirilen genetik algoritma, karşılaştırıldığı üç genetik algoritmadan çözüm çeşitliliği ve kalitesi yönünden daha iyi sonuçlar göstermiştir.

Sarker ve Pan (1998)'in geliştirdiği açık istasyon ve kapalı istasyon sistemi çok istasyonlu ve istasyonlar arası konveyörün olduğu karma modelli montaj hatlarında istasyon aşım süresi ve aylak sürelerden doğan maliyetlerin en küçüklenmesini amaçlar. Yapılan alışma, hat besleme aralığının, iş parçası sırasının ve operatör konumunun, hattın çıktısı üzerinde önemli etki sahibi olduğunu göstermiştir. Ayrıca, açık istasyon sitemlerinin istasyon aşım süresi ve aylak sürelerden doğan toplam maliyeti, kapalı istasyon sistemlerinin istasyon aşım süresi ve aylak sürelerden doğan toplam maliyetinden daha azdır.

Xiaobo ve diğ. (1999), model sıralama probleminde Toyota üretim sisteminde benimsenen amaç olan düzgün parça kullanımı üzerinde durmuştur. Hedef kovalama algoritması yapısındaki metot, zaman periyodu başına düşen parça gereksinimini ideal parça kullanımına eşitileme düşüncesi üzerine kurulmuştur.

Tamura ve diğ. (1999), montaj hattı model sıralama problemine tan montaj hatlarını da göz önünde bulundurarak çözüm aramışlardır. Geliştirilen amaç fonksiyonu parça kullanımı düzgünleştirilmesi ve iş yükü düzgünleştirilmesinin ağırlıklı toplamıdır. Çalışmada iki sezgisel bir adet de optimizasyon algoritması sunulmuştur. Sezgisel metotlar, tabu araştırması ve hedef kovalama algoritması temellidir. Optimizasyon algoritması ise dinamik programlama temellidir. Sayısal örnekler, optimizasyon algoritmasının sadece küçük boyuttaki problemler için kullanışlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, tabu araştırması çözüm kalitesi yönünden, hedef kovalama metodu ise işlemci süresi yönünden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Merengo ve diğ. (1999)'nin sıralama metodu düzgün parça kullanımını sağlamının yanında tamamlanamayan işlerin oranını da en küçüklemeye çalışır. Geliştirilen metotta her modelin her biriminin teslim süresi hesaplanır. Teslim süresi, metotta sadece talep bilgileriyle hesaplanabilmektedir. Daha sonra bu ürünler, “Erken Teslim Zamanı” kuralına göre sıralanmakta ve nihai sıralama sonucu elde edilmektedir.

Xiaobo ve Ohno (2000), sıralama probleminin hesapsal karmaşıklığı, konveyörün durdurulma şartları, amaç fonksiyonunun alt ve üst sınır değerleri ve optimal çözüm şartlarını irdelemişlerdir. Daha sonra, konveyör durdurma süresini en küçüklemeye yönelik sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.

Kim ve diğ. (2000), geliştirdikleri evrimsel algoritmada dengeleme ve sıralama problemlerini bütünlüştirmişlerdir. Kullanılan sıralama algoritmasında,

popülasyondaki her birey, “En Küçük Parça Kümesi”ni hangi sırada gerçekleştireceğini simgeler. Sıralama algoritmasında değiştirilmiş sıralı çaprazlama ve tersinir genetik operatörler kullanılmış ve bu operatörlerin birlikte kullanıldığında iş yükü düzgünleştirme bazında çözüm kalitesi açısından oldukça iyi çözümler verdikleri sayısal örneklerle gösterilmiştir.

Korkmazel ve Meral (2001), çok kriterli sıralama problemine odaklanmıştır. Çalışmada öncelikle düzgün parça kullanımına yönelik bazı yaklaşımlar incelenmiş, aralarında diğerlerine üstünlük sağlayanlar düzgün parça kullanımı ve iş yükü düzgünleştirmeyi amaç edinecek şekilde çok kriterli yapıya dönüştürülmüştür. Ayrıca, çalışmada geliştirilen değiştirilmiş Ding&Cheng algoritmasının çözüm kalitesinin yüksekliği ve büyük boyutlu problemleri bile kolaylıkla çözme potansiyeli sayısal örneklerle irdelenmiştir.

Sarker ve Pan (2001)'in geliştirdiği karma tamsayı programlama modeli, çok istasyonlu ve istasyonlar arası konveyörün olduğu karma modellenli montaj hatlarında istasyon aşım süresi ve aylak sürelerin en küçüklenmesini amaçlar. Buna ek olarak, çalışmada, hat besleme aralığının ve hat özelliklerinin etkilerini belirlemeye yönelik duyarlılık analizi de mevcuttur.

Jin ve Wu (2002), “Varyans Algoritması” adını verdikleri algoritma ile sıralama problemini çözmeye çalışmışlardır. Yazarlar yaptıkları çalışmada toplam varyansın geliştirdikleri amaç fonksiyonu ile yakın ilişkili olduğunu göstermiş ve toplam maliyetin içine toplam varyansı fırsat maliyeti olarak eklemişlerdir.

Kurashige ve diğ. (2002)'nin geliştirdiği sıralama yöntemi, çok istasyonlu karma modellenli montaj hatlarına zaman esaslı hedef kovalama metodunun uygulanmasını kapsar. Buna ek olarak çalışmada hedef kovalama algoritması yapısındaki MIAT (Sequencing with minimum increasing area per unit time) prosedürü geliştirilmiş olup aynı zamanda örnek probleme MIAT'ın yanı sıra tavlama benzetimi ve yerel araştırma yöntemleri uygulanmıştır.

Ventura ve Radhakrishnan (2002), karma modellenli montaj hattı model sıralama problemini kesikli süre optimizasyon modeli olarak ele almıştır. Modelde benimsenen amaç fonksiyonu, ürün partilerinin bitirilme zamanı ile önceden belirlenen teslim zamanı arasındaki farklardan doğan envanter maliyetlerinin kümülatif toplamını minimize etmeye yöneliktir. Çalışmada, alt eğim

optimizasyonunu kullanan Lagrange gevşetme tekniği uygulanmıştır. Ayrıca, başlangıç primal fizibil çözüm elde etmek ve başlangıç primal infizibil çözümü fizibil çözüme dönüştürmek için etkin sezgisel metotlar da geliştirilmiştir.

Kotani ve diğ. (2004), sıralama problemini yardımcı işçiler kullanarak toplam hat durdurma süresinin en küçüklenmesini temsil eden amaç fonksiyonu ve sabit parça kullanım oranını sağlayan kısıtlarla formüle etmiştir. Daha sonra, tavlama benzetimi tekniğini kullanan ve optimale yakın çözümler üretmeyi hedefleyen iki adımlı bir algoritma geliştirmişler ve bunu hedef kovalama algoritmasıyla karşılaştırmışlardır. Sayısal örnekler, geliştirilen algoritmanın etkin çözümler ürettiğini göstermiştir

Kim ve diğ. (2006), geliştirdikleri endosimbiyotik algoritmada dengeleme ve sıralama problemlerini bütünleştirmişlerdir. Sıralama algoritmasında, **Kim ve diğ. (2000)**'nin çalışmasında kullanılan birey temsilleri ve genetik operatörler kullanılmıştır.

Montaj hattı dengeleme ile ilgili literatür matrislerine ek olarak onaltı sıralama makalesi incelenerek Tablo 3.3'te görülen bir de montaj hattı sıralama problemi ile ilgili literatür matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 3.3: Montaj Hattı Sıralama Literatürü Matrisi

SIRALAMA	AMAC										KULLANILAN YÖNTEM			GERÇEK VERİLERLE UYGULAMA	
	DPK	ÜODD	ÜYD	YMYD	İYD	İASEK	HMEK	EAFMEK	TİOEK	KDSEK	S	OP	DSE	E	H
Aigbedo ve Monden (1997)	X	X	X	X							X				X
Hyun ve diğ. (1998)	X					X	X						X ^b		X
Jin ve Wu (2002)	X										X				X
Kim ve diğ. (2000)					X								X ^b		X
Kim ve diğ. (2006)					X								X ^b		X
Korkmaz ve Meral (2001)	X				X						X				X
Kotani ve diğ. (2004)	X									X			X ^a		X
Kurashige ve diğ. (2002)	X												X ^c		X
Merengo ve diğ. (1999)	X								X		X				X
Sarker ve Pan (1998)								X				X			X
Sarker ve Pan (2001)								X				X		X	X
Tamura ve diğ. (1999)	X				X						X	X	X ^c		X
Thomopoulos (1967)								X			X			X	X
Ventura ve Radhkrishnan (2002)	X										X	X			X
Xiaobo ve diğ. (1999)	X														X
Xiaobo ve Ohno (2000)										X	X		X ^c		X
Toplam:16	10	1	1	1	4	1	1	3	1	2	8	4	7	2	14
a	tavlama benzetimi														
b	genetik algoritma														
c	hedef kovalama algoritması														

Düzenli parça kullanımı, montaj hattı sıralama metotlarında en çok benimsenen amaçtır. Etkinlik azaltıcı faktörlerin maliyetinin en küçüklenmesi ve iş yükü düzenleme amaçları da montaj hattı sıralama metotlarında sıkça kullanılan diğer amaçlardır. Ayrıca, montaj hattı sıralama metotlarında olduğu gibi çok amaçlı montaj hattı sıralama metotlarının sayısında da artış mevcuttur. Montaj hattı sıralama problemini çözmek amacı ile araştırmacılar genellikle sezgisel algoritmalar

geliştirmişlerdir. Ayrıca, düzgün parça kullanımına yönelik geliştirilen özel bir sezgisel yöntem olan hedef kovalama algoritması ve optimizasyon teknikleri de sıralama problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, montaj hattı sıralama çalışmalarından pek azı gerçek verilerle uygulama içermektedir. Bu unsur, geliştirilen metodun pratikliğinin göstergesidir. Bir diğer deyişle, bu konuda montaj hattında model sıralama metodlarının durumu, montaj hattı dengeleme metodlarınıninkiyle benzerdir.

4. TAKIM ÇALIŞMASI ESASLI KARMA MODELLİ MONTAJ HATLARININ TASARIMI İÇİN GELİŞTİRİLEN METODOLOJİ

4.1. Metodoloji Adımlarının Matematiksel Programlama Modeli

4.1.1. Yatay Dengeleme Modeli

İndisler

i: İş indisi

k: İşgören indisi

m: Model indisi

Karar Değişkenleri

V_{ikm} = “m” modelinin “i” montaj işi “k” işgöreninde yer alıyorsa 1; yoksa 0
 $k=1, \dots, K \quad m=1, \dots, M \quad i \in W_{km} \quad (4.1)$

X_{km} = “m” modeli “k” işgörenini kullanıyorsa 1; yoksa 0
 $k=1, \dots, K \quad m=1, \dots, M \quad (4.2)$

A_k = Eğer tüm modeller “k” işgörenini kullanıyorsa 1; yoksa 0 $k=1, \dots, K \quad (4.3)$

Parametreler

C_m : “m” modelinin çevrim süresi

PR_{im} : “m” modelinin öncelik diyagramına göre “i” işinin tüm öncüleri

S_{im} : “m” modelinin öncelik diyagramına göre “i” işinin tüm takipçileri

t_{im} : “i” işinin m modelindeki süresi

W_{km} : “m” modelinde “k” işgörenine atanabilecek işler kümesi

$|W_{km}|$: W_{km} kümesinin eleman sayısı

E_{im} : “m” modelinin “i” işinin atanabileceği en erken işgören

L_{im} : “m” modelinin i işinin atanabileceği en geç işgören

ST_m : “m” modeline ait montaj işleri kümesi

M: Model sayısı

K: Yatay dengeleme öncesi sezgisel olarak saptanan işgören sayısı

N: Montaj işi sayısı

ZP: Aynı işgörene atanması istenen iş çiftleri kümesi

ZN: Aynı işgörene atanması istenen iş çiftleri kümesi

Varsayımlar

1. İş süreleri her model için farklı olabilir ve belirlidir.
2. İşler arası öncelikler bilinmektedir.
3. Modellerdeki ortak işler farklı işgörenler tarafından yapılabilir.
4. Paralel işgörelere izin yoktur.
5. İşgörelere arası performans farkı ihmal edilmiştir.
6. Montaj hattı U biçimli değildir.

Bir işin atanabileceği en erken ve en geç istasyonların hesabı

Bir işin atanabileceği en erken istasyon (E_{im})

$$E_{im} = \left[\frac{t_{im} + \sum_{j \in PR_{im}} t_{jm}}{C_m} \right]^+ \quad i=1, \dots, N \quad m=1, \dots, M \quad (4.4)$$

Bir işin atanabileceği en geç istasyon (L_{im})

$$L_{im} = \left[K + 1 - \frac{\left[t_{im} + \sum_{j \in S_{im}} t_{jm} \right]}{C_m} \right]^+ \quad i=1, \dots, N \quad m=1, \dots, M \quad (4.5)$$

“m” modelinde bulunmayan işlerin süreleri atanabilecekleri en erken ve en geç istasyonların hesabında “0” alınır.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K A_k \quad (4.6)$$

Yatay dengelemenin amaç fonksiyonu (4.6), bilinen çevrim süresinde işgören sayısının en küçükler.

Kısıtlar

Yatay dengeleme modelinde atama kısıtları [(4.7), (4.10), (4.11), (4.12), (4.13), (4.14)], öncelik ilişkilerini gösteren kısıt (4.8) ve model bazında çevrim süresinin kontrollü aşılması ile ilgili kısıt (4.9) mevcuttur.

$$\sum_{k \in E_{im}}^{L_{im}} V_{ikm} = 1 \quad m=1, \dots, M \quad i \in ST_m \quad (4.7)$$

$$\sum_{k \in E_{cm}}^{L_{cm}} k * V_{ckm} - \sum_{k \in E_{dm}}^{L_{dm}} k * V_{dkm} \leq 0 \quad (4.8)$$

$$\sum_{i \in W_{km}} t_{im} * V_{ikm} \leq 1,01 * C_m \quad k=1, \dots, K \quad m=1, \dots, M \quad (4.9)$$

$$\sum_{i \in W_{km}} V_{ikm} - (|W_{km}| * X_{km}) \leq 0 \quad k=1, \dots, K \quad m=1, \dots, M \quad (4.10)$$

$$\sum_{m=1}^M X_{km} - (M * A_k) = 0 \quad k=1, \dots, K \quad (4.11)$$

$$\sum_{k \in E_{rm}}^{L_{rm}} k * V_{rkm} - \sum_{k \in E_{sm}}^{L_{sm}} k * V_{ukm} = 0 \quad (r,u) \in ZP \quad (4.12)$$

$$V_{rkm} + V_{ukm} \leq 1 \quad \forall k : \text{enb}(E_{rm}; E_{um}) \leq k \leq \text{enk}(L_{rm}; L_{um}) \quad (r,u) \in ZN \quad (4.13)$$

$$V_{ikm} \in [0,1] \quad k=1, \dots, K \quad m=1, \dots, M \quad i \in ST_m \quad (4.14a)$$

$$X_{km} \in [0,1] \quad k=1, \dots, K \quad m=1, \dots, M \quad (4.14b)$$

$$A_k \in [0,1] \quad k=1, \dots, K \quad (4.14c)$$

* işaretli kısıtlar modelde tercihen yer alabilir.

Kısıt (4.7), model bazında her bir işin sadece bir işgörene atanabileceğini ifade eder. Kısıt (4.8), her modelin öncelik diyagramındaki her öncelik ilişkisi için yazılır (“m” modelinde “c” işi “d” işinden hemen önce gelmektedir.). Kısıt (4.9), her model için her işgörene yatay dengeleme sonucu atanan işlerin süreleri toplamının model çevrim süresini aşmamasını sağlar (Her işgörende model çevrim süresinin %1 aşımına izin verilmiştir.). Kısıt (4.10), E_{im} ve L_{im} 'ye göre atabilen işlerin atanan işlerden büyük

veya eşit olması gerektiğini ifade eder. Kısıt (4.11), faydalanılan işgören sayısının her model için eşit olmasını sağlayan kısıttır. Kısıt (4.12), her modelde, aynı işgörene atanması istenen işler için yazılan kısıttır (“m” modelinde “r” ile “u” aynı işgörene atanması istenen işlerdir.). Kısıt (4.13), her modelde, farklı işgörelere atanması istenen işler için yazılan kısıttır (“m” modelinde “r” ile “u” farklı işgörelere atanması istenen işlerdir.). (4.14a,..., 4.14c) kısıtları modeldeki değişkenlerin alabileceği değerleri gösterir.

4.1.2. Dikey Dengeleme Modeli

İndisler

i: İş indisi

k: İşgören indisi

o: Karşılaştırılan işgören indisi

m: Model indisi

Karar Değişkenleri

H_{miko}: “m” modelinin “i” işi “k” işgöreninden “o” işgörenine alınıyorsa 1; yoksa 0

$$m=1, \dots, M \quad i \in ST_m \quad k=b_{im} \quad o=b_{im}+1, \dots, L_{im} \quad (4.15)$$

T_{km}: Dikey dengeleme sonucu “m” modelinin “k” işgöreni süresi

$$k=1, \dots, R \quad m=1, \dots, M \quad (4.16)$$

Parametreler

T_{km}: Yatay dengeleme sonucu “m” modelinin “k” işgöreni süresi

Yatay dengeleme sonucu T_{km} değerine aşağıdaki şekilde ulaşılır:

$$T_{km} = \sum_{i \in W_{km}} t_{im} * V_{ikm} \quad k=1, \dots, K \quad m=1, \dots, M \quad (4.17)$$

W_{km}: “m” modelinde k işgörenine atanabilecek işler kümesi

| W_{km} |: W_{km} kümesinin eleman sayısı

L_{im}: “m” modelinin i işinin atanabileceği en geç işgören

R: Yatay dengeleme sonucu ortaya çıkan işgören sayısı

ZP: Aynı işgörene atanması istenen iş çiftleri kümesi

ZN: Aynı işgörene atanması istenen iş çiftleri kümesi

ST_m: “m” modeline ait montaj işleri kümesi

t_{im} : “i” işinin m modelindeki süresi

b_{im} : “m” modelinin “i” işinin yatay dengelemede atandığı işgören $i \in ST_m$ $m=1,.., M$
Yatay dengeleme sonucu b_{im} değerine aşağıdaki şekilde ulaşılır:

$$b_{im} = \sum_{k \in E_{im}}^{L_{im}} k * V_{ikm} \quad i \in ST_m, m=1, \dots, M \quad (4.18)$$

$HB_m(k)$: Yatay dengeleme sonucu “k” işgörenine atanan “m” modeli işleri kümesi
 $m=1, \dots, M \quad k=1, \dots, R$

$|HB_m(k)|$: $HB_m(k)$ kümesinin eleman sayısı

ST_m : “m” modeline ait montaj işleri kümesi

M : Model sayısı

Varsayımlar

1. İşler arası öncelik ilişkilerini ihlal edebilmesi nedeniyle bir iş, yatay dengeleme sonucu atandığı işgörenden önceki bir işgörene aktarılamaz.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \left[\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^R \left| \frac{\sum_{s=1}^R T'_{sm}}{R} - T_{km} \right| \right] \quad (4.19)$$

Dikey dengelemenin amaç fonksiyonu (4.19), işgörenler arasındaki model iş yüklerinin düzgün dağıtılmasına yöneliktir.

Kısıtlar

Dikey dengeleme modelinde atama kısıtları [(4.20), (4.24), (4.25), (4.26), (4.27)], işgören süreleri ile ilgili kısıtlar (4.21a,..., 4.21c), öncelik ilişkilerini gösteren kısıt (4.23) ve model bazında çevrim süresinin kontrollü aşılması ile ilgili kısıt (4.22) mevcuttur.

$$\sum_{o:k+1}^{L_{im}} H_{miko} \leq 1 \quad m=1, \dots, M \quad i \in ST_m \quad \exists k : k = b_{im} \quad (4.20)$$

$$T_{1m} = T'_{1m} - \sum_{i \in J_m(1)} \sum_{o=2}^{L_{im}} t_{im} * H_{mi1o} \quad m=1, \dots, M \quad (4.21a)$$

$$T_{km} = T_{km} - \sum_{i \in J_m(k)} \sum_{o=k+1}^{L_{im}} t_{im} * H_{mik} + \sum_{\exists q: q \in W_{km} \wedge s < k} t_{qm} * H_{mqsk}$$

$$m=1, \dots, M \quad k=2, \dots, R-1 \quad \exists k : k = b_{im} \quad \exists s : s = b_{qm} \quad (4.21b)$$

$$T_{Rm} = T_{Rm} + \sum_{\exists i: i \in W_{Rm} \wedge k < R} t_{im} * H_{mikR} \quad m=1, \dots, M \quad \exists k : k = b_{im} \quad (4.21c)$$

$$T_{km} \leq (1, 01) * C_m \quad m=1, \dots, M \quad k=1, \dots, R \quad (4.22)$$

$$\left[\left(k * \left(1 - \sum_{o=k+1}^{L_{cm}} H_{mcko} \right) + \sum_{o=k+1}^{L_{cm}} o * H_{mcko} \right) - \left[\left(s * \left(1 - \sum_{o=s+1}^{L_{dm}} H_{mdso} \right) + \sum_{o=s+1}^{L_{dm}} o * H_{mdso} \right) \right] \leq 0 \right.$$

$$\left. \exists k : k = b_{cm} \quad \exists s : s = b_{dm} \quad (4.23) \right]$$

$$\left[\left(k * \left(1 - \sum_{o=k+1}^{L_{rm}} H_{mrko} \right) + \sum_{o=k+1}^{L_{rm}} o * H_{mrko} \right) - \left[\left(s * \left(1 - \sum_{o=s+1}^{L_{um}} H_{muso} \right) + \sum_{o=s+1}^{L_{um}} o * H_{muso} \right) \right] = 0 \right.$$

$$\left. \exists k : k = b_{rm} \quad \exists s : s = b_{um} \quad (r, u) \in ZP \quad (4.24) \right]$$

$$H_{mrko} + H_{muso} \leq 1 \quad \exists k : k = b_{rm} \quad \exists s : s = b_{um}$$

$$\forall o : o \in [k+1, L_{rm}] \cap [s+1, L_{um}] \wedge o \in N \quad (r, u) \in ZN \quad (4.25a)$$

$$H_{musk} + \left(1 - \sum_{o=k+1}^{L_{rm}} H_{mrko} \right) \leq 1$$

$$\exists k : k = b_{rm} \quad \exists s : s = b_{um} \wedge s < k \wedge k \leq L_{um} \quad (r, u) \in ZN \quad (4.25b)$$

$$H_{mrks} + \left(1 - \sum_{o=s+1}^{L_{um}} H_{muso} \right) \leq 1$$

$$\exists s : s = b_{um} \quad \exists k : k = b_{rm} \wedge k < s \wedge s \leq L_{rm} \quad (r, u) \in ZN \quad (4.25c)$$

$$|HB_m(k)| - \sum_{i \in J_m(k)} \sum_{o=k+1}^{L_{im}} H_{mik} + \sum_{\exists q: q \in W_{km} \wedge s < k} H_{mqsk} \leq |W_{km}|$$

$$m=1, \dots, M \quad k=2, \dots, R-1 \quad \exists k : k = b_{im} \quad \exists s : s = b_{qm} \quad (4.26a)$$

$$|HB_m(R)| + \sum_{\exists i: i \in W_{Rm} \wedge k < R} H_{mikR} \leq |W_{Rm}| \quad m=1, \dots, M \quad \exists k : k = b_{im} \quad (4.26b)$$

$$H_{miko} \in [0, 1] \quad m=1, \dots, M \quad i \in ST_m \quad k=b_{im} \quad o=b_{im}+1, \dots, L_{im} \quad (4.27)$$

Kısıt (4.20), bir işin bir kez yer değiştirmesini veya değiştirmemesini ifade eder. Kısıt (4.21), model bazında işgören sürelerinin dikey dengelemede gerçekleşen iş

transferleri neticesindeki değişimini ifade eder. Kısıt (4.21.a) ilk işgören, kısıt (4.21.b) ortadaki işgörenler, kısıt (4.21.c) ise son işgören için yazılmıştır. Kısıt (4.22), her model için dikey dengeleme sonucu her bir işgörene atanan işlerin süreleri toplamının çevrim süresini aşamayacağını ifade eder (Her işgörende model çevrim süresinin %1 aşımına izin verilmiştir.). Kısıt (4.23), her modelin öncelik diyagramındaki öncelik ilişkileri için yazılır (“m” modelinde “c” işi “d” işinden hemen önce gelmektedir.). Kısıt (4.24), her modelde, aynı işgörene atanması istenen işler için yazılan kısıttır (“m” modelinde “r” ile “u” aynı işgörene atanması istenen işlerdir.). (4.25a,..., 4.25c) kısıtları, her modelde, aynı işgörene atanmaması istenen işleri kapsar (“m” modelinde “r” ile “u” aynı işgörene atanmaması istenen işlerdir.). (4.26a, 4.26b) kısıtları, yatay dengeleme esnasında E_{im} ve L_{im} 'ye göre atabilen işlerin atanan işlerden büyük veya eşit olması gerektiğini ifade eder. Kısıt (4.27) modeldeki değişkenlerin alabileceği değerleri gösterir.

4.1.3. Fiziksel İstasyon Oluşturma Modeli

İndisler

t: Zaman periyodu indisi

i: İş indisi

k: İşgören indisi

j: Takım boyutu indisi

h: Takım sırası indisi

a: Takımın ilk elemanı indisi

b: Takımın son elemanı indisi

Değişkenler

y_h : “h” takımı kuruluyorsa 1; yoksa 0 $h=1, \dots, F$ (4.28)

e_{hj} : “h” takımı “j” kişiden oluşuyorsa 1; yoksa 0 $h=1, \dots, F$ $j=1, \dots, B$ (4.29)

c_{hab} : “h” takımının ilk işgöreni “a”, son işgöreni “b” ise 1; yoksa 0

$h=1, \dots, F$ $a=1, \dots, F$ $\forall b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F$ (4.30)

X_{abmit}: “m” modelinin “i” işi ilk işgöreni “a”, son işgöreni “b” olan bir takımında “t” periyodunda sonlanmışsa 1; yoksa 0
 $a=1, \dots, F \quad \forall b : b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F \quad m=1, \dots, M \quad i=1, \dots, N$
 $t=1, \dots, (b-a+1) * 1,01 * C_m \quad (4.31)$

Z_{mab}: İlk işgöreni “a”, son işgöreni “b” olan bir takımın montaj akış süresi
 $m=1, \dots, M \quad a=1, \dots, F \quad \forall b : b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F \quad (4.32)$

Parametreler

N: Montaj işi sayısı

F: Dikey dengeleme sonucunda bulunan işgören sayısı

M: Model sayısı

C_m: “m” modelinin çevrim süresi $m=1, \dots, M$

A_{km}: Dikey dengeleme sonucunda “k” işgörenine atanan “m” modeli işleri kümesi
 $k=1, \dots, F \quad m=1, \dots, M$

PR_{im}: “m” modelinde “i” işinin tüm öncüleri $i=1, \dots, N \quad m=1, \dots, M$

B: Bir takıma atanabilecek en yüksek işgören sayısı

q: Çevrim süresi aşım sınırı $0 \leq q \leq 1$

“m” modelinde bulunmayan işlerin süreleri atanabilecekleri “0” alınır.

Her işgörenin dengeleme adımlarında model çevrim süresini %1 aşabilmesine izin verilmiştir.

$[x]$ x’e eşit ya da x’ten küçük en büyük tamsayı değerini ifade etmektedir.

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min} \left[\sum_{m=1}^M \sum_{h=1}^F \sum_{a=1}^F \sum_{b: b \geq a \wedge (b-a) < D \wedge b \leq F} |C_m - (c_{hab} * Z_{mab})| \right] \quad (4.33)$$

Fiziksel istasyon oluşturma modeli amaç fonksiyonu (4.33) oluşturulan takımlardaki montaj akış sürelerini model çevrim sürelerine yakınsamaya yöneliktir.

Kısıtlar

$$\sum_{h=1}^F \sum_{b: b \geq r \wedge (b-r) < B \wedge b \leq F} c_{hrb} + \sum_{h=1}^F \sum_{a: a \leq r \wedge (r-a) < B \wedge a \geq 1} c_{har} \leq 1 \quad r=1, \dots, F \quad (4.34)$$

$$\sum_{j=1}^B e_{hj} = y_h \quad h=1, \dots, F \quad (4.35)$$

$$y_h = \sum_{a=1}^F \sum_{b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F} c_{hab} \quad h=1, \dots, F \quad (4.36)$$

$$\sum_{h=1}^F e_{hj} \leq \left\lceil \frac{F}{j} \right\rceil \quad j=1, \dots, B \quad (4.37)$$

$$\sum_{j=1}^B j^* e_{hj} = \sum_{a=1}^F \sum_{b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F} c_{hab}^* (b-a+1) \quad h=1, \dots, F \quad (4.38)$$

$$\sum_{a=1}^F \sum_{b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F} c_{hab}^* Z_{mab} \leq (1+q)^* C_m \quad m=1, \dots, M \quad h=1, \dots, F \quad (4.39)$$

$$\sum_{a=1}^F \sum_{b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F} a^* c_{1ab} = 1 \quad (4.40)$$

$$y_h^* y_{h-1}^* \left[\sum_{a=1}^F \sum_{b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F} a^* c_{hab} - \sum_{a=1}^F \sum_{b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F} b^* c_{(h-1)ab} \right] \geq 0 \quad h=2, \dots, F \quad (4.41a)$$

$$y_h^* y_{h-1}^* \left[\sum_{a=1}^F \sum_{b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F} a^* c_{hab} - \sum_{a=1}^F \sum_{b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F} b^* c_{(h-1)ab} \right] \leq 1 \quad h=2, \dots, F \quad (4.41b)$$

$$\sum_{h=1}^F \sum_{j=1}^B j^* e_{hj} = F \quad (4.42)$$

$$\sum_{r=1}^{h-1} \sum_{j=1}^B (j^* e_{rj}) + (y_h) \leq F \quad h=2, \dots, F \quad (4.43a)$$

$$\sum_{r=1}^{h-1} \sum_{j=1}^B (j^* e_{rj})^* (1 - y_h) = 0 \quad h=2, \dots, F \quad (4.43b)$$

$$Z_{mab} = \text{enb}_{i \in \bigcup_{k=a}^b A_{km}} (t^* x_{abmit}) \quad m=1, \dots, M \quad a=1, \dots, F \quad \forall b: b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F \quad (4.44)$$

$$\sum_{t=1}^{(b-a+1)*1,01*C_m} t * x_{abmwt} + t_{im} \leq \sum_{t=1}^{(b-a+1)*1,01*C_m} t * x_{abmit} \quad m=1, \dots, M \quad a=1, \dots, F$$

$$\forall b : b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F$$

$$\forall i : i \in \bigcup_{k=a}^b A_{km} \quad \forall w : w \in PR_{im} \quad (4.45)$$

$$\sum_{i: i \in \bigcup_{k=a}^b A_{km}} \sum_{u=t}^{t+t_{im}} x_{abmiu} \leq (b-a+1) \quad m=1, \dots, M \quad a=1, \dots, F$$

$$\forall b : b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F \quad 1 \leq t \leq (b-a+1)*1,01*C_m \quad (4.46)$$

$$\sum_{t=1}^{(b-a+1)*1,01*C_m} x_{abmit} = 1 \quad m=1, \dots, M \quad a=1, \dots, F \quad \forall b : b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F \quad \forall i : i \in \bigcup_{k=a}^b A_{km} \quad (4.47)$$

$$y_h \in [0,1] \quad h=1, \dots, F \quad (4.48a)$$

$$e_{hj} \in [0,1] \quad h=1, \dots, F \quad j=1, \dots, B \quad (4.48b)$$

$$c_{hab} \in [0,1] \quad h=1, \dots, F \quad a=1, \dots, F \quad \forall b : b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F \quad (4.48c)$$

$$x_{abmit} \in [0,1] \quad a=1, \dots, F \quad \forall b : b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F \quad m=1, \dots, M \quad i=1, \dots, N$$

$$t=1, \dots, (b-a+1)*1,01*C_m \quad (4.48d)$$

$$Z_{mab} \geq 0 \quad m=1, \dots, M \quad a=1, \dots, F \quad \forall b : b \geq a \wedge (b-a) < B \wedge b \leq F \quad (4.48e)$$

Kısıt (4.34), bir operatörün takım oluşturma sürecinde sadece bir takımda yer alabileceğini belirtir. Kısıt (4.35), “ e_{hj} ” ve “ y_h ” değişkenleri arasındaki ilişkiyi ifade eder. Kısıt (4.36), oluşturulan her takımın sadece bir çizelgeyi kullanabileceğini belirtir. Kısıt (4.37), aynı boyuttaki takım sayısını sınırlar. Kısıt (4.38), “ e_{hj} ” ve “ c_{hab} ” değişkenleri arasındaki ilişkiyi ifade eder. Kısıt (4.39), oluşturulan takımların montaj akış sürelerinin her model için çevrim süresini belirli bir miktar aşabileceğini ifade eder. Kısıt (4.40), ilk takımın ilk elemanının birinci işgören olmasını sağlar. (4.41a, 4.41b) kısıtları, takım oluşturma adımının işgören sırası açısından ardışık olarak ilerlemesini sağlar. Kısıt (4.42), takımlara atanan işgören sayısını toplam işgören sayısına eşitler. Kısıt (4.43a, 4.43b), takım oluşturulmasının son sıradaki işgörenin bir takıma atanması ile sona erdiğini ifade eder. Kısıt (4.44), bir takımın montaj akış süresini o takımdaki en yüksek iş bitirilme zamanına eşitler. Kısıt (4.45), bir takımda

yapılan işler arasındaki öncelik ilişkileri için yazılır. Kısıt (4.46), çizelgedeki kaynak sayısı kısıtıdır. Kısıt (4.47), çizelgedeki her işin yapıldığını ifade eder. (4.48a,..., 4.48e) kısıtları, modeldeki değişkenlerin alabileceği değerleri gösterir.

4.1.4. Sıralama Modeli

4.1.4.1. Adımlı Hatlar İçin Sıralama Modeli

İndisler

m: Model indisi

y: Pozisyon indisi

z: İstasyon indisi

l: Parça indisi

Karar Değişkenleri

x_{my} : “m” modeli “y.” pozisyondaysa 1; yoksa 0 $m=1, \dots, M$ $y=1, \dots, D$ (4.49)

s_{yz} : “y.” ürünün “z” istasyonundaki işlerine başlanma zamanı

$$y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.50)$$

f_{yz} : “y.” ürünün “z” istasyonunda işlerinin bitirilme zamanı

$$y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.51)$$

it_{yz} : “z” istasyonunun “i.” ürünü bekleme süresi

$$y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.52)$$

pwt_{yz} : “y.” ürünün “z” istasyonunda bekleme süresi

$$y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.53)$$

Parametreler

T_{mz} : “m” modelinin “z” istasyon süresi $m=1, \dots, M$ $z=1, \dots, P$

P: İstasyon sayısı

M: Model sayısı

d_m : “m” modelinin talebi $m=1, \dots, M$

D: Toplam Talep

$$D = \sum_{m=1}^M d_m \quad (4.54)$$

C₁: Amaç denklemindeki düzgün olmayan parça kullanımının ceza faktörü

C₂: Amaç denklemindeki istasyon beklemelerinin ceza faktörü (adımlı hat için)

C₃: Amaç denklemindeki ürün beklemelerinin ceza faktörü

L: Parça çeşidi sayısı

c_{lm}: “m” modeline gerekli “l” parçası sayısı l=1,..., L m=1,..., M

U_l: Tüm sırada gerekli “l” parçası sayısı l=1,..., L

r_l: “l” parçasının istenen tüketim oranı: l=1,..., L

$$r_l = \frac{U_l}{D} \quad (4.55)$$

İlk “V” pozisyon için kullanılmak istenen “l” parçası sayısı = V*r_l (4.56)

Gerçekte ilk “V” pozisyon için kullanılan “l” parçası sayısı = $\sum_{m=1}^M \sum_{y=1}^V x_{my} * c_{lm}$ (4.57)

Varsayımlar

1. İş süreleri belirlidir.
2. Ara stoğa izin yoktur.
3. Paralel istasyona izin yoktur.
4. İstasyonlar arası boşluk yoktur.
5. Sistem arızaları göz önüne alınmamıştır.
6. Parça yokluğu nedeniyle hat beklememektedir.
7. Hatalı parçaların düzeltme işlemleri sisteme dahil edilmemiştir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \left[C_1 * \sum_{i=1}^D \sum_{l=1}^L \left(\sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^y x_{ms} * c_{sm} - y * r_l \right)^2 + C_2 * \sum_{y=2}^D \sum_{z=2}^P i_{yz} + C_3 * \sum_{y=2}^D \sum_{z=2}^P pwt_{yz} \right] \quad (4.58)$$

Amaç fonksiyonu (4.59) üç bileşenlidir. Birinci bileşen düzgün parça kullanımını sağlarken, ikinci bileşen istasyon beklemelerini ve üçüncü bileşen ise ürün beklemelerini en küçükler.

Kısıtlar

$$\sum_{m=1}^M x_{my} = 1 \quad y=1, \dots, D \quad (4.59)$$

$$\sum_{y=1}^D x_{my} = d_m \quad m=1, \dots, M \quad (4.60)$$

$$s_{11} = 0 \quad (4.61)$$

$$s_{(y+1)1} = f_{y1} \quad y=1, \dots, D-1 \quad (4.62)$$

$$s_{1z} = f_{1(z-1)} \quad z=2, \dots, P \quad (4.63)$$

$$s_{yz} + \sum_{m=1}^M T_{mz} * x_{my} = f_{yz} \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.64)$$

$$s_{yz} = \text{enb}(f_{(y-1)z}; f_{y(z-1)}) \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.65)$$

$$it_{yz} = \text{enb}(0; (s_{yz} - f_{(y-1)z})) \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.66)$$

$$\text{pwt}_{yz} = \text{enb}(0; (s_{yz} - f_{y(z-1)})) \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.67)$$

$$x_{my} \in [0,1] \quad m=1, \dots, M \quad y=1, \dots, D \quad (4.68a)$$

$$s_{yz} \geq 0 \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.69b)$$

$$f_{yz} \geq 0 \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.68c)$$

$$it_{yz} \geq 0 \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.68d)$$

$$\text{pwt}_{yz} \geq 0 \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.68e)$$

Kısıt (4.59), bir pozisyona bir modelin atanabileceğini belirtir. Kısıt (4.60), her model için talebin karşılanması gerektiğini vurgular. Kısıt (4.61), birinci ürünün birinci istasyonda montajına başlanmasının “0” zamanında olduğunu belirtir. Kısıt (4.62), birinci istasyonda istasyon beklemesi olmadığını gösterir. Kısıt (4.63), ikinci ve daha sonraki istasyonlarda birinci ürünün montaj işlerine başlama zamanını, bir önceki istasyonda bu ürünün montaj işlerinin bitirilme zamanına eşitlemek için yazılan kısıttır. Kısıt (4.64), bir ürünün montaj işlerine başlama zamanına istasyon süresi

eklenerek o ürünün o istasyondaki bitiş süresinin bulunduğunu belirten kısıttır. Kısıt (4.65), ikinci veya daha sonraki istasyonlarda birinci üründen sonraki ürünlerin montaj işlerine başlanma zamanını, o ürünün bir önceki istasyondaki montaj işlerinin bitiş zamanı ile o istasyonda bir önceki ürünün montaj işlerinin bitiş zamanından büyük olanına eşitler. Kısıt (4.66), istasyon bekleme süresini, o istasyonda montaj işlerine başlama zamanı ve istasyonun bir önceki ürünün montaj işlerini bitirme zamanı arasındaki fark ile sıfırdan büyük olanına eşitler. Kısıt (4.67), bir ürünün istasyonda bekleme süresini, ürünün o istasyonda montaj işlerine başlama zamanı ve ürünün bir önceki istasyonda montaj işlerinin bitirilme zamanı arasındaki fark ile sıfırdan büyük olanına eşitler. (4.68a,..., 4.68e) kısıtları, modeldeki değişkenlerin alabileceği değerleri gösterir.

4.1.4.2. Sürekli Hatlar İçin Sıralama Modeli

İndisler

m: Model indisi

y: Pozisyon indisi

z: İstasyon indisi

l: Parça indisi

Karar Değişkenleri

x_{my} : “m” modeli “y.” pozisyondaysa 1; yoksa 0 $m=1, \dots, M$ $y=1, \dots, D$ (4.69)

s_{yz} : “y.” ürünün “z” istasyonundaki işlerine başlanma zamanı

$$y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.70)$$

f_{yz} : “y.” ürünün “z” istasyonundaki işlerinin bitirilme zamanı

$$y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.71)$$

w_{yz} : “y.” ürünün “z” istasyonuna giriş zamanı $y=1, \dots, D$ $z=1, \dots, P$ (4.72)

g_{yz} : “y.” ürünün “z” istasyonundan çıkış zamanı $y=1, \dots, D$ $z=1, \dots, P$ (4.73)

it_{yz} : “z” istasyonunun “y.” ürünü bekleme süresi $y=2, \dots, D$ $z=2, \dots, P$ (4.74)

ut_{yz} : “y.” ürünün “z” istasyonundaki yardımcı işgören süresi

$$y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.75)$$

Parametreler

P: İstasyon sayısı

M: Model sayısı

d_m: “m” modelinin talebi m:1,...,M

b_z: Parçanın “z” istasyonunu kat etme süresi z=1,..., P

u_z: “z” istasyonu aşım sınırı z=1,..., P-1

D: Toplam Talep

$$D = \sum_{m=1}^M d_m \quad (4.54)$$

C₁: Amaç denklemindeki düzgün olmayan parça kullanımının ceza faktörü

C₄: Amaç denklemindeki istasyon beklemelerinin ceza faktörü (hareketli hat için)

C₅: Amaç denklemindeki yardımcı işgören sürelerinin ceza faktörü

L: Parça çeşidi sayısı

T_{mz}: “m” modelinin “z” istasyon süresi m=1,..., M z=1,..., P

c_{lm}: “m” modeline gerekli “l” parçası sayısı l=1,..., L m=1,..., M

U_l: Tüm sırada gerekli “l” parçası sayısı l=1,..., L

r_l: “l” parçasının istenen tüketim oranı l=1,..., L

$$r_l = \frac{U_l}{D} \quad (4.55)$$

İlk “V” pozisyon için kullanılmak istenen “l” parçası sayısı = V*r_l (4.56)

Gerçekte ilk “V” pozisyon için kullanılan “l” parçası sayısı = $\sum_{m=1}^M \sum_{y=1}^V x_{my} * c_{lm}$ (4.57)

Varsayımlar

1. İş süreleri belirlidir.
2. Ara stoğa izin yoktur.
3. Paralel istasyona izin yoktur.
4. İstasyonlar arası boşluk yoktur.
5. Sistem arızaları göz önüne alınmamıştır.
6. Parça yokluğu nedeniyle hat beklememektedir.
7. Hatalı parçaların düzeltme işlemleri sisteme dahil edilmemiştir.

8. İşgörenler, önceki istasyonun alanına geçemez, fakat sonraki istasyonun alanına geçebilirler.

9. Konveyörün hızı, en uzun model istasyon süresine göre ayarlanır.

10. Birinci istasyona parça gelir gelmez işleme başlanmaktadır.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \left[C_1 * \sum_{i=1}^D \sum_{l=1}^L \left(\sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^y x_{ms} * c_{sm} - y * r_l \right)^2 + C_4 * \sum_{y=2}^D \sum_{z=2}^P it_{yz} + C_5 * \sum_{y=2}^D \sum_{z=2}^{P-1} ut_{yz} \right] \quad (4.76)$$

Amaç fonksiyonu (4.77) üç bileşenlidir. Birinci bileşen düzgün parça kullanımını sağlarken, ikinci bileşen istasyon beklemelerinin, üçüncü bileşen ise istasyon yardımcı işgören sürelerinin toplamını ifade eder.

Kısıtlar

$$\sum_{m=1}^M x_{my} = 1 \quad y=1, \dots, D \quad (4.59)$$

$$\sum_{i=1}^D x_{my} = d_m \quad m=1, \dots, M \quad (4.60)$$

$$w_{11} = 0 \quad (4.77)$$

$$w_{yz} + b_z = g_{yz} \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.78)$$

$$w_{y(z+1)} = g_{yz} \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P-1 \quad (4.79)$$

$$w_{y1} = s_{y1} \quad y=1, \dots, D \quad (4.80)$$

$$g_{y1} = w_{(y+1)1} \quad y=1, \dots, D-1 \quad (4.81)$$

$$s_{1z} = w_{1z} \quad z=2, \dots, P \quad (4.82)$$

$$f_{yz} = \text{enk} \left((s_{yz} + \sum_{m=1}^M T_{mz} * x_{my}); (g_{yz} + u_z) \right) \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P-1 \quad (4.83a)$$

$$f_{yP} = s_{yP} + \sum_{m=1}^M T_{mP} * x_{my} \quad y=1, \dots, D \quad (4.83b)$$

$$s_{yz} = \text{enb} (f_{(y-1)z} ; g_{y(z-1)} ; f_{y(z-1)}) \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, K \quad (4.84)$$

$$it_{yz} = \text{enb} (0 ; (s_{yz} - f_{(y-1)z})) \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.85)$$

$$ut_{yz} = \text{enb} (0 ; [(s_{yz} + \sum_{m=1}^M T_{mz} * x_{my}) - (s_{yz} + u_z)]) \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P-1 \quad (4.86)$$

$$x_{my} \in [0,1] \quad m=1, \dots, M \quad y=1, \dots, D \quad (4.87a)$$

$$s_{yz} \geq 0 \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.87b)$$

$$f_{yz} \geq 0 \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.88c)$$

$$e_{yz} \geq 0 \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.87d)$$

$$g_{yz} \geq 0 \quad y=1, \dots, D \quad z=1, \dots, P \quad (4.87e)$$

$$it_{yz} \geq 0 \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P \quad (4.87f)$$

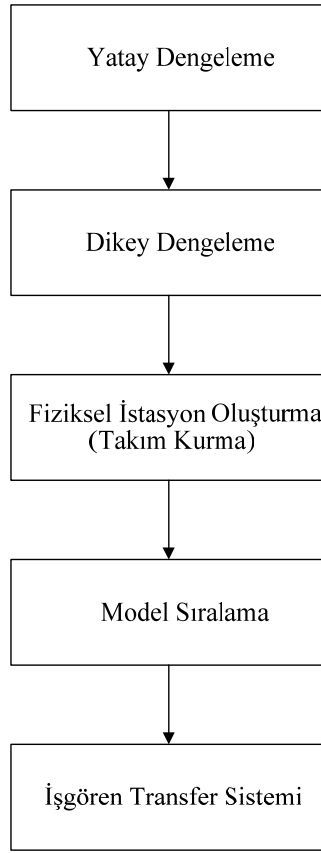
$$ut_{yz} \geq 0 \quad y=2, \dots, D \quad z=2, \dots, P-1 \quad (4.87g)$$

Kısıt (4.59), bir pozisyona bir model atanabileceğini belirtir. Kısıt (4.60), her model için talebin karşılanmasını ifade eder. Kısıt (4.77), birinci ürünün birinci istasyona girişinin “0” zamanında olduğunu belirtir. Kısıt (4.78), ürünün istasyona giriş süresi ile çıkış süresi arasındaki farkın sabit olup en uzun model istasyon süresine eşit olduğunu ifade eder. Kısıt (4.79), önceki istasyondan ürün çıkış zamanı, sonraki istasyona ürün giriş zamanına eşittir. Kısıt (4.80), ürünün birinci istasyona girer girmez işlemine başlanmasını sağlar. Kısıt (4.81), bir ürünün birinci istasyondan çıkar çıkmaz, bir sonraki ürünün girmesini sağlar. Kısıt (4.82), birinci istasyondan sonraki istasyonlarda, birinci ürüne istasyona girer girmez başlanmasını sağlar. (4.83a) ve (4.83b) kısıtları, ürünlerin montaj işlerinin bitirilme zamanlarını ifade ederler. Kısıt (4.84), ikinci veya daha sonraki istasyonlarda birinci üründen sonraki ürünlerin montaj işlerine başlama zamanını, o istasyondaki bir önceki ürünün montaj işlerinin bitirilme zamanının, aynı ürünün bir önceki istasyondan çıkış zamanının ve aynı ürünün bir önceki istasyondaki montaj işlerinin bitirilme zamanının en büyüğüne eşitler. Kısıt (4.85), istasyon bekleme süresini o istasyonda montaj işlerine başlama zamanı ve istasyonun bir önceki ürünün montaj işlerini bitirme zamanı

arasındaki farkı ile sıfırdan büyük olanına eşitler. Kısıt (4.86), yardımcı işgören süresini ifade eden kısıttır. (4.87a,..., 4.87g) kısıtları, modeldeki değişkenlerin alabileceği değerleri gösterir.

4.2. Geliştirilen Metodolojinin Adımları

Takım çalışması esaslı montaj hatlarının tasarımına yönelik geliştirilen metodoloji beş adımdan oluşmaktadır. Bu bölümde bu beş adım detaylı bir şekilde örneklerle incelenecektir.

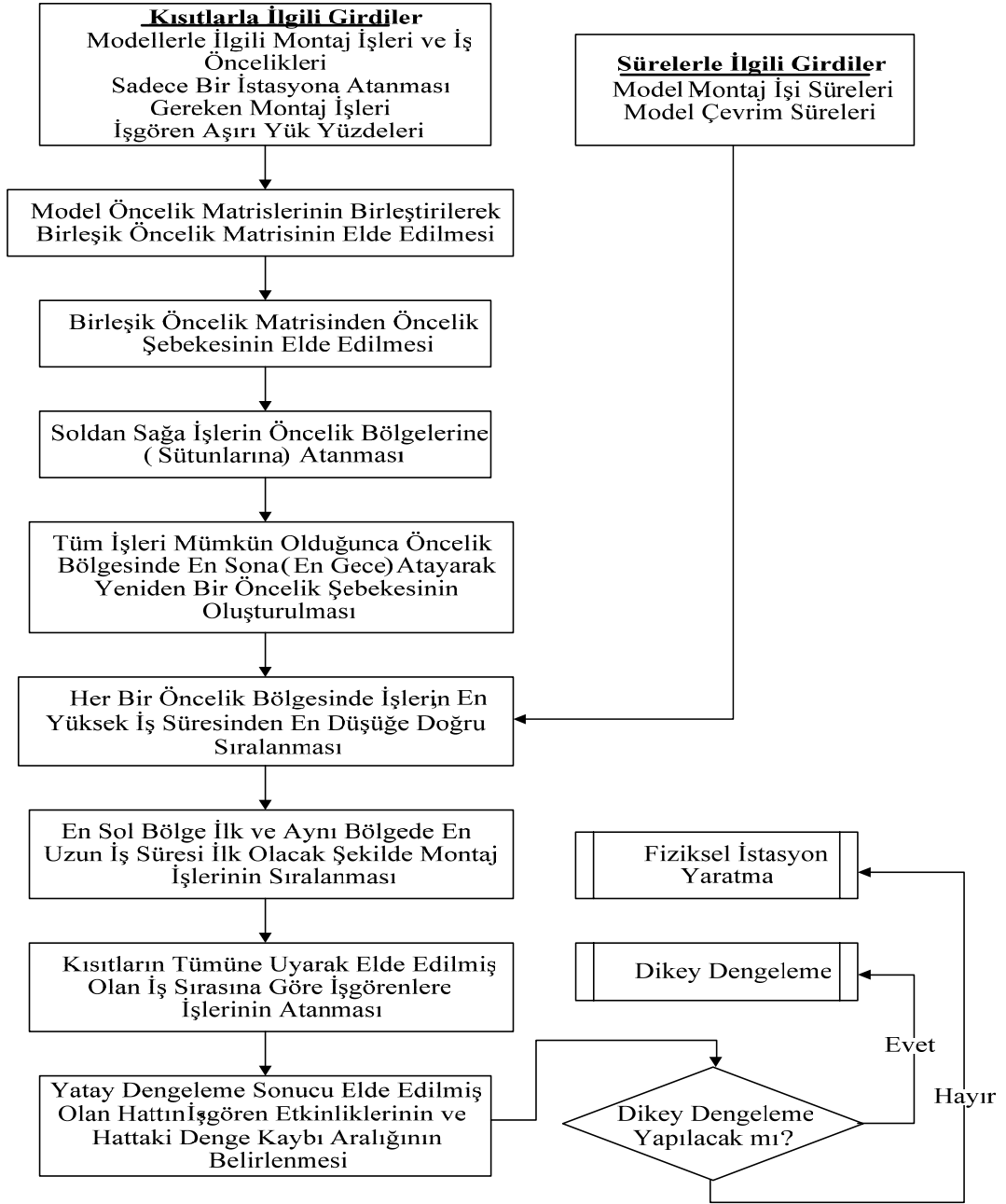


Şekil 4.1: Geliştirilen Metodoloji (Durmusoglu ve diğ., 2005)

4.2.1. Yatay Dengeleme

Yatay dengelemenin amacı işgören sayısını en küçükmek olup model ailesinde değişiklik olduğu zaman tekrarlanır. Yatay dengeleme safhasında “Bölge Yaklaşımı” sezgisel yöntemi kullanılmaktadır (Bedworth ve Bailey, 1987). Yöntem pratikte hızlı sonuç vermektedir. Yöntem, pozisyon ağırlıklandırma yöntemi ile Kilbridge ve

Wester yaklaşımının fikirlerini kullanır. Şekil 4.2’de model bazında yatay dengeleme algoritması görülmektedir.



Şekil 4.2: Model Bazında Yatay Dengeleme (Durmuşoğlu, 2004)

Aşağıda yatay dengeleme safhası ile ilgili bir örnek anlatılacaktır.

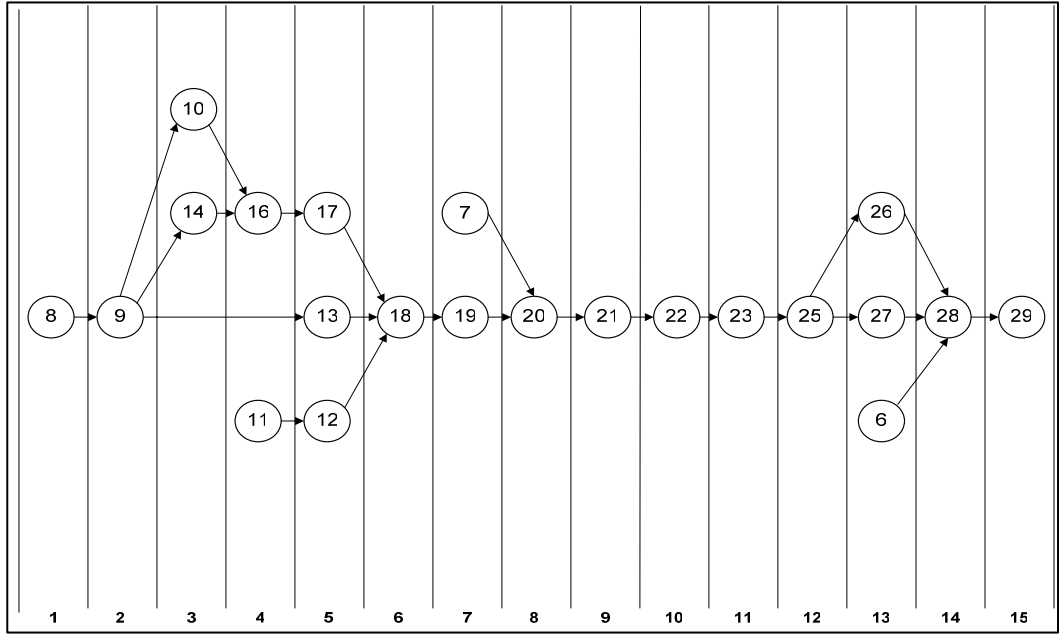
Örnek 4.1

A ve B modellerine ait 29 adet montaj işi ve öncelik ilişkileri Tablo 4.1’deki gibi olsun.

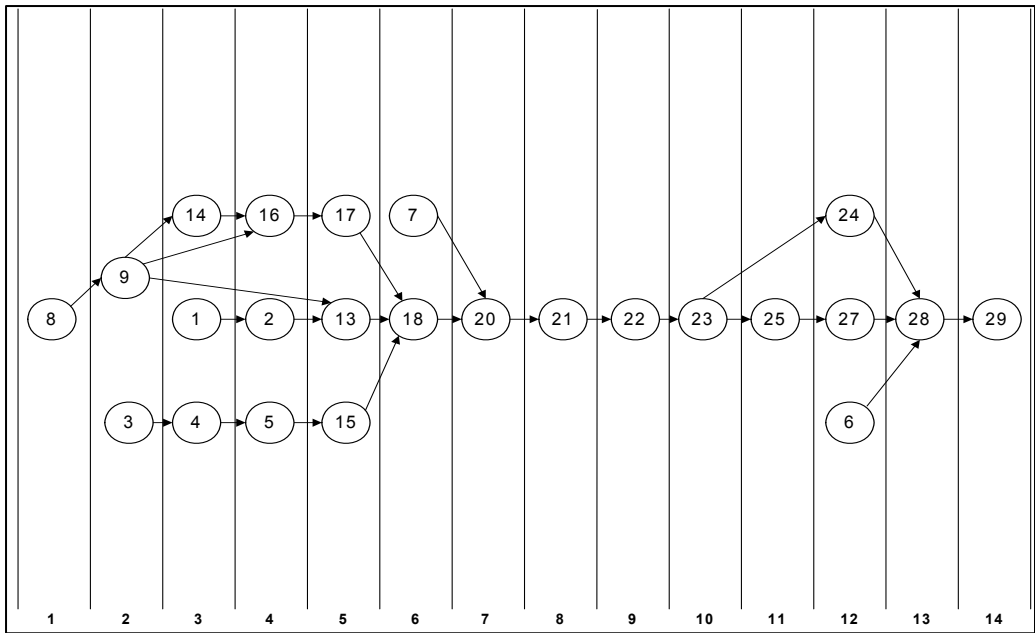
Tablo 4.1: Örnek 4.1’deki Montaj İşleri, Öncelikleri ve Süreleri (Durmuşoğlu, 2004)

İŞ NO	ÖNCELİK KISITLARI							MODEL	
	A Modeli				B Modeli			A	B
1								0	28
2					1			0	120
3								0	28
4					3			0	149
5					4			0	44
6								30	30
7								16	16
8								43	43
9	8				8			55	55
10	9							15	0
11								17	0
12	11							82	0
13	9				2	9		81	143
14	9				9			51	51
15					5			0	103
16	10	14			9	14		38	22
17	16				16			101	152
18	12	13	15	17	13	15	17	25	25
19	18							5	0
20	7	19			7	18		25	25
21	20				20			48	74
22	21				21			101	137
23	22				22			23	23
24					23			0	13
25	23				23			11	11
26	25							8	0
27	25				25			56	56
28	6	26	27		6	24	27	41	41
29	28				28			10	10
Toplam iş süresi								882	1399
Çevrim süresi								268	409

Bu öncelik ilişkilerine göre model bazında öncelik diyagramları şu şekilde oluşur:

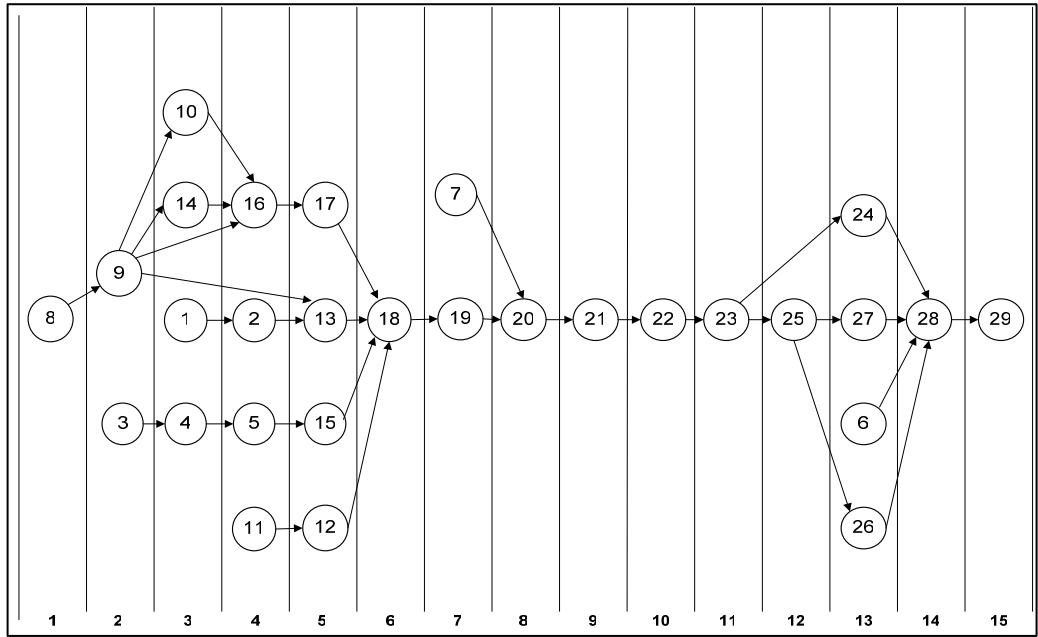


Şekil 4.3: A Modelinin Öncelik Diyagramı (Durmüşoğlu, 2004)



Şekil 4.4: A Modelinin Öncelik Diyagramı (Durmüşoğlu, 2004)

Bu iki modelin birleştirilmiş öncelik diyagramı ise Şekil 4.5'teki gibidir.



Şekil 4.5: A ve B Modellerinin Birleştirilmiş Öncelik Diyagramı

Öncelik diyagramları oluşturulurken işler mümkün olduğunca sona yerleştirilir. Metodolojinin yatay dengeleme adımında çevrim sürelerinin %1 aşımına izin verilmektedir. Mevcut işlerin atama sıraları ise en soldaki sütun ilk ve aynı sütun içinde uzun süreli iş ilk olacak şekilde Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'teki gibidir.

Tablo 4.2: A Modelindeki İşlerin Atama Öncelikleri

İşler	İş Süresi (sn.)	İlgili Sütun	Öncelikler			
8	43	1				
9	55	2	8			
14	51	3	9			
10	15	3	9			
16	38	4	10	14		
11	17	4				
17	101	5	16			
12	82	5	11			
13	81	5	9			
18	25	6	12	13	17	
7	16	7				
19	5	7	18			
20	25	8	7	19		
21	48	9	20			
22	101	10	21			
23	23	11	22			
25	11	12	23			
27	56	13	25			
6	30	13				
26	8	13	25			
28	41	14	6	26	27	
29	10	15	28			

Tablo 4.3: B Modelindeki İşlerin Atama Öncelikleri

İşler	İş Süresi (sn.)	İlgili Sütun	Öncelikler			
8	43	1				
9	55	2	8			
3	28	2				
4	149	3	3			
14	51	3	9			
1	28	3				
2	120	4				
5	44	4	4			
16	22	4	9	14		
17	152	5	16			
13	143	5	2	9		
15	103	5	5	9		
18	25	6	13	15	17	
7	16	6				
20	25	7	7	18		
21	74	8	20			
22	137	9	21			
23	23	10	22			
25	11	11	23			
27	56	12	25			
6	30	12				
24	13	12	23			
28	41	13	6	24	27	
29	10	14	28			

Elde edilen atama önceliklerine model bazında yatay dengelemeler ise Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'teki gibidir.

Tablo 4.4: A Modeli İçin Yatay Dengeleme

İşgören	İşler	A Modeli		
		İş Süresi (sn)	Birikimli İstasyon Süresi	Tahsis Edilmemiş İstasyon Süresi
1	8	43	43	225
	9	55	98	170
	14	51	149	119
	10	15	164	104
	16	38	202	66
	11	17	219	49
	7	16	235	33
	6	30	265	3
2	17	101	101	167
	13	81	182	86
	12	82	264	4
3	18	25	25	243
	19	5	30	238
	20	25	55	213
	21	48	103	165
	22	101	204	64
	23	23	227	41
	25	11	238	30
	26	8	246	22
4	27	56	56	212
	28	41	97	171
	29	10	107	161

Tablo 4.5: B Modeli İçin Yatay Dengeleme

İstasyon	İşler	B Modeli		
		İş Süresi (sn.)	Birikimli İstasyon Süresi	Tahsis Edilmemiş İstasyon Süresi
1	8	43	43	366
	9	55	98	311
	3	28	126	283
	4	149	275	134
	14	51	326	83
	1	28	354	55
	5	44	398	11
2	2	120	120	289
	16	22	142	267
	17	152	294	115
	15	103	397	12
3	13	143	143	266
	18	25	168	241
	7	16	184	225
	20	25	209	200
	21	74	283	126
	6	30	313	96
4	22	137	137	272
	23	23	160	249
	25	11	171	238
	27	56	227	182
	24	13	240	169
	28	41	281	128
	29	10	291	118

Yatay dengeleme sonucu işgören etkinlikleri Tablo 4.6’da belirtilmiştir.

Tablo 4.6: Yatay Dengeleme Sonucu İşgören Etkinlikleri

İşgörenler	Etkinlik (%)	
	A modeli	B Modeli
1	99	97
2	99	97
3	92	77
4	40	71

4.2.2. Dikey Dengeleme

İşgörenler arasında model iş yüklerini düzgün dağıtmak amacı ile yatay dengelemeden sonra yapılır. Dikey dengeleme performansı Δ ile ölçülür:

$$\Delta = \sum_{m=1}^M | \dot{I}Y_{O_m} - \dot{I}Y_{k_m} | \quad (4.88)$$

Burada;

k: İşgören indisi

m: Model indisi

$\dot{I}Y_{k_m}$: “m” modelinin i. işgörendeki iş yükü

$\dot{I}Y_{O_m}$: “m” modelinin her işgörene düşen ortalama iş yükü

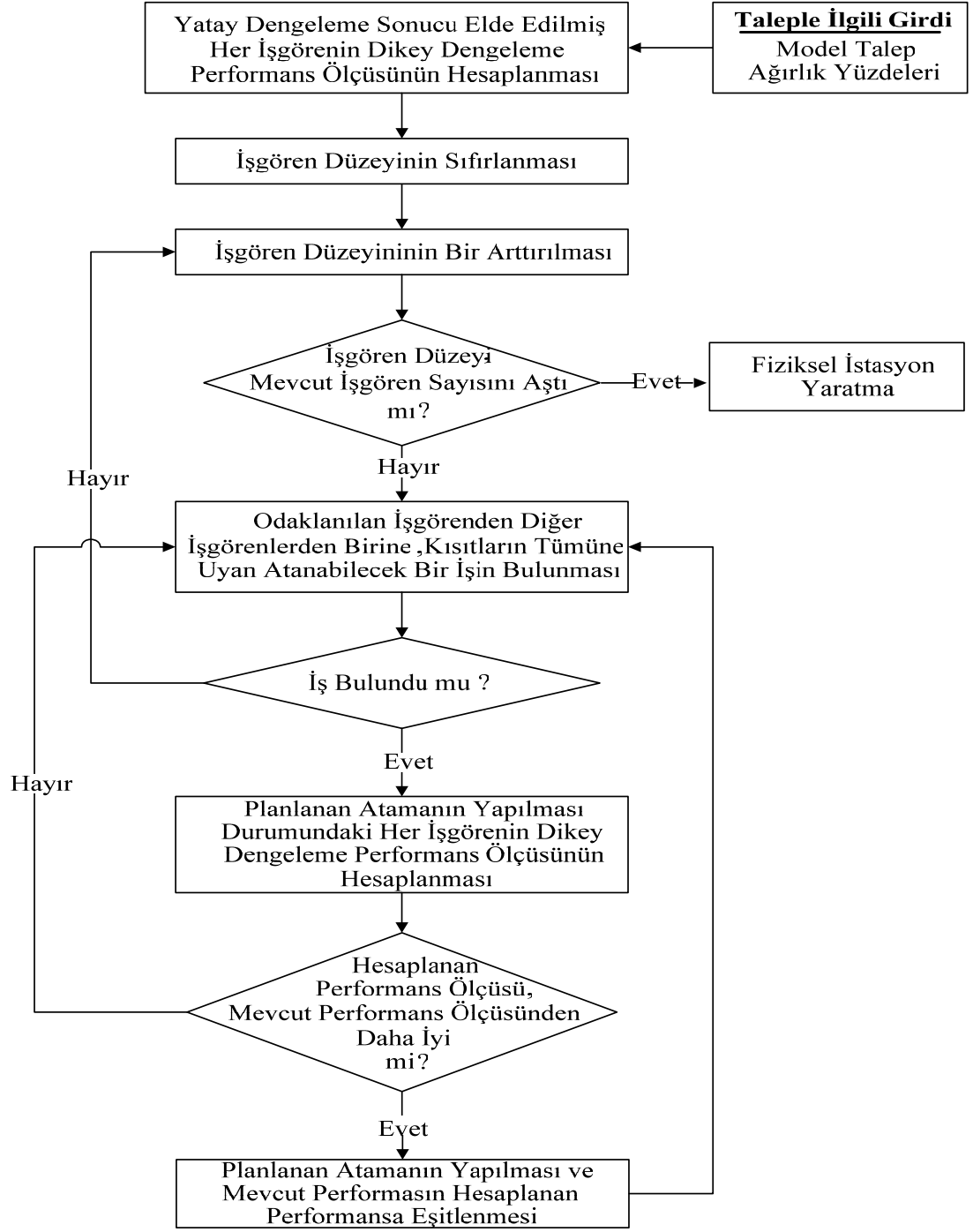
$$\dot{I}Y_{O_m} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{im}}{n} \quad m=1,2,\dots,M \quad (4.89)$$

i: Montaj işi indisi

t_{im} : “m” modelindeki “i” montaj işinin süresi

n: İşgören sayısı

N: Toplam montaj işi sayısı



Şekil 4.6: Dikey Dengeleme (Durmuşoğlu, 2004)

Örnek 4.2

Örnek 4.1'i ele alalım. Örnek 4.1'de aşağıdaki tabloda gösterilen işgören süreleri elde edilmişti.

Tablo 4.7: Örnek 4.1'de Elde Edilen İşgören Model Süreleri

Model	İY _{km} (saniye)			
	k = 1	k = 2	k = 3	k = 4
m = 1 (A)	265	264	246	107
m = 2 (B)	398	397	313	291

$$\dot{I}YO_1 = \frac{\sum_{k=1}^{29} t_{1k}}{4} = \frac{882}{4} \quad \dot{I}YO_1 = 220.5 \text{ saniye}$$

$$\dot{I}YO_2 = \frac{\sum_{k=1}^{29} t_{2k}}{4} = \frac{1399}{4} \quad \dot{I}YO_2 = 349,8 \text{ saniye}$$

1. işgören için Δ değeri :

$$\Delta = |220.5 - 265| + |349,8 - 398|$$

$$\Delta = 44.5 + 48,2$$

$$\Delta = \mathbf{92.7}$$

“İstasyon yatay dengeleme performans değeri (Δ), öncelik ve istenen çevrim süresi kısıtları altında montaj işlerinin işgörenler arasında kaydırılması yolu ile düşürülebilir mi?” sorusu dikey dengelemede bütün istasyonlar için sorulur.

Eğer 1. istasyon için daha küçük bir Δ değeri bulunursa, söz konusu montaj işlerinden oluşan yapı, 1. istasyon olarak kabul edilir. Daha sonra, 1. istasyonu tanıyarak (değiştirmeden) 2. istasyon için Δ değeri bulunup performans artırılmaya çalışılır. Dikey dengeleme en son istasyon dahil benzer şekilde ilerler.

Örnek 4.1’de elde edilen yatay dengenin dikey dengeleme performansı Tablo 4.8’de belirtilmiştir.

Tablo 4.8: Örnek 4.1’de Elde Edilen Dengenin Dikey Dengeleme Performansı

İşgören	Δ
1	92,8
2	90,8
3	62,3
4	172,3
Toplam	418,0

A modelindeki 6 no’lu işi birinci işgörenden dördüncü işgörene kaydığımızda Tablo 4.9’daki durum oluşur.

Tablo 4.9: 6 No’lu İşin Transferiyle Oluşan Dikey Dengeleme Performansı

İşgören	Δ
1	62,8
2	90,8
3	62,3
4	142,3
Toplam	358,0

Daha sonra, A modelindeki 26 no’lu işi üçüncü işgörenden dördüncü işgörene kaydığımızda Tablo 4.10’deki durum oluşur.

Tablo 4.10: 26 No’lu İşin Transferiyle Oluşan Dikey Dengeleme Performansı

İşgören	Δ
1	62,8
2	90,8
3	54,3
4	134,3
Toplam	342,0

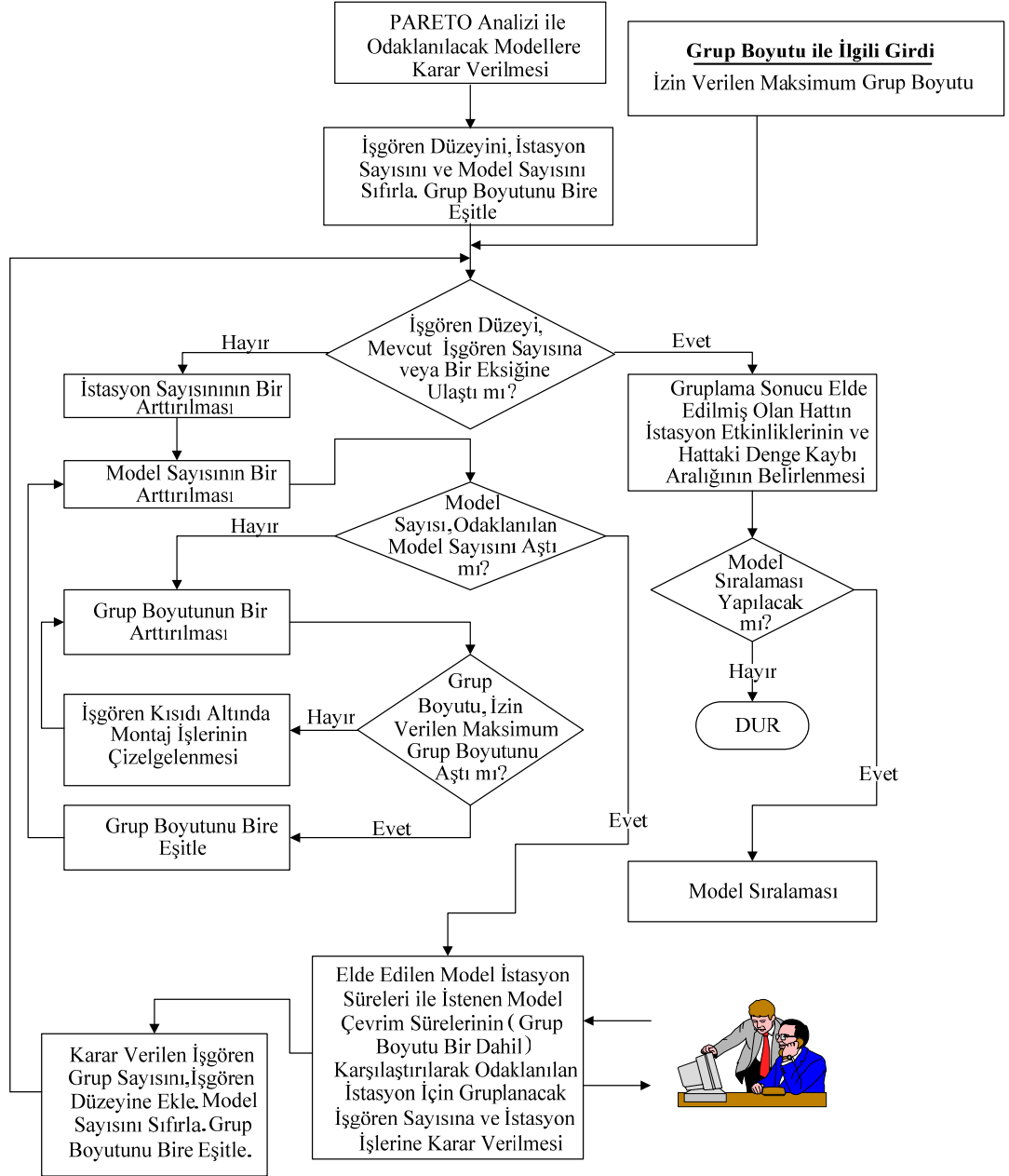
B modelinde bu örnekte işgörenler arası iş transferi iş süresi veya öncelik kısıtları nedeniyle olmamıştır. Görüldüğü üzere dikey dengeleme yatay dengeleme sonucu oluşan iş yükü dengesizliklerini azaltarak, işgörenler arası iş yükü düzleştirilmesi sağlar. Metodolojinin yatay dengeleme adımında olduğu gibi dikey dengeleme adımında da çevrim sürelerinin %1 aşımına izin verilmektedir.

4.2.3. İşgören Kısıdı Altında İş Çizelgeleme ve Fiziksel İstasyon Oluşturma

İşgörenleri istenen çevrim sürelerini dikkate alarak takım haline getirmek amacıyla yapılır. Montaj hatlarında işgörenleri takım haline getirmek, istasyondaki akış süresini paralel işlerin eşzamanlı yapılmasına imkân vererek kısalttığı gibi hat alanından da tasarruf sağlar.

Geliştirilen takım kurma yaklaşımı, projelerin kısıtlı kaynaklar altında çizelgelenmesi için geliştirilmiş olan **ACTIM** (Activity Süresi) ölçütünün, (bu çalışmada **MONSÜR** (Montaj Süresi) kullanılmıştır.) işgören kısıdı altında montaj işlerini çizelgelemek için kullanılması ile geliştirilmiştir.

Şekil 4.7’de metodolojinin üçüncü adımı olan fiziksel istasyon oluşturma algoritması görülmektedir.



Şekil 4.7: Fiziksel İstasyon Oluşturma (Durmuşoğlu ve diğ., 2005)

Takım boyutlarına karar verirken ideal takım boyutunun hesaplanmış akış süresinin her model için çevrim süresini en fazla %15'i kadar aşması gerektiğini göz önünde bulundurmak gerekir.

İşgören kısıdı altında montaj işleri şu adımları takip ederek çizelgelenir:

1. Odaklanılan bir model ve bir grup boyutu için, öncelik diyagramı üzerindeki her montaj işinin, kendisi ve diyagram üzerinde öncelik ilişkili geri kalan montaj işlerinin, montaj süreleri (MONSÜR) toplamını hesapla. Eğer birden fazla öncelik

ilişkili rota varsa, en yüksek montaj süresi toplamını bul. Bulunan değeri, ilgili montaj işinin MONSÜR ölçütü değeri olarak kabul et.

2. Azalan MONSÜR değeri sırasına göre işleri derecelendir. Aynı MONSÜR değerine sahip birden fazla iş varsa, montaj süresi uzun olanı öne alarak eşitliği boz.

3. Şimdiki zamanı gösteren TŞİM değerini sıfırla. Mevcut kaynak sayısını, işgören grup sayısı olarak al. $TŞİM=0$ 'da öncelikleri bozmayan en uzun MONSÜR değerlerine sahip işleri, çizelgeye alınabilecek müsaade edilir işler halinde sapt. Söz konusu işlerin, en erken kaynak tarafından ele alınabileceği zamanı (TERK), TŞİM'e eşitle. İşlerle işleri gerektiren mevcut kaynakları (işgörenleri) birleştirerek çizelgeyi oluşturmaya başla.

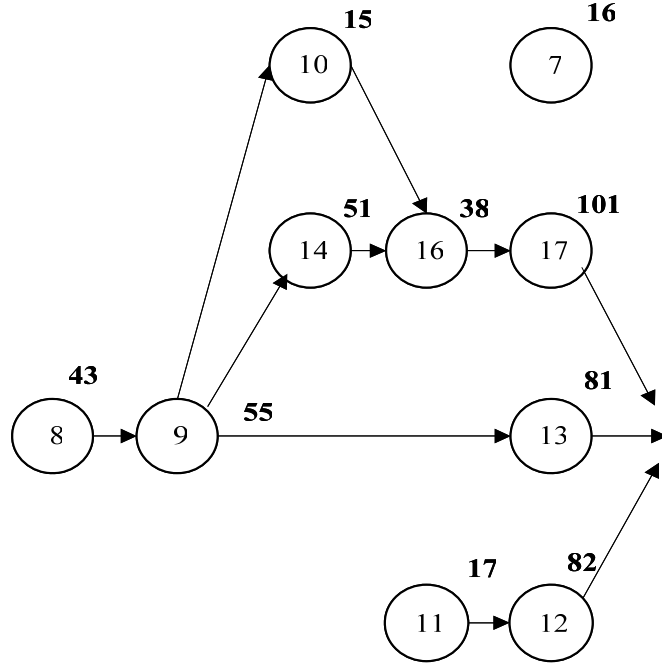
4. İşlerle kaynakları birleştirirken kaynağın işe başlama zamanını (TBAŞL) bul (TBAŞL' a, TERK' e eşit veya TERK' den daha büyüktür). TBAŞL'ı, işin montaj süresi ile topla. İşin tamamlanma zamanını (TTAM) elde et.

5. Yeni TŞİM değerini bul. Bu elde edilen minimum değerli TTAM'dır. TŞİM zamanında mevcut veya serbest kaynak (işgören) sayısını bul. TŞİM'e göre öncelik diyagramı kısıtlarını göz önüne alarak müsaade edilir montaj işlerini, yine MONSÜR değeri sırasına uygun olarak belirle. Serbest işgören ile sırayla müsaade edilir montaj işlerini eşleştirerek çizelgeyi oluşturmaya devam et ve yeni TTAM değerlerini hesapla.

6. Tüm montaj işleri çizelgelendi ise, Adım 7'ye, aksi takdirde Adım 5'e git.

7. İlgili model ve işgören grubundaki her işgörenin yaptığı montaj işlerini ve en son TTAM değerini, başka bir deyişle istasyon süresini (çevrim süresini) bir matrisle yerleştir (**Elsayed ve Boucher, 1985**).

İşgören kısıdı altında montaj işlerin çizelgelenmesini bir örnek üzerinde irdeleyelim. Örnek aynı zamanda işgörenleri takım haline getirmek ile teker teker çalıştırmak arasındaki farkı da vurgulamaktadır.



Şekil 4.9: İlk İki İşgörenin Gruplanmasıyla Oluşan Öncelik Diyagramı

Şekil 4.9’da görülen işlerin MONSÜR ölçütleri aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{MONSÜR (8)} = \text{maks. } \{43+55+15+38+101; 43+55+51+38+101; 43+55+81\}$$

$$\text{MONSÜR (8)} = \text{maks. } \{252; 288; 179\} \quad \text{MONSÜR (8)} = \mathbf{288}$$

$$\text{MONSÜR (9)} = \text{maks. } \{209; 245; 136\} \quad \text{MONSÜR (9)} = \mathbf{245}$$

$$\text{MONSÜR (10)} = 15+38+101 \quad \text{MONSÜR (10)} = \mathbf{154}$$

$$\text{MONSÜR (14)} = 51+38+101 \quad \text{MONSÜR (14)} = \mathbf{190}$$

$$\text{MONSÜR (16)} = 38+101 \quad \text{MONSÜR (16)} = \mathbf{139}$$

$$\text{MONSÜR (13)} = 81 \quad \text{MONSÜR (13)} = \mathbf{81}$$

$$\text{MONSÜR (17)} = 101 \quad \text{MONSÜR (17)} = \mathbf{101}$$

$$\text{MONSÜR (11)} = 17+82 \quad \text{MONSÜR (11)} = \mathbf{99}$$

$$\text{MONSÜR (12)} = 82 \quad \text{MONSÜR (12)} = \mathbf{82}$$

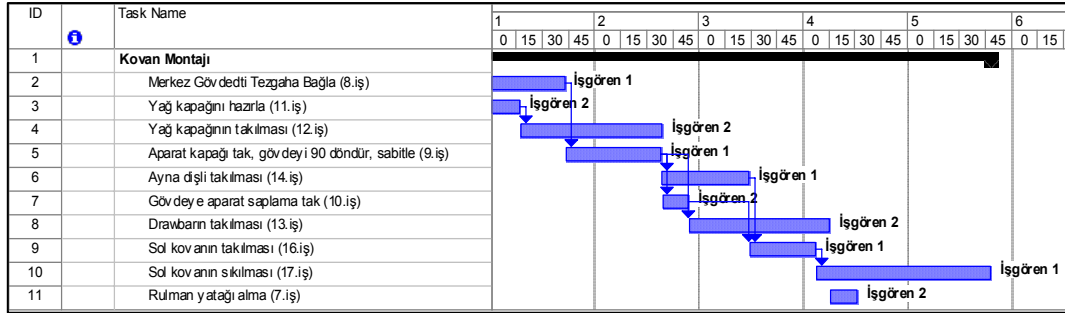
$$\text{MONSÜR (7)} = 16 \quad \text{MONSÜR (7)} = \mathbf{16}$$

Şekil 4.9’da görülen montaj işleri kısıtlı kaynaklar altında Tablo 4.11’deki gibi çizelgelenir.

Tablo 4.11: Şekil 4.9’deki İşlerin Kısıtlı Kaynaklar altında Çizelgelenmesi

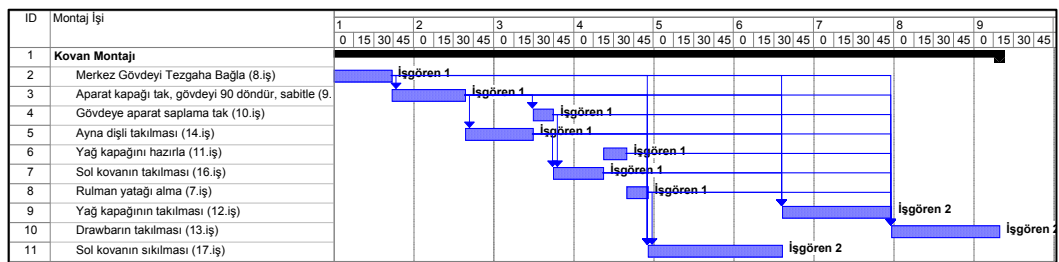
	Montaj İşleri									
	8	9	14	10	16	17	11	12	13	7
MONSÜR	288	245	190	154	139	101	99	82	81	16
Süre	43	55	51	15	38	101	17	82	81	16
Gerekli Kaynak	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TERK	0	43	98	98	149	187	0	17	98	0
TBAŞL	0	43	98	99	149	187	0	17	114	195
TTAM = TBAŞL + Süre	43	98	149	114	187	288	17	99	195	211
TŞİM	0	17	43	98	99	114	149	187	195	
Mevcut Kaynaklar	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Müsade Edilir İşler	8,11,7	12,7	8,7	10,14,13,7	10,13,7	13,7	16,7	17,7	1	
İterasyon No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Bu çizelge Gannt şemasında Şekil 4.10’deki gibi ifade edilir.



Şekil 4.10: Tablo 4.11’in Gannt Şemasında İfadesi

Eğer her iki işgören de ayrı ayrı birer istasyon olarak kabul edilseydi Şekil 4.11’deki Gannt diyagramı oluşurdu.

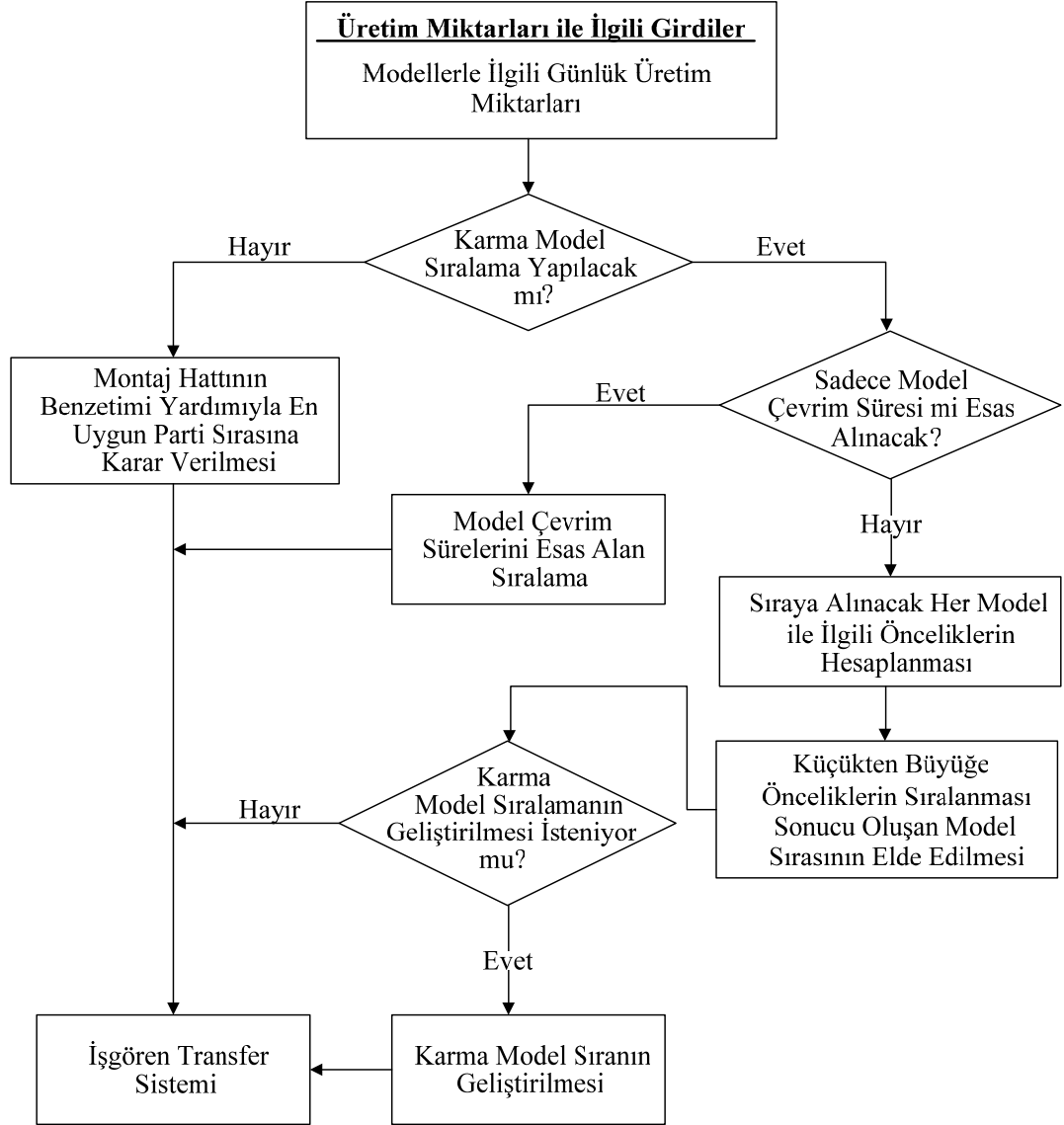


Şekil 4.11: İki İşgörenin Ayrı Ayrı Çalışması

Şekillerden de görülmektedir ki; iki işgören gruplanıp bir takım oluşturulursa iki işgörene atanan işler 288 saniyede biterken, işgörenler ayrı ayrı çalıştırılırsa 497 saniyede bitmektedir. Bir diğer deyişle bu örnekte bu örnekte iki yaklaşım arasında, akış süresi bazında 209 saniye fark vardır.

4.2.4. Model Sıralama

Bu aşamada montaj hattına girecek iş sırasına karar verilir. Model sıralama, bloklanma ve iş bekleme olaylarını (sürekli hatlarda hat durdurma olasılığını) en azlamak ve montajda parça kullanım hızını sabitlemek ve yarı mamul stokunu azaltmak amacı ile yapılır. Metodolojinin model sıralama adımı Şekil 4.12’te gösterilmektedir.



Şekil 4.12: Model Sıralama (Durmuşoğlu, 2004)

Sıralama olarak mümkün olduğu kadar karma model sıralamasını kullanmak yukarıda belirtilen sıralama amaçlarını karşılayacaktır. Bunun için, gerçek hayat sorunlarında (4.90) formülünün kullanılması önerilmektedir (Merengo ve diğ., 1999).

$$DD(m,\acute{e}) = \left(\acute{e} - \frac{1}{2} \right) \frac{D}{D_m} \quad (4.90)$$

\acute{e} : “m” modelinin sıraya alınması için kullanılan indis

D: Toplam günlük talep

D_m : “m” modelinin günlük talebi

$DD(m,\acute{e})$: Sıraya alınan “ \acute{e} ” no’lu “m” modelinin önceliği

Örnek 4.4

1, 2 ve 3 kodlarıyla gösterilen üç modelin bir günlük periyotta monte edileceğini düşünelim. Modellerin günlük talep miktarları ise sırasıyla 5, 3 ve 2 olsun.

Buna göre $DD(m,\acute{e})$ öncelikleri aşağıdaki tablodaki gibi hesaplanır:

Tablo 4.12: Sıralama Önceliklerinin Hesaplanması

m	$DD(m,1)$	$DD(m,2)$	$DD(m,3)$	$DD(m,4)$	$DD(m,5)$
1	1	3	5	7	9
2	1.67	5	8.33	-	-
3	2.5	7.5	-	-	-

Bu tablodan hareketle en küçük değerden büyüğe doğru sıralama ile o gün

1-2-3-1-2-1-1-3-2-1 şeklindeki sıralama, sıralama amaçlarını karşılayan, karma model sırası olarak önerilir.

Model çevrim sürelerini esas alan sıralama ise aşağıdaki adımlardan oluşur:

1. Hatta girecek modellerin çevrim sürelerinin ağırlıklı ortalamasını hesapla.
2. Sıradaki ilk modelin çevrim süresini, takip eden sıradaki her bir modelin çevrim süresi ile ayrı ayrı toplayıp ortalama çevrim sürelerini hesapla. Hatta hesaplanan ağırlıklı ortalama ile karşılaştır. Farkların mutlak değerlerini bul.
3. Mutlak değerce en küçük fark değerine sahip karşılaştırılan modeli bul ve sıradaki ilk modelin yanına çek. Hemen yanında bulunuyorsa bir değişiklik yapma. Yeri kaydırılmış veya değişiklik yapılmamış modeli, artık sıradaki ilk model olarak sapta.
4. Sıradaki ilk model, sondan bir önceki model ise, Adım 5’e git. Değilse Adım 2’ye dön.
5. DUR

Yukarıda bahsedilen iki sıralama metodundan biri uygulandıktan sonra elde edilen karma model sırası aşağıdaki şekilde geliştirilebilir:

1. Hatta girecek modellerin çevrim sürelerinin ağırlıklı ortalamasını hesapla.
2. Karma model sıranın, sıradaki ilk modeline odaklan. Odaklanılan modelle ilgili ikili karşılaştırma sayısını sapt. Şöyle ki; karma modele alınmış günlük model üretim sayısını, odaklanılan modelin üretim sayısına oranla. Elde edilen sayıyı, belirli bir tarama sayısı (örneğin + 2) ile toplayarak karşılaştırma sayısını bul.
3. Sıradaki ilk modelin çevrim süresini, karşılaştırma aralığı içindeki her bir modelin çevrim süresi ile ayrı ayrı toplayıp ortalama çevrim sürelerini hesapla. Hatta hesaplanan ağırlıklı ortalama ile karşılaştır. Farkların mutlak değerlerini bul.
4. Mutlak değerce en küçük fark değerine sahip karşılaştırılan modeli bul ve sıradaki ilk modelin yanına çek. Hemen yanında bulunuyorsa bir değişiklik yapma. Yeri kaydırılmış veya değişiklik yapılmamış modeli, artık sıradaki ilk model olarak sapt.
5. Sıradaki ilk model, sondan bir önceki model ise, Adım 6'ya git. Değilse Adım 2'ye dön.
6. DUR

Örnek 4.5

Örnek 5.4'te 1, 2, 3 ile gösterilen üç modelin üretim miktarları sırasıyla 5, 3 ve 2 idi. Bu örnekte aşağıdaki karma model sırası elde edilmişti:

1-2-3-1-2-1-1-3-2-1

Modellerin çevrim süreleri sırasıyla 4, 8 ve 5 dakika olsun.

Ağırlıklı ortalama çevrim süresi : $(4+8+5+4+8+4+4+5+8+4)/10 = 5.4$ dakika

Öteleme sayısı = 0 olsun.

1. sıradaki Model 1 'in yanına hangi model alınacaktır?

Model 1'in ikili karşılaştırma sayısı: $10/5 + 0 = 2$

Model 1 ile Model 2'yi karşılaştırma : $(4+8)/2 = 6$ $6-5.4 = 0.6$

Model 1 ile Model 3'ü karşılaştırma : $(4+5)/2 = 4.5$ $4.5-5.4 = 0.9$

Buna göre Model 1'in yanında, Model 2 kalacaktır.

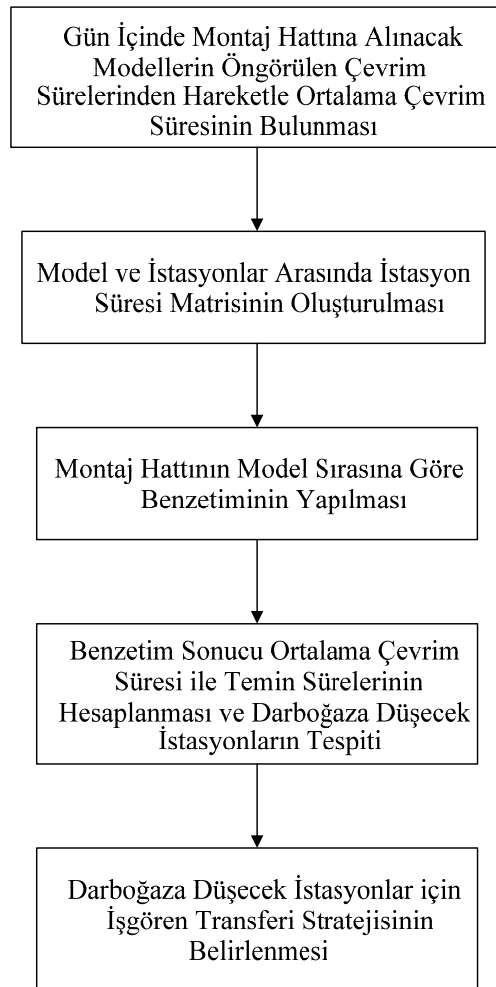
Bir modelini(Model Sayısı-1), ikili karşılaştırmaya sokarsak, o takdirde, başlangıçta elde edilen karma model sıralama yapısı bozulur. Örneğin üstteki sıralama, aşağıdaki şekli alır:

1-2-1-2-1-2-1-3-1-3

Daha sonra algoritma, yeri kaydırılmış veya değişiklik yapılmamış modeli, sıradaki ilk model olarak saptayarak devam eder.

4.2.5. İşgören Transfer Sistemi

Dengeleme ve sıralamanın etkin olarak gerçekleştirilememesinden kaynaklanan sorunları gidermek amacıyla komşu istasyonlar arasında işgören transferi sisteminin kurulmasını kapsar. Böylece gün içinde oluşan darboğazlar giderilebilir. Şekil 4.13'te işgören transfer sisteminin öngörülen akışı görülmektedir.



Şekil 4.13: İşgören Transfer Sistemi (Durmuşoğlu, 2004)

5. BİR TRAKTÖR MONTAJ HATTINDA UYGULAMA

Çalışmasının uygulama kısmı, Uzel Makine Sanayi A.Ş.'nin traktör montaj hattında yapılmıştır.

5.1. Uygulamanın Yapıldığı Firmanın Tanıtımı

Uzel, yaklaşık 70 yıllık bir ticari ve sınaî geçmişe sahip olan, Türkiye'nin ekonomik tarihinde birçok ilklere imza atmış, merkezi Amsterdam Hollanda'da bulunan uluslararası bir mühendislik grubudur.

Uzel, tüm dünyaya yayılmış 160'ı aşkın satış ve servis teşkilatı, Makedonya, Sırbistan Karadağ, Almanya ve Amerika'da kendi sermayesi ile kurduğu şirketleri ve Türkiye sathında faaliyet gösteren 633 noktadaki bayi ağı ile tüketicisine hizmet vermektedir. Tarım makineleri sektöründe en yaygın satış ve satış sonrası hizmet ağına sahip Uzel, ayrıca dünyanın en büyük ilk 10 traktör üreticisi arasındadır.

Uzel, dünyanın önde gelen tarım makineleri üreticilerinden biri olmasının yanı sıra, dizel motor üretimi ve otomotiv sistemleri sektörlerinde de lider bir kuruluştur. Uzel, aynı zamanda, Kapital Ünitesi altında finans, turizm ve yapı alanlarında da ürün ve hizmetler sunmaktadır. 2000'in üzerinde çalışanı olan Uzel, 70'in üzerinde ülkeye ihracat yapmaktadır.

Uzel, 4 iş ünitesi altında yapılanmıştır.

- a) Tarım Makineleri
- b) Otomotiv Sistemleri
- c) Motor
- d) Kapital

Tarım makineleri: 1961 yılında Massey Ferguson ile yapılan lisans anlaşması ile traktör üretimine başlayan Uzel, 2003 yılında gerçekleştirdiği 8.282 adetlik traktör satışı ile % 46'lık bir payla sektör liderliğine ulaşmıştır. Uzel, üretim adetleri açısından dünyanın 10 büyük traktör üreticisinden biridir. Tarım Makineleri Ünitesi,

Türkiye, Makedonya ve Kosova'da kurulu satış ve pazarlama sistemi ile bölgede lider konumdadır. Uzel'in ürünleri, ABD'den Zimbabwe'ye kadar 41 ülkede kullanılmaktadır. Uzel büyüme stratejik hedefleri doğrultusunda 2005 Haziran ayı içerisinde Traktörde 51, ilaçlamada 117 yıllık tecrübesi olan Almanya merkezli Gebrüder HOLDER GmbH şirketini satın almış, 2005 Ağustos ayında donanım konusunda dünya lider şirketlerinden biri olan Norveç merkezli Kverneland Grubu ile de distribütörlük anlaşması imzalamıştır.

Türkiye'nin tarımsal üretiminde ve gelişiminde çok önemli bir yeri olan Uzel, yurt çapında 126 yedek parça ve 158 traktör satış bayisi ile konusunda en yaygın bayi sistemine sahip kuruluştur. Bunun yanı sıra 410 teknik servisi ile kurduğu geniş hizmet ağı, satış sonrası hizmetlerinin performansını yüksek bir seviyeye taşıyarak Uzel markasının güvenilirliğini perçinlemektedir.

Otomotiv: Otomotiv Sistemleri Ünitesi, otomotiv sektöründe dünya markalarına jant ve süspansiyon sistemleri sağlamaktadır. Otomotiv Sistemleri Ünitesi, dünya otomobil üreticileri ile ortak tasarım ve geliştirme çalışmaları yaparak, birincil tedarikçi olarak faaliyet göstermektedir.

Uzel, yıllık 1.500.000 helisel yay, 300.000 denge çubuğu üretim kapasitesine sahiptir. Otomobil jantlarında yıllık 1.500.000, ağır vasıta jantlarında ise 260.000 jantlık bir kapasite mevcuttur.

Uzel, yaprak yaylarda yurt içi OEM pazarının % 65' ine, helisel yayda % 46' sına, denge çubuğunda % 50' sine, jantta ise % 28' ine hakim olup, Tofaş, Otosan, Mercedes, Renault, Isuzu, Otokar, BMC, Otoyol, Hyundai, Karsan, Askam gibi ülkemizin belli başlı tüm otomotiv firmalarına ürünlerini satmaktadır.

Uzel yurt dışında ise Renault ve Wolkswagen gibi OEM firmaları ile ABD, Kuzey Afrika ve Avrupa' da pek çok ülkeye ürünlerini satmakta olup, Volvo ve Scania gibi firmaların potansiyel tedarikçisi konumundadır.

Motor: Motor Ünitesi, Türkiye'de 3 ve 4 silindirli dizel motor ve motor parçaları üretimi konusunda Türkiye, Balkanlar, Ortadoğu ve Türkî Cumhuriyetleri'nde Deutz motorlarının munhasır pazarlanması konusunda Uzel-Deutz ile iki şirket çatısı altında ortaklık yapmıştır.

Deutz marka motorların üretimi konusunda Uzel-Deutz Motor Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin Düzce'de gerçekleştirdiği yatırımın 2003 yılında faaliyete geçmesi ile başta

Tarım Makineleri Ünitesi ve Deutz AG'nin alımlarını karşılamak, aynı zamanda dünya pazarlarına sunulmak üzere 3 ve 4 silindirli dizel motorlar ve motor parçaları üretilmektedir.

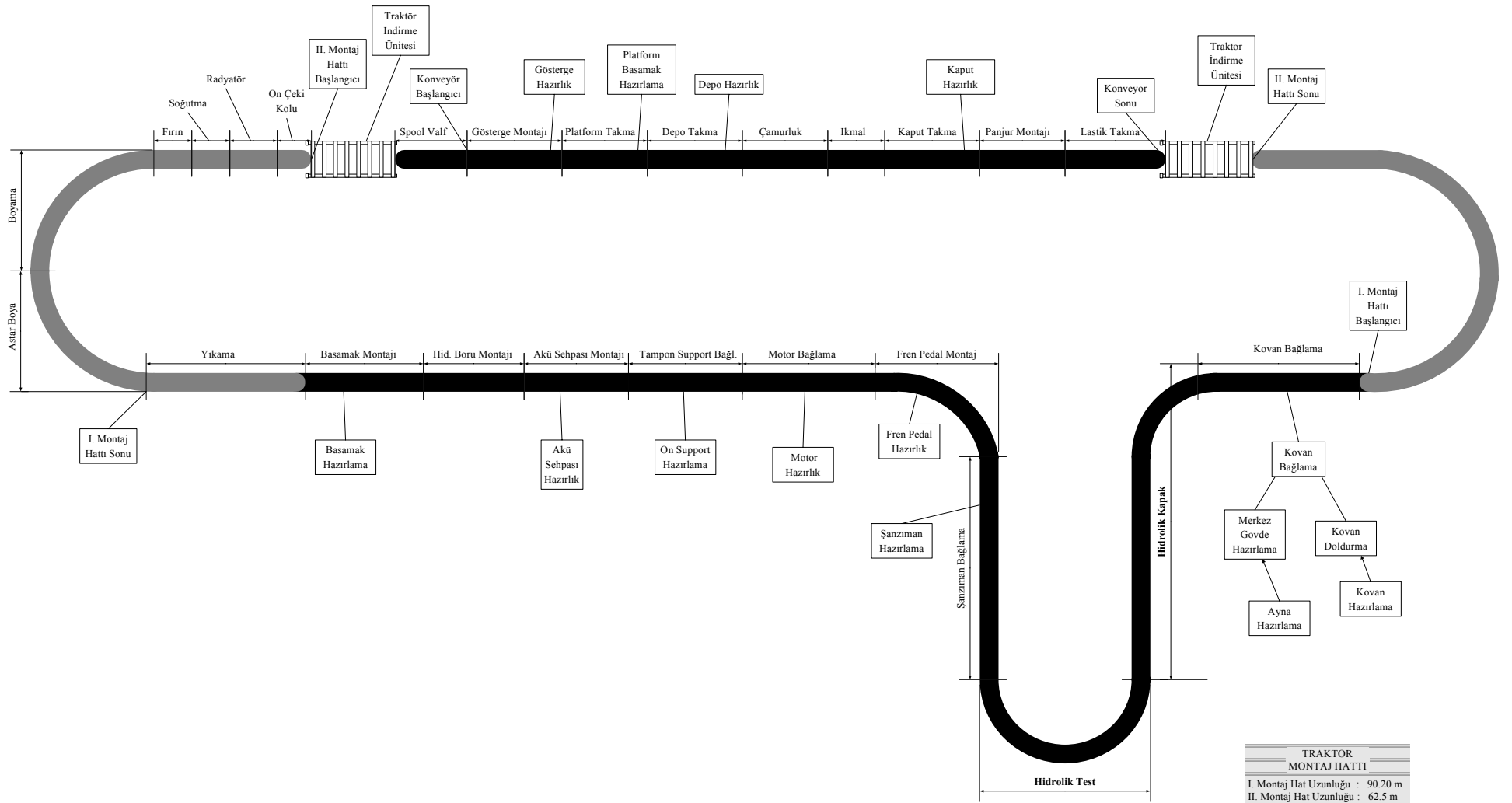
Deutz-Uzel Motor Ticaret A.Ş. ise 2002'den itibaren, kademeli bir geçişle Türkiye, Balkanlar, Ortadoğu ve Türki Cumhuriyetleri'nde Uzel-Deutz markalı motorların pazarlanması konusunda faaliyet göstermektedir.

Kapital: Uzel bünyesinde gerçekleştirilen Yapı, Gayrimenkul, Turizm, Finans ve Sigorta operasyonlarını Kapital Ünitesi çatısı altında toplanmıştır.

Varlık yönetimi esası ile çalışmalarını sürdürmekte olan Kapital Ünitesi'nin ana hedefi, grubun varlıklarını yönetmek ve varlıklara değer kazandırmaktır.

5.2. Uygulamanın Yapıldığı Kısım

Dördüncü bölümde anlatılan metodoloji, Uzel Makine A.Ş. traktör montaj biriminde, montaj-1 hattının “Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” kısımlarında uygulanacaktır. Uygulamanın yapıldığı kısımların genel sistem üzerindeki yerini belirtmek amacıyla, Şekil 5.1’de traktör montaj biriminin yerleşim planı verilmiştir.



TRAKTÖR MONTAJ HATTI	
I. Montaj Hat Uzunluğu	: 90.20 m
II. Montaj Hat Uzunluğu	: 62.5 m
Aktif Hat Uzunluğu	: 152.70 m
II. Montaj Konveyör Uzunluğu	: 56 m
Toplam Hat Uzunluğu	: 170.40 m

Şekil 5.1: Uzel Traktör Montaj Birimi

Uzel Makine A.Ş. traktör montaj biriminde 24 ana modele ait 412 adet opsiyonel modelin montajı gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle uygulamaya alınacak modellerin seçimi için Pareto analizi yapılmıştır. Yapılan Pareto analizine göre, talebin %81'ini, opsiyonel modellerin %19,5'i (81 adet) oluşturmaktadır. Bu, alt modeller de 24 ana modelden, 6'sına aittir. Bu yüzden uygulamaya bu altı model alınmıştır. Uygulamaya alınan modellerle ilgili veriler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Uygulamaya Alınan Modeller

Model Kodu	T240	T266	T3075	T3085	T431	T461
Model No	1	2	3	4	5	6
Çevrim Süresi (sn.)	348	576	576	672	456	486

“Hidrolik Kapak” kısmında yukarıda belirtilen modellere ait işler ve süreleri Tablo 5.2'de belirtilmiştir.

Tablo 5.2: Hidrolik Kapak Kısımındaki İşler ve Süreleri

İş No	İş İsmi	Öncül İş(ler)					
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
3230	Hassasiyet ve valf kiliti hazırlanması (Hidrolik kapak kapama)	-	-	-	-	-	-
3235	Hassasiyet kapak montajı (Hidrolik kapak kapama)	3230	3230	-	-	3230	3230
3240	Hidrolik kapagın arabaya konulması (Hidrolik kapak kapama)	3270-3355	3270-3355	-	-	3270-3355	3270-3355
3245	Hidrolik kapagın montajı (Hidrolik kapak kapama)	3285	3285	-	-	3285	3285
3250	Kapak kontrolü (Hidrolik kapak kapama)	3245	3245	-	-	3245	3245
3255	Sellektör valfin malzemelerinin hazırlanması (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3230	3230	-	-
3265	Hassasiyet kapagına levye montajı (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3255	3255	-	-
3270	Hassasiyet kapagına saft montajı (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3265	3265	-	-
3275	Kilitleme valfin hazırlığı (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3295	3295	-	-
3280	Kapak kompleksi traktöre koy (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3295-3275	3295-3275	-	-
3285	Hidrolik kapak kompleksinin merkez gövdeye koy (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3240	3240	-	-
3290	Hidrolik kapak civatalarının saklanması (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3245	3245	-	-
3295	Sellektör valf ve kilitleme valfinin montajının yapılması (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3290	3290	-	-
3300	Büyük ve küçük kadrant tablalarının hazırlığı (Kadrant hazırlama)	3305	-	-	-	3305	3305
3305	Saft çubuğunun haz ve kadrant mesnetine montajı (Kadrant hazırlama)	3360	3360	3360	3360	3360	3360
3310	Kadrant tablalarının mesnetine montajı (Kadrant hazırlama)	3300-3305	-	-	-	3300-3305	3300-3305
3315	Sport ve levyenin kadrant gövdesine montajı (Kadrant hazırlama)	3310	3310	3310	3310	3310	3310
3320	Uzun levyenin mesnetine montajı (Kadrant hazırlama)	-	3315	3315	3315	-	-
3325	Kadrant gövdesini hazırlama (Kadrant hazırlama)	3320	3320	3320	3320	3320	3320
3330	Silindirin hazırlanması (Silindir hazırlama)	3360	3360	3360	3360	3360	3360
3335	İtici başlığın hazırlanması (Hidrolik kapak hazırlama)	3265	3265	3265	3265	3265	3265
3340	Hidrolik kapak hazırlama (Hidrolik kapak hazırlama)	3335	3335	3335	3335	3335	3335
3345	Hidrolik kapaga silindir takma (Silindir takma)	3340-3330	3340-3330	3340-3330	3340-3330	3340-3330	3340-3330
3350	Kadrant mesnet kompleksinin kapaga montajı (Kadrant ayarı)	3345-3325	3345-3325	3345-3325	3345-3325	3345-3325	3345-3325
3355	Kaldırıcı kolların montajı (Kaldırıcı kolu takma)	3350	3350	3350	3350	3350	3350
3360	Oto-liftin hazırlanması (Mesnete oto-lift toplama)	-	-	3335	3335	-	-

“Hidrolik Test” kısmında yukarıda belirtilen modellere ait işler ve süreleri Tablo 5.3’te belirtilmiştir.

Tablo 5.3: Hidrolik Test Kısımındaki İşler ve Süreleri

	İş No	İş İsmi	Süre (sn.)					
			Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Hidrolik test	3365	Transaxle kompleyi teste bağlama (Hidrolik test 1- Hidrolik test 2)	159	159	159	159	159	159
	3370	Sol tarafın hazırlığını yapma (Hidrolik test 1)	71	71	71	71	71	71
	3375	Sağ tarafın hazırlığını yapma (Hidrolik test 1)	59	59	59	59	59	59
	3380	Basınç ayarı ile iç kadran ayarı yapma (Hidrolik test 1)	209	99	99	99	209	209
	3385	Dış kadran ayarını yapma (Hidrolik test 1)	191	153	153	153	191	191
	3390	Sol taran hazırlığını yapma (Hidrolik test 1)	31	31	31	31	31	31
	3395	Sağ tarafın hazırlığını yap yap	171	171	171	171	171	206
	3400	Transaxle kompleyi hat arabasına koyma (Hidrolik test 1- Hidrolik test 2)	191	191	191	191	191	226
	3405	Oto-lif ve kilitleme valf ayarının yapılması (Hidrolik test 1)	0	75	108	108	0	0

“Hidrolik Kapak” kısmındaki montaj işlerinin öncelikleri Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.4: Hidrolik Kapak Kısımındaki İşler ve Öncelikleri

İş No	İş İsmi	Öncelik İş(ler)					
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
3230	Hassasiyet ve valf kilitli hazırlanması (Hidrolik kapak kapama)	-	-	-	-	-	-
3235	Hassasiyet kapak montajı (Hidrolik kapak kapama)	3230	3230	-	-	3230	3230
3240	Hidrolik kapakın arabaya konulması (Hidrolik kapak kapama)	3270-3355	3270-3355	-	-	3270-3355	3270-3355
3245	Hidrolik kapakın montajı (Hidrolik kapak kapama)	3285	3285	-	-	3285	3285
3250	Kapak kontrolü (Hidrolik kapak kapama)	3245	3245	-	-	3245	3245
3255	Sellektör valfin malzemelerinin hazırlanması (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3230	3230	-	-
3265	Hassasiyet kapakına levye montajı (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3255	3255	-	-
3270	Hassasiyet kapakına şaft montajı (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3265	3265	-	-
3275	Kilitleme valfin hazırlığı (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3295	3295	-	-
3280	Kapak kompleksini traktöre koy (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3295-3275	3295-3275	-	-
3285	Hidrolik kapak kompleksini merkez gövdesine koy (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3240	3240	-	-
3290	Hidrolik kapak civatalarının sıkılması (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3245	3245	-	-
3295	Sellektör valf ve kilitleme valfinin montajının yapılması (Hidrolik kapak kapama)	-	-	3290	3290	-	-
3300	Büyük ve küçük kadrın tablalarının hazırlığı (Kadrın hazırlama)	3305	-	-	-	3305	3305
3305	Şaft çubuğunun haz ve kadrın mesnetine montajı (Kadrın hazırlama)	3360	3360	3360	3360	3360	3360
3310	Kadrın tablalarının mesnete montajı (Kadrın hazırlama)	3300-3305	-	-	-	3300-3305	3300-3305
3315	Sport ve levyenin kadrın gövdesine montajı (Kadrın hazırlama)	3310	3310	3310	3310	3310	3310
3320	Uzun levyenin mesnete montajı (Kadrın hazırlama)	-	3315	3315	3315	-	-
3325	Kadrın gövdesini hazırla (Kadrın hazırlama)	3320	3320	3320	3320	3320	3320
3330	Silindirin hazırlanması (Silindir hazırlama)	3360	3360	3360	3360	3360	3360
3335	İtici başlığın hazırlanması (Hidrolik kapak hazırlama)	3265	3265	3265	3265	3265	3265
3340	Hidrolik kapak hazırlama (Hidrolik kapak hazırlama)	3335	3335	3335	3335	3335	3335
3345	Hidrolik kapak silindir takma (Silindir takma)	3340-3330	3340-3330	3340-3330	3340-3330	3340-3330	3340-3330
3350	Kadrın mesnet kompleksinin kapak montajı (Kadrın ayarı)	3345-3325	3345-3325	3345-3325	3345-3325	3345-3325	3345-3325
3355	Kaldırıcı kolların montajı (Kaldırıcı kolu takma)	3350	3350	3350	3350	3350	3350
3360	Oto-liftin hazırlanması (Mesnete oto-lift toplama)	-	-	3335	3335	-	-

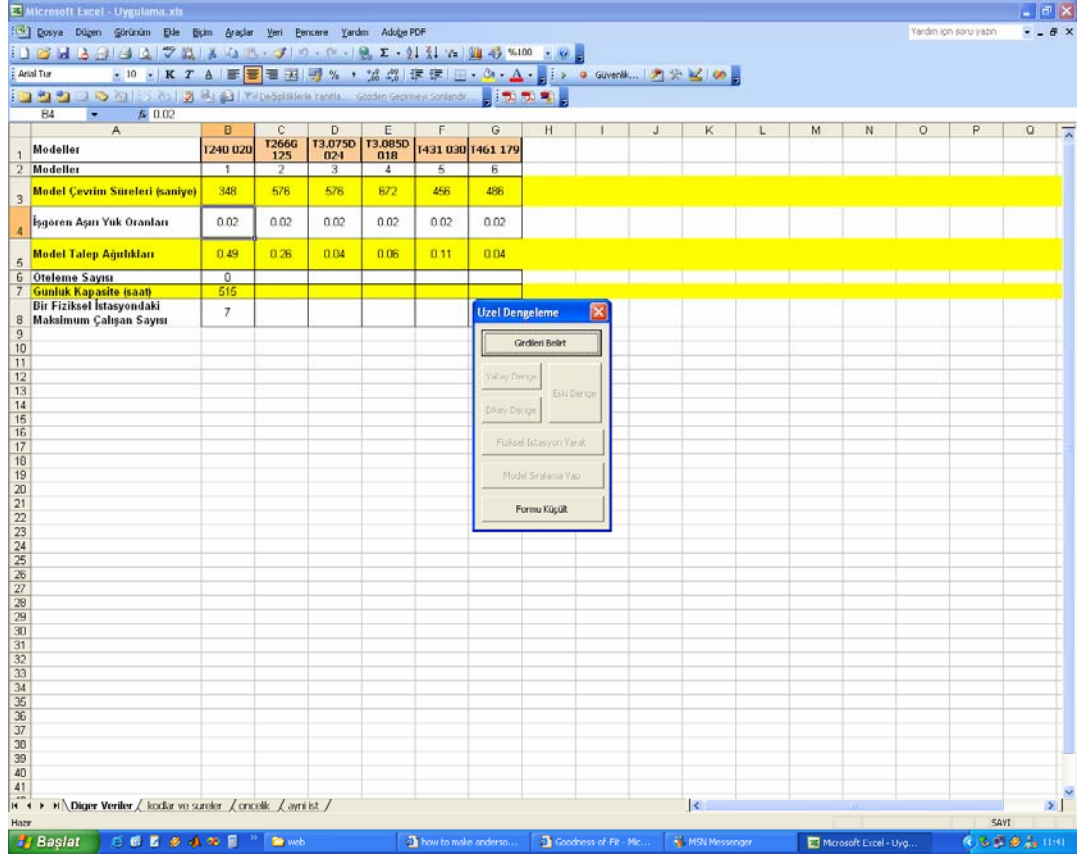
“Hidrolik Test” kısmındaki montaj işlerinin öncelikleri ise Tablo 5.5’te belirtilmiştir.

Tablo 5.5: Hidrolik Kapak Kısımındaki İşler ve Öncelikleri

İş No	İş İsmi	Öncül İş(ler)						
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	
Hidrolik test	3365	Transaxle kompleyi teste bağlama (Hidrolik test 1- Hidrolik test 2)	3280	3280	3280	3280	3280	3280
	3370	Sol tarafın hazırlığını yapma (Hidrolik test 1)	3365	3365	3365	3365	3365	3365
	3375	Sağ tarafın hazırlığını yapma (Hidrolik test 1)	3370	3370	3370	3370	3370	3370
	3380	Basınç ayarı ile iç kadran ayarı yapma (Hidrolik test 1)	3375	3375	3375	3375	3375	3375
	3385	Dış kadran ayarını yapma (Hidrolik test 1)	3380	3380	3380	3380	3380	3380
	3390	Sol taran hazırlığını yapma (Hidrolik test 1)	3405	3405	3405	3405	3405	3405
	3395	Sağ tarafın hazırlığını yap	3390	3390	3390	3390	3390	3390
	3400	Transaxle kompleyi hat arabasına koyma (Hidrolik test 1- Hidrolik test 2)	3395	3395	3395	3395	3395	3395
	3405	Oto-lif ve kilitleme valf ayarının yapılması (Hidrolik test 1)	-	3385	3385	3385	-	-

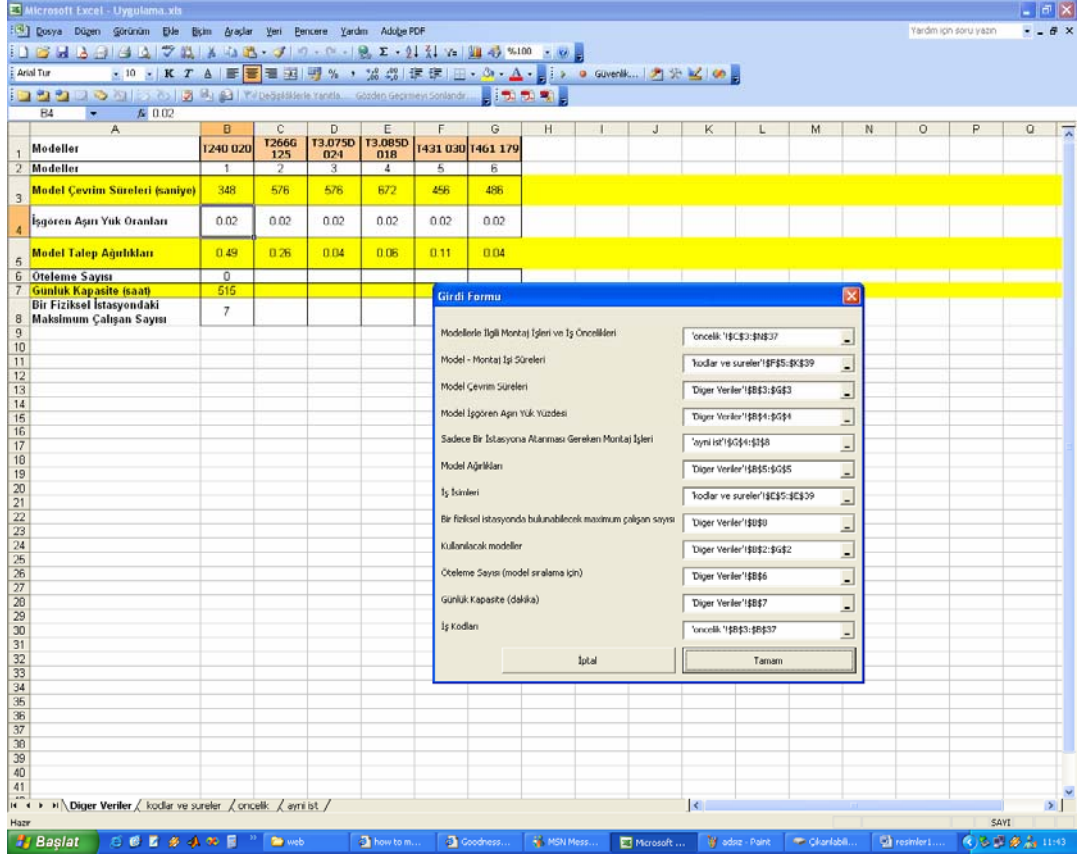
5.3. Kullanılan Yazılım

Uzel Makine A.Ş. traktör montaj biriminde takım çalışması esaslı montaj hattı tasarımına yönelik geliştirilmiş bir yazılım mevcuttur. Yazılım MATLAB koduyla geliştirilmiştir. Geliştirilen metodolojinin metodolojinin ilk üç adımı olan yatay dengeleme, dikey dengeleme ve fiziksel istasyon oluşturmada uygulanırken bu yazılım kullanılacaktır. Yazılım, kullanılacağı veri dosyası açıldıktan sonra çağrıldığında kullanıcı Şekil 5.2’de gösterilen arayüz ile karşılaşır.



Şekil 5.2: Kullanılan Yazılımın Başlangıç Arayüzü

Gerekli veriler yazılıma “Girdileri Belirle” butonuna tıkladığında kullanıcının karşısına çıkan ve Şekil 5.3’te gösterilen arayüz vasıtasıyla girilir. Veriler girildikten sonra yazılım veri tutarlılığını kontrol eder. İlk üç adımda yazılım, modeller, modellerin çevrim süreleri, iş isimleri, iş kodları, işler arası öncelik ilişkileri, bir fiziksel istasyonda çalıştırılabilecek en yüksek işgören sayısı ve her modelde aynı işgörene atanması istenen işler ve dengeleme için model çevrim süresini aşma sınırı ile ilgili verileri kullanır.



Şekil 5.3: Kullanılan Yazılımın Veri Girme Arayüzü

“Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” kısımlarında yapılan uygulamada her modelde aynı istasyona atanması istenen işler; 3305, 3310, 3320, 3330, 3335, 3340, 3340,3345, 3350, 3355 ve 3360’tır. Dengeleme için model çevrim süresini aşma sınırı ise 0,02 olarak belirlenmiştir.

5.4. Yatay Dengeleme Adımının Uygulanması

Geliştirilen metodolojinin ilk adımı olan ve işgören sayısını en küçüklemeyi amaçlayan yatay dengelemede adımımı için gerekli veriler daha önce yazılıma girilmişti. Yazılım girilen verilerde bir tutarsızlık görmez ise yatay dengeleme butonunu aktif hale getirir. Yazılım faaliyete geçirilmiş ve model bazında Tablo 5.6’da gösterilen sonuç elde edilmiştir. Bu tabloda yatay dengelemede model bazında işgörenler ve bu işgörenlere atanan işler mevcuttur.

Tablo 5.6: Yatay Dengeleme Sonucu

İşgören No	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
1	3230-3335-3305	3230-3335-3305-3235	3255-3265-3335-3360-3305-3270	3255-3265-3335-3360-3270	3230-3335-3305-3235	3230-3335-3305-3235
2	3300-3310-3315-3325	3315-3320-3325	3315-3320-3325	3315-3320-3325	3300-3310-3315-3325	3300-3310-3315-3325
3	3340	3340	3340	3340	3340	3340
4	3330-3235	3330	3330	3330	3330	3330
5	3345	3345	3345	3345	3345	3345
6	3350	3350	3350	3350	3350	3350
7	3355-3240	3355-3240-3245-3250	3355-3285	3355-3285	3355-3240-3245	3355-3240-3245
8	3245-3365	3365-3370-3375-3380-3385	3290-3295-3275-3280	3290-3295-3275-3280-3365	3365-3370-3375-3250	3365-3370-3375-3250
9	3370-3375-3380	3405-3390-3395-3400	3365-3370-3375-3380-3385	3370-3375-3380-3385-3405-3390	3380-3385	3380-3385
10	3385-3390-3250	-	3405-3390-3395-3400	3395-3400	3350-3395-3400	3390-3395-3400
11	3395	-	-	-	-	-
12	3400	-	-	-	-	-

Yatay dengeleme sonucu, “Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” kısımlarındaki işlerin on iki adet işgören ile yapılacağını öngörmektedir. Bu sonucun performansı Tablo 5.7’de belirtilmiştir.

Tablo 5.7: Yatay Dengeleme Performansı

İşgören No	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
1	0,820	0,868	0,694	0,595	1,017	0,918
2	0,946	0,263	0,263	0,225	0,721	0,676
3	0,590	0,299	0,299	0,257	0,450	0,355
4	1,000	0,293	0,293	0,251	0,370	0,347
5	0,684	0,412	0,412	0,353	0,521	0,489
6	0,651	0,414	0,414	0,355	0,496	0,466
7	0,752	0,890	0,543	0,465	0,869	0,864
8	0,846	0,938	0,870	0,982	0,836	0,784
9	0,975	0,814	0,938	0,774	0,877	0,823
10	0,907	0,000	0,870	0,539	0,863	0,954
11	0,493	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,551	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ortalama Etkinlik	0,768	0,433	0,466	0,400	0,585	0,556
Etkinlik Standart Sapma	0,174	0,360	0,323	0,292	0,340	0,335

5.5. Dikey Dengeleme Adımının Uygulanması

Dikey dengeleme, yatay dengelemeden sonra iş yükünü işgörenler arasında dengeli bir şekilde dağıtmak için yapılır. Dikey dengelemede, model ortalama iş yükünden fazla iş yüküne sahip işgörenlerden, model ortalama iş yükünden az iş yüküne sahip işgörelere, öncelik ve çevrim süresi kısıtları dahilinde iş transferi yapılır. Dikey

dengeleme performans ölçütü **(4.89)** formülü ile ifade edilir. Yazılımda dikey dengeleme isteğe bağlı yapılmaktadır. Yazılımdan elde edilen dikey dengeleme sonucuna göre işgörenlere atanan işler Tablo 5.8'deki gibidir.

Tablo 5.8. Dikey Dengeleme Sonucu

İşgören No	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
1	3230-3335-3305	3230-3335-3305-3235	3255-3265-3335-3360-3305	3255-3265-3335-3360	3230-3335-3305-3235	3230-3335-3305-3235
2	3300-3310-3315-3325	3315-3320-3325	3315-3320-3325-3270	3315-3320-3325-3270	3300-3310-3315-3225	3300-3310-3315-3325
3	3340	3340	3340-3290	3340-3290	3340	3340
4	3330-3295	3330	3330-3295	3330-3295	3330	3330
5	3345	3345	3345-3275	3345-3275	3345	3345
6	3350	3350	3350	3350	3350	3350
7	3355	3355-3245	3355-3285	3355-3285	3355-3245	3355-3245
8	3245-3365	3365-3370-3375-3380-3385	3280	3280-3365	3365-3370-3375	3365-3370-3375
9	3370-3375-3380	3405-3390-3395	3365-3370-3375-3380-3385	3370-3375-3380-3385-3405-3390	3380-3385	3380-3385
10	3385-3390-3250	3250-3400	3405-3390-3395	3395	3350-3395-3250	3390-3395-3250
11	3395-3240	3240	3400	3400	3240-3400	3240-3400
12	3400	-	-	-	-	-

Dikey dengelemede yatay dengelemeye göre farklı işgörenlere atanan işler aşağıda belirtilmiştir.

Model 1: 3240

Model 2: 3240, 3250

Model 3: 3270, 3275, 3290, 3295, 3400

Model 4: 3270, 3275, 3290, 3295, 3400

Model 5: 3240, 3250, 3400

Model 6: 3240, 3250, 3400

Tablo 5.8'de belirtilen atamalara göre dikey dengeleme performansı Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9: Dikey Dengeleme Performansı

İşgören No	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
1	0,820	0,868	0,530	0,454	1,017	0,918
2	0,946	0,263	0,428	0,366	0,721	0,676
3	0,590	0,299	0,579	0,497	0,450	0,355
4	1,000	0,293	0,603	0,517	0,370	0,347
5	0,684	0,412	0,501	0,430	0,521	0,489
6	0,651	0,414	0,414	0,355	0,496	0,466
7	0,486	0,590	0,543	0,465	0,666	0,700
8	0,846	0,938	0,191	0,400	0,633	0,594
9	0,975	0,482	0,938	0,774	0,877	0,823
10	0,907	0,493	0,538	0,255	0,647	0,679
11	0,759	0,139	0,332	0,285	0,622	0,630
12	0,551	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ortalama Etkinlik	0,768	0,433	0,466	0,400	0,585	0,556
Etkinlik Standart Sapma	0,174	0,272	0,231	0,183	0,256	0,246

Tablo 5.9'daki etkinlik standart sapma satırına baktığımızda, karşımıza çıkan değerler, yatay dengeleme performans tablosundaki değerlerden daha küçüktür. Buradan çıkarılacak sonuç, dikey dengelemede, model bazında iş yükleri işgörenler arasında daha dengeli dağılmıştır.

5.6. Fiziksel İstasyon Oluşturma Adımının Uygulanması

Bu adımda “Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” kısımlarında iş yükleri düzgünleştirilmiş işgörenlerden montaj akış sürelerini kısaltacak şekilde fiziksel istasyon (takım) oluşturulacaktır. Yazılımda yatay dengelemeden (yapılmışsa dikey dengelemeden) sonra “Fiziksel İstasyon Yarat” butonuna tıklandığında Şekil 5.4'te gösterilen arayüzle karşılaşılır.

Çalışan sayısı Seçimi

Bu istasyon için montaj süreleri özeti

Çalışan Adedi	1. model		2. model		3. model	
	Monsur	% Sapma	Monsur	% Sapma	Monsur	%
1	338.75	-2.66	277.5	-51.82	540	
2	530	52.3	468.75	-18.62	850	
3	530	52.3	468.75	-18.62	1041.25	
4	530	52.3	468.75	-18.62	1041.25	

İstasyonlar Özeti

Istasyon No	Çalışan Sayısı	1. model	2. model	3. model
1	2	361.25	368.75	305
2	2	347.5	340	330
3	1	237.5	237.5	237.5
4	3	487.5	540	407.5

Bu istasyonda 1 işçi çalışınca oluşan iş dağılımı

İs Sıra No	1. Model		2. Model		3. Model		4. Model		5. Model		1. Çalışan
	İs Kodu	İs Adı	İs Kodu	İs Adı	İs Kodu	İs Adı	İs Kodu	İs Adı	İs Kodu	İs Adı	İs Kodu
1	3370	Sol tarafın h	3405	Oto-lif ve kili	3365	Transaxle kc	3370	Sol tarafın h	3380	Basınç ayarı	3385
2	3375	Sağ tarafın l	3390	Sol taranın h	3370	Sol tarafın h	3375	Sağ tarafın l	3380	Basınç ayarı	3385
3	3380	Basınç ayarı	3395	Sağ tarafın l	3375	Sağ tarafın l	3380	Basınç ayarı	3385	Dış kadran a	3390
4					3380	Basınç ayarı	3385	Dış kadran a	3390	Sol taranın h	
5					3385	Dış kadran a	3405	Oto-lif ve kili			
6							3390	Sol taranın h			

Bu istasyon için çalışan sayısı:

Şekil 5.4: Fiziksel İstasyon Oluşturma Arayüzü

Yazılımda bir istasyonda çalıştırılabilecek en yüksek işgören sayısının kararı kullanıcıya bırakılmış olup bu değer veri girme arayüzünde belirtilir. “Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” kısımlarındaki uygulamada bir istasyonda çalıştırılabilecek en yüksek işgören sayısı **yedi** olarak belirlenmiştir.

Yazılımda fiziksel takım oluşturma adımında takım boyutlarının belirlenmesi kararı kullanıcıya bırakılmıştır. Kullanıcıya, yazılım her bir takım boyutu alternatifini ve bu alternatif seçildiğinde her model için istasyon montaj süresinin, model çevrim süresine göre sapma miktarını yüzde olarak verir. İstasyon montaj süresi, istasyon içindeki işgörenlere atanan işlerin kısıtlı kaynaklar altında montaj süresi ölçütü ile çizelgelenmesiyle hesaplanmıştır. Uygulamada, takım boyutuna karar verilirken her model için istasyon montaj süresinin, model çevrim süresini **%15**'inden fazla geçmediği alternatifler üzerinde durulmuştur. “Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” kısımlarında karar verilen takım boyutları Tablo 6.10'da belirtilmiştir.

Tablo 5.10: “Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” Kısımlarındaki Takım Boyutları

İSTASYON						
	1	2	3	4	5	6
İşgören Sayısı	2	2	1	3	1	3

Oluşturulan takımlarda işgörenlerin yaptığı işler **Ek A**'da yer almaktadır. Oluşturulan takımların montaj süreleri ve çevrim sürelerinden farklarının yüzde değeri ile ifadesi ise Tablo 5.11’de mevcuttur.

Tablo 5.11: Oluşturulan Takımların Montaj Süreleri ve Çevrim Sürelerinden Farkları

Modeller	Montaj Süresi (sn.)						Değişim (%)						Çevrim Süresi (sn.)
	İstasyon No						İstasyon No						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1	361	348	238	395	339	394	3,81	-0,14	-31,75	13,51	-2,66	13,15	348
2	369	173	238	540	278	191	-35,98	-70,05	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
3	305	341	289	408	540	501	-47,05	-40,76	-49,87	-29,25	-6,25	-12,98	576
4	305	341	289	408	520	363	-54,61	-49,22	-57,03	-39,36	-22,62	-46,06	672
5	399	205	238	395	400	394	-12,55	-55,04	-47,92	-13,38	-12,28	-13,65	456
6	394	173	238	395	400	464	-18,98	-64,51	-51,13	-18,72	-17,70	-4,58	486

Yazılım, birinci takımı oluşturulduktan sonra ikinci takımı oluşturmaya yönelik alternatifleri oluşturmaya birinci takımda yer alan son işgörenden sonraki işgörenden başlar. Bir diğer deyişle, yazılımın fiziksel istasyon oluşturma işlevi işgören bazında ardışık ilerler. Yatay ve dikey dengelemede bahsi geçen işgörenlerin, “Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” kısımlarında kurulması öngörülen montaj takımları içindeki numaraları Tablo 5.12’deki gibidir.

Tablo 5.12: Montaj Takımlarında İşgörenler ve Numaraları

İşgören No	İstasyonu - İstasyon İçindeki Numarası
1	1. istasyon – 1. işgören
2	1. istasyon – 2. işgören
3	2. istasyon – 1. işgören
4	2. istasyon – 2. işgören
5	3. istasyon – 1. işgören
6	4. istasyon – 1. işgören
7	4. istasyon – 2. işgören
8	4. istasyon – 3. işgören
9	5. istasyon – 1. işgören
10	6. istasyon – 1. işgören
11	6. istasyon – 2. işgören
12	6. istasyon – 3. işgören

Daha önce de belirtildiği gibi uygulama kapsamına 6 adet ana model alınmıştır. Bu ana modellerin opsiyonel modellerini temsil edip etmediklerini anlamak amacıyla sözü geçen ana modellerin verilerine ulaşılabilen 58 tane opsiyonel modelinin verileri yazılıma girilmiştir. Oluşturulan takımlar ve boyutları Tablo 5.13'teki gibidir.

Tablo 5.13: 58 Adet Opsiyonel Modelin Takım Boyutları

İSTASYON						
	1	2	3	4	5	6
İşgören Sayısı	2	2	1	3	1	3

Tablo 5.14'te ise oluşturulan takımların montaj süreleri ve çevrim sürelerinden farklarının yüzde değeri ile ifadesi mevcuttur.

Tablo 5.14: Tablo 5.13'teki Takımların Montaj Süreleri ve Çevrim Sürelerinden Farkları

Modeller	Montaj Süresi (sn.)						Değişim (%)						Çevrim Süresi (sn.)
	İstasyon No						İstasyon No						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1	361	348	238	395	339	394	3,99	0,03	-31,64	13,70	-2,49	13,34	347
2	313	341	238	408	381	501	-50,40	-45,83	-62,30	-35,32	-39,48	-20,44	630
3	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
4	361	341	238	395	360	394	-6,36	-11,55	-38,44	2,38	-6,69	2,06	386
5	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
6	313	341	238	408	381	501	-45,75	-40,76	-58,77	-29,25	-33,81	-12,98	576
7	313	341	238	408	520	363	-53,50	-49,22	-64,66	-39,36	-22,62	-46,06	672
8	361	304	238	395	400	394	-20,78	-33,39	-47,92	-13,38	-12,28	-13,65	456
9	361	348	238	395	339	394	3,21	-0,71	-32,14	12,86	-3,21	12,50	350
10	361	348	238	395	339	394	3,21	-0,71	-32,14	12,86	-3,21	12,50	350
11	361	348	238	395	339	394	3,51	-0,43	-31,95	13,18	-2,94	12,82	349
12	361	348	238	395	360	394	0,35	-3,47	-34,03	9,72	0,00	9,38	360
13	361	348	238	395	360	394	-4,93	-8,55	-37,50	3,95	-5,26	3,62	380
14	361	348	238	395	339	394	4,71	0,72	-31,16	14,49	-1,81	14,13	345
15	361	341	238	395	339	394	1,76	-3,87	-33,10	11,27	-4,58	10,92	355
16	361	341	238	395	360	394	0,07	-5,47	-34,21	9,42	-0,28	9,07	361
17	361	341	238	395	360	394	-6,17	-11,36	-38,31	2,60	-6,49	2,27	385
18	361	341	238	395	360	394	-6,17	-11,36	-38,31	2,60	-6,49	2,27	385
19	361	341	238	395	339	394	1,76	-3,87	-33,10	11,27	-4,58	10,92	355
20	361	341	238	395	339	394	1,76	-3,87	-33,10	11,27	-4,58	10,92	355
21	361	341	238	395	310	394	-4,93	-10,20	-37,50	3,95	-18,42	3,62	380
22	361	341	238	395	360	394	-6,17	-11,36	-38,31	2,60	-6,49	2,27	385
23	361	341	238	395	360	394	-4,93	-10,20	-37,50	3,95	-5,26	3,62	380
24	361	341	238	395	310	394	-4,93	-10,20	-37,50	3,95	-18,42	3,62	380
25	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
26	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
27	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
28	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
29	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
30	246	340	238	646	171	191	-63,52	-49,63	-64,81	-4,26	-74,63	-71,67	675
31	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
32	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
33	246	340	238	540	278	191	-57,25	-40,97	-58,77	-6,25	-51,82	-66,80	576
34	313	341	238	408	381	501	-45,75	-40,76	-58,77	-29,25	-33,81	-12,98	576
35	313	341	238	408	381	501	-45,75	-40,76	-58,77	-29,25	-33,81	-12,98	576
36	313	341	238	408	381	501	-45,75	-40,76	-58,77	-29,25	-33,81	-12,98	576
37	313	341	238	408	381	501	-45,75	-40,76	-58,77	-29,25	-33,81	-12,98	576
38	313	341	238	408	381	501	-45,75	-40,76	-58,77	-29,25	-33,81	-12,98	576
39	313	341	238	408	489	394	-50,79	-46,26	-62,60	-35,83	-23,03	-37,99	635
40	313	341	238	408	520	363	-52,65	-48,30	-64,02	-38,26	-21,21	-45,08	660
41	313	341	238	408	520	363	-53,50	-49,22	-64,66	-39,36	-22,62	-46,06	672
42	313	341	238	408	520	363	-53,50	-49,22	-64,66	-39,36	-22,62	-46,06	672
43	313	341	238	408	520	363	-53,50	-49,22	-64,66	-39,36	-22,62	-46,06	672
44	510	344	238	408	670	191	-26,62	-50,54	-65,83	-41,37	-3,60	-72,48	695
45	510	344	238	408	670	191	-26,62	-50,54	-65,83	-41,37	-3,60	-72,48	695
46	510	344	238	408	670	191	-26,62	-50,54	-65,83	-41,37	-3,60	-72,48	695
47	510	344	238	408	670	191	-27,97	-51,45	-66,45	-42,44	-5,37	-72,99	708
48	510	344	238	408	670	191	-27,97	-51,45	-66,45	-42,44	-5,37	-72,99	708
49	510	344	238	408	670	191	-27,97	-51,45	-66,45	-42,44	-5,37	-72,99	708
50	361	304	238	395	400	394	-20,78	-33,39	-47,92	-13,38	-12,28	-13,65	456
51	361	304	238	395	400	394	-20,78	-33,39	-47,92	-13,38	-12,28	-13,65	456
52	361	304	238	395	400	394	-20,78	-33,39	-47,92	-13,38	-12,28	-13,65	456
53	361	340	238	395	400	464	-25,67	-30,04	-51,13	-18,72	-17,70	-4,58	486
54	361	340	238	395	400	464	-25,67	-30,04	-51,13	-18,72	-17,70	-4,58	486
55	361	340	238	395	400	464	-25,67	-30,04	-51,13	-18,72	-17,70	-4,58	486
56	361	340	238	395	400	464	-25,67	-30,04	-51,13	-18,72	-17,70	-4,58	486
57	361	340	238	395	400	464	-25,67	-30,04	-51,13	-18,72	-17,70	-4,58	486
58	361	340	238	395	400	464	-25,67	-30,04	-51,13	-18,72	-17,70	-4,58	486

Sonuçlar, opsiyonel modellerin belirli bir takım boyutundaki montaj sürelerinin ait oldukları ana modelinkine çok yakın olduğunu göstermiştir. Bunun neticesinde, opsiyonel modeller baz alınarak oluşturulan takım sayısı ve boyutları, bu opsiyonel modellerin ait oldukları ana modeller baz alınarak oluşturulan takım sayısı ve boyutları ile aynıdır.

5.7. Model Sıralaması Adımının Uygulanması

Bu adımda model talep değerini kullanan sıralama metodu kullanılacaktır. Uygulamada ele alınan modellerin talep ağırlıkları Tablo 5.15'te verilmiştir. Uzel A.Ş. traktör montaj birimindeki yetkililerden alınan bilgiye göre hattın ortalama üretim adedi seksendir.

Tablo 5.15: Modellerin Talep Ağırlıkları ve Günlük Üretim Adetleri

Model No	Model Kodu	Talep Ağırlığı	Üretim Adedi
1	T240	0,49	39
2	T266	0,26	21
3	T3075	0,04	3
4	T3085	0,06	5
5	T431	0,11	9
6	T461	0,04	3
Günlük Üretim:			80

Bu veriler ışığında (4.90) formülü uygulanmasıyla Tablo 5.16'da verilen karma model sırası ortaya çıkar.

Tablo 5.16: Elde Edilen Karma Model Sıra

Sıra No	Model	İndis	Sıralama Değeri
1	T240	1	1,02
2	T266	1	1,90
3	T240	2	3,05
4	T431	1	4,39
5	T240	3	5,08
6	T266	2	5,71
7	T240	4	7,11
8	T3085	1	8,20
9	T240	5	9,15
10	T266	3	9,52
11	T240	6	11,18
12	T3075	1	11,90
13	T431	2	13,16
14	T461	1	13,16
15	T240	7	13,21
16	T266	4	13,33
17	T240	8	15,24
18	T266	5	17,14
19	T240	9	17,28
20	T240	10	19,31
21	T266	6	20,95
22	T240	11	21,34
23	T431	3	21,93
24	T240	12	23,37
25	T3085	2	24,59
26	T266	7	24,76
27	T240	13	25,41
28	T240	14	27,44
29	T266	8	28,57
30	T240	15	29,47
31	T431	4	30,70
32	T240	16	31,50
33	T266	9	32,38
34	T240	17	33,54
35	T240	18	35,57
36	T3075	2	35,71
37	T266	10	36,19
38	T240	19	37,60
39	T431	5	39,47
40	T461	2	39,47

Sıra No	Model	İndis	Sıralama Değeri
41	T240	20	39,63
42	T266	11	40,00
43	T3085	3	40,98
44	T240	21	41,67
45	T240	22	43,70
46	T266	12	43,81
47	T240	23	45,73
48	T266	13	47,62
49	T240	24	47,76
50	T431	6	48,25
51	T240	25	49,80
52	T266	14	51,43
53	T240	26	51,83
54	T240	27	53,86
55	T266	15	55,24
56	T240	28	55,89
57	T431	7	57,02
58	T3085	4	57,38
59	T240	29	57,93
60	T266	16	59,05
61	T3075	3	59,52
62	T240	30	59,96
63	T240	31	61,99
64	T266	17	62,86
65	T240	32	64,02
66	T431	8	65,79
67	T461	3	65,79
68	T240	33	66,06
69	T266	18	66,67
70	T240	34	68,09
71	T240	35	70,12
72	T266	19	70,48
73	T240	36	72,15
74	T3085	5	73,77
75	T240	37	74,19
76	T266	20	74,29
77	T431	9	74,56
78	T240	38	76,22
79	T266	21	78,10
80	T240	39	78,25

Yukarıdaki tabloda ikinci sütunlardaki indis değeri (4.90) formülündeki “é” indisidir. Üçüncü sütundaki sıralama değeri ise (4.90) formülündeki “DD (m, é)” değeridir. Örneğin, “39”indisli “T240”modelinin sıralama değeri;

$$DD (T240;36) = (36-0,5)*(80/39) = 72,15 \text{ olarak bulunur.}$$

Bu değerler azalan sırada sıralanırsa Tablo 5.16’deki karma model sırası ortaya çıkar. Tablo 5.16’da verilen karma model sıranın Bölüm 4.2.4’te anlatılan şekilde

geliştirilmesi için gerekli veriler ise Tablo 5.17 ve Tablo 5.18’de mevcuttur (tarama sayısı “+1” alınmıştır.).

Tablo 5.17: Karma Model Sıranın Geliştirilmesi İçin Gerekli Karşılaştırma Sayıları

Model	Çevrim Süresi	Üretim Adedi	Karşılaştırma Sayıları
T240	348	39	3
T266	576	21	5
T3075	576	3	28
T3085	672	5	17
T431	456	9	10
T461	486	3	28
Günlük Üretim:		80	
Ağırlıklı Çevrim Süresi:		456	

Tablo 5.18: İkili Çevrim süresi Ortalamalarının Ağırlıklı Çevrim Süresinden Farkları

	T240	T266	T3075	T3085	T431	T461
T240	-	462	462	510	402	417
T266	462	-	576	624	516	531
T3075	462	576	-	624	516	531
T3085	510	624	624	-	564	579
T431	402	516	516	564	-	471
T461	417	531	531	579	471	-

Tablo 5.19’da ise geliştirilmiş karma model sırası gösterilmektedir

Tablo 5.19: Geliştirilmiş Karma Model Sırası

Sıra No	Model
1	T240
2	T266
3	T240
4	T266
5	T240
6	T3085
7	T240
8	T266
9	T240
10	T3075
11	T240
12	T461
13	T431
14	T240
15	T266
16	T240
17	T266
18	T240
19	T266
20	T240
21	T431
22	T240
23	T3085
24	T240
25	T266
26	T240
27	T266
28	T240
29	T431
30	T240
31	T266
32	T240
33	T431
34	T461
35	T431
36	T240
37	T266
38	T240
39	T3075
40	T240

Sıra No	Model
41	T266
42	T240
43	T3085
44	T240
45	T266
46	T240
47	T266
48	T240
49	T431
50	T240
51	T266
52	T240
53	T266
54	T240
55	T431
56	T240
57	T3085
58	T240
59	T266
60	T240
61	T3075
62	T240
63	T266
64	T240
65	T461
66	T431
67	T240
68	T266
69	T240
70	T266
71	T240
72	T3085
73	T240
74	T266
75	T240
76	T431
77	T240
78	T266
79	T240
80	T240

Zamansal etkinliği bir sonraki bölümde incelenecek olan bu karma model sırasının “Tam Zamanında Üretim Sistemi”nin önemli hususlarından biri olan düzgün parça kullanımına etkisini ölçmek için modellerin ürün ağacında yer alan aşağıdaki tabloda verilen parçaların gün içindeki tüketimine, elde edilen karma model sırası ve parti çizelgesi durumlarında bakalım.

Tablo 5.20: Modellerde Yer Alan Parçalar ve Adetleri

	Orta Kol Pimi	Gölgelik	Yakıt Deposu	Redüksiyon Dişlisi
T240	2	0	1	0
T266	1	1	1	8
T3075	1	1	2	8
T3085	1	1	2	8
T431	2	0	1	0
T461	1	0	1	8

Parti çizelgesi uygulandığında parça kullanımının gün içindeki değişimi Tablo 5.21'deki gibi olur.

Tablo 5.21: Parti Çizelgesi Uygulandığında Parça Kullanımı

Sıra No	Model Tipi	Orta Kol Pimi	Gölgelek	Yakıt Deposu	Redüksiyon Dişlisi
1	T266	1	1	1	8
2	T266	1	1	1	8
3	T266	1	1	1	8
4	T266	1	1	1	8
5	T266	1	1	1	8
6	T266	1	1	1	8
7	T266	1	1	1	8
8	T266	1	1	1	8
9	T266	1	1	1	8
10	T266	1	1	1	8
11	T266	1	1	1	8
12	T266	1	1	1	8
13	T266	1	1	1	8
14	T266	1	1	1	8
15	T266	1	1	1	8
16	T266	1	1	1	8
17	T461	1	0	1	8
18	T461	1	0	1	8
19	T461	1	0	1	8
20	T3075	1	1	2	8
21	T3075	1	1	2	8
22	T3075	1	1	2	8
23	T3085	1	1	2	8
24	T3085	1	1	2	8
25	T3085	1	1	2	8
26	T3085	1	1	2	8
27	T3085	1	1	2	8
28	T431	2	0	1	0
29	T431	2	0	1	0
30	T431	2	0	1	0
31	T431	2	0	1	0
32	T431	2	0	1	0
33	T431	2	0	1	0
34	T431	2	0	1	0
35	T431	2	0	1	0
Öğleden Önce:		43	24	43	216

Sıra No	Model Tipi	Orta Kol Pimi	Gölgelek	Yakıt Deposu	Redüksiyon Dişlisi
36	T431	2	0	1	0
37	T240	2	0	1	0
38	T240	2	0	1	0
39	T240	2	0	1	0
40	T240	2	0	1	0
41	T240	2	0	1	0
42	T240	2	0	1	0
43	T240	2	0	1	0
44	T240	2	0	1	0
45	T240	2	0	1	0
46	T240	2	0	1	0
47	T240	2	0	1	0
48	T240	2	0	1	0
49	T240	2	0	1	0
50	T240	2	0	1	0
51	T240	2	0	1	0
52	T240	2	0	1	0
53	T240	2	0	1	0
54	T240	2	0	1	0
55	T240	2	0	1	0
56	T240	2	0	1	0
57	T240	2	0	1	0
58	T240	2	0	1	0
59	T240	2	0	1	0
60	T240	2	0	1	0
61	T240	2	0	1	0
62	T240	2	0	1	0
63	T240	2	0	1	0
64	T240	2	0	1	0
65	T240	2	0	1	0
66	T240	2	0	1	0
67	T240	2	0	1	0
68	T240	2	0	1	0
69	T240	2	0	1	0
70	T240	2	0	1	0
71	T240	2	0	1	0
72	T240	2	0	1	0
73	T240	2	0	1	0
74	T240	2	0	1	0
75	T240	2	0	1	0
Öğleden Sonra:		80	0	40	0

Tablo 5.22’de ise elde edilen karma model sırası uygulandığında ortaya çıkan parça kullanımı verilmiştir.

Tablo 5.22: Karma Model Sırası Uygulandığında Parça Kullanımı

Sıra No	Model Tipi	Orta Kol Pimi	Gölgelik	Yakıt Deposu	Redüksiyon Dışlisi
1	T266	1	1	1	8
2	T240	2	0	1	0
3	T3085	1	1	2	8
4	T240	2	0	1	0
5	T266	1	1	1	8
6	T240	2	0	1	0
7	T3075	1	1	2	8
8	T431	2	0	1	0
9	T461	1	0	1	8
10	T240	2	0	1	0
11	T266	1	1	1	8
12	T240	2	0	1	0
13	T266	1	1	1	8
14	T240	2	0	1	0
15	T240	2	0	1	0
16	T266	1	1	1	8
17	T240	2	0	1	0
18	T431	2	0	1	0
19	T240	2	0	1	0
20	T3085	1	1	2	8
21	T266	1	1	1	8
22	T240	2	0	1	0
23	T240	2	0	1	0
24	T266	1	1	1	8
25	T240	2	0	1	0
26	T431	2	0	1	0
27	T240	2	0	1	0
28	T266	1	1	1	8
29	T240	2	0	1	0
30	T240	2	0	1	0
31	T3075	1	1	2	8
32	T266	1	1	1	8
33	T240	2	0	1	0
34	T431	2	0	1	0
35	T461	1	0	1	8
Öğleden Önce:		55	13	39	120

Sıra No	Model Tipi	Orta Kol Pimi	Gölgelik	Yakıt Deposu	Redüksiyon Dışlisi
36	T240	2	0	1	0
37	T266	1	1	1	8
38	T3085	1	1	2	8
39	T240	2	0	1	0
40	T240	2	0	1	0
41	T266	1	1	1	8
42	T240	2	0	1	0
43	T266	1	1	1	8
44	T240	2	0	1	0
45	T431	2	0	1	0
46	T240	2	0	1	0
47	T266	1	1	1	8
48	T240	2	0	1	0
49	T240	2	0	1	0
50	T266	1	1	1	8
51	T240	2	0	1	0
52	T431	2	0	1	0
53	T3085	1	1	2	8
54	T240	2	0	1	0
55	T266	1	1	1	8
56	T3075	1	1	2	8
57	T240	2	0	1	0
58	T240	2	0	1	0
59	T266	1	1	1	8
60	T240	2	0	1	0
61	T431	2	0	1	0
62	T461	1	0	1	8
63	T240	2	0	1	0
64	T266	1	1	1	8
65	T240	2	0	1	0
66	T240	2	0	1	0
67	T266	1	1	1	8
68	T240	2	0	1	0
69	T3085	1	1	2	8
70	T240	2	0	1	0
71	T266	1	1	1	8
72	T431	2	0	1	0
73	T240	2	0	1	0
74	T266	1	1	1	8
75	T240	2	0	1	0
Öğleden Sonra:		64	15	44	128

Tablo 5.23'te ise geliştirilmiş karma model sırası uygulandığında ortaya çıkan parça kullanımını verilmiştir.

Tablo 5.23: Geliştirilmiş Karma Model Sırası Uygulandığında Parça Kullanımı

Sıra No	Model Tipi	Orta Kol Pimi	Gölgelek	Yakıt Deposu	Redüksiyon Dişlisi
1	T3085	1	1	2	8
2	T240	2	0	1	0
3	T266	1	1	1	8
4	T240	2	0	1	0
5	T3075	1	1	2	8
6	T240	2	0	1	0
7	T461	1	0	1	8
8	T431	2	0	1	0
9	T240	2	0	1	0
10	T266	1	1	1	8
11	T240	2	0	1	0
12	T266	1	1	1	8
13	T240	2	0	1	0
14	T266	1	1	1	8
15	T240	2	0	1	0
16	T431	2	0	1	0
17	T240	2	0	1	0
18	T3085	1	1	2	8
19	T240	2	0	1	0
20	T266	1	1	1	8
21	T240	2	0	1	0
22	T266	1	1	1	8
23	T240	2	0	1	0
24	T431	2	0	1	0
25	T240	2	0	1	0
26	T266	1	1	1	8
27	T240	2	0	1	0
28	T431	2	0	1	0
29	T461	1	0	1	8
30	T431	2	0	1	0
31	T240	2	0	1	0
32	T266	1	1	1	8
33	T240	2	0	1	0
34	T3075	1	1	2	8
35	T240	2	0	1	0
Öğleden Önce:		56	12	39	112

Sıra No	Model Tipi	Orta Kol Pimi	Gölgelek	Yakıt Deposu	Redüksiyon Dişlisi
36	T266	1	1	1	8
37	T240	2	0	1	0
38	T3085	1	1	2	8
39	T240	2	0	1	0
40	T266	1	1	1	8
41	T240	2	0	1	0
42	T266	1	1	1	8
43	T240	2	0	1	0
44	T431	2	0	1	0
45	T240	2	0	1	0
46	T266	1	1	1	8
47	T240	2	0	1	0
48	T266	1	1	1	8
49	T240	2	0	1	0
50	T431	2	0	1	0
51	T240	2	0	1	0
52	T3085	1	1	2	8
53	T240	2	0	1	0
54	T266	1	1	1	8
55	T240	2	0	1	0
56	T3075	1	1	2	8
57	T240	2	0	1	0
58	T266	1	1	1	8
59	T240	2	0	1	0
60	T461	1	0	1	8
61	T431	2	0	1	0
62	T240	2	0	1	0
63	T266	1	1	1	8
64	T240	2	0	1	0
65	T266	1	1	1	8
66	T240	2	0	1	0
67	T3085	1	1	2	8
68	T240	2	0	1	0
69	T266	1	1	1	8
70	T240	2	0	1	0
71	T431	2	0	1	0
72	T240	2	0	1	0
73	T266	1	1	1	8
74	T240	2	0	1	0
75	T240	2	0	1	0
Öğleden Sonra:		64	15	44	128

Tablolar incelendiğinde görülmektedir ki; elde edilen karma model sırası uygulamaları düzgün parça kullanımını büyük ölçüde sağlamaktadır. Karma model sırası uygulamalarında, parti çizelgesine kıyasla öğleden önce ve öğleden sonra parça kullanımları arasındaki fark oldukça düşüktür. Bu durum aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 5.24: Öğleden Önce ve Öğleden Sonra Parça Kullanımları Arasındaki Fark

	Orta Kol Pimi	Gölgelik	Yakıt Deposu	Redüksiyon Dişlisi
Karma Model Sırası	9	2	5	8
Geliştirilmiş Karma Model Sırası	8	3	5	16
Parti Çizelgesi	37	24	3	216

5.8. Karma Model Sırasının Diğer Model Sıralarıyla Karşılaştırılması

Bu bölümde elde edilen karma model sırasının (KS) diğer model sıralarıyla karşılaştırılması benzetim tekniğiyle yapılacaktır. Elde edilen karma sıra dışında üç adet model sırasının daha benzetimi yapılacaktır. Bu model sıraları aşağıda belirtilmiştir.

Geliştirilmiş Karma Model Sırası (GKS): Elde edilen karma model sıranın Bölüm 4.2.4’te anlatılan şekilde geliştirilmesi ile elde edilir.

Yüksek Sapma Süreli Model Önce (YSÖ): Fiziksel takım oluşturma aşamasında elde edilen takım montaj sürelerinin en büyüğü ile en küçüğü arasındaki farkı en yüksek olan model önde olacak şekilde modeller parti halinde sıralanır.

Düşük Sapma Süreli Model Önce (DSÖ): Fiziksel takım oluşturma aşamasında elde edilen takım montaj sürelerinin en büyüğü ile en küçüğü arasındaki farkı en yüksek olan model önde olacak şekilde modeller parti halinde sıralanır.

Montaj hattındaki model sıralama benzetimi MS Excel ile yapılmıştır. Benzetim için gerekli montaj süreleri “Hidrolik Kapak” ve “Hidrolik Test” kısımlarında fiziksel istasyon oluşturma adımının uygulanması ile elde edilen istasyon süreleridir.

Benzetimde kullanılan veriler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.25: Benzetimde Kullanılan Veriler

Model	İstasyonlar						En yüksek ve En Düşük İstasyon Sürelerinin farkı (sn.)
	1	2	3	4	5	6	
T240	361	348	238	395	339	394	157
T266	369	173	238	540	278	191	367
T3075	305	341	289	408	540	501	251
T3085	305	341	289	408	520	363	231
T431	399	205	238	395	400	394	195
T461	394	173	238	395	400	464	291
En Yüksek Montaj Süresi (sn.)	399	348	289	540	540	501	
İstasyon Aşım Sınırı (sn.)	80						

Yukarıdaki tabloya göre modeller en az sapma süresinden, en uzun ortalama sapma süresine sahip olana doğru T240, T431, T3085, T3075, T461, T266 şeklinde sıralanırlar.

Yapılan benzetim hem sürekli hem de adımlı hat için yapılmıştır. Sürekli hat için yapılan benzetimdeki varsayımlar aşağıda belirtilmiştir:

1. İşgören istasyon sınırını en fazla hattın 80 sn. gittiği mesafe kadar aşabilir.
2. İş süreleri belirlidir.
3. Ara stoğa izin yoktur.
4. Paralel istasyona izin yoktur.
5. İstasyonlar arası boşluk yoktur.
6. Sistem arızaları göz önüne alınmamıştır.
7. Parça yokluğu nedeniyle hat beklememektedir.
8. Hatalı parçaların düzeltme işlemleri sisteme dahil edilmemiştir.
9. İşgörenler, önceki istasyonun alanına geçemez,fakat sonraki istasyonun alanına geçebilirler.
10. Konveyörün hızı, en uzun model istasyon süresine göre ayarlanır.
11. Birinci istasyona parça gelir gelmez işlemine başlanmaktadır.
12. Hattın durmaması için yardımcı işgörenler mevcuttur.

Adımlı hat için yapılan benzetimdeki varsayımlar ise aşağıdadır:

1. İş süreleri belirlidir.
2. Ara stoğa izin yoktur.
3. Paralel istasyona izin yoktur.
4. İstasyonlar arası boşluk yoktur.
5. Sistem arızaları göz önüne alınmamıştır.
6. Parça yokluğu nedeniyle hat beklememektedir.
7. Hatalı parçaların düzeltme işlemleri sisteme dahil edilmemiştir.
8. Birinci istasyona parça gelir gelmez işleme başlanmaktadır.

Benzetim sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan kriterler şunlardır:

Ortalama temin süresi: Ürünlerin montaj hattına giriş ve çıkış zamanları arasında geçen sürenin ortalamasıdır.

Ortalama montaj süresi: Ürünlerin istasyonlardaki montaj süreleri toplamının ürün sayısına bölünmesi ile ortaya çıkan süredir.

Katma Değeri Olmayan Süre Yüzdesi: Ortalama temin süresi ile ortalama montaj süresi farkının ortalama temin süresine oranıdır.

Ortalama çevrim süresi: Ardışık iki ürünün hattan çıkma zamanları arasındaki farkın ortalamasıdır.

İstasyon kullanım oranı: İstasyon kullanım oranı, istasyondaki işgören(lerin) montaj hattında bulunduğu süre ile montaj yapmadığı süre farkının montaj hattında bulunduğu süreye oranıdır. Ortalama istasyon kullanım oranı ise bu değerlerin toplamının istasyon sayısına bölümüdür. İstasyonların kullanım oranları **Ek B**'de verilmiştir.

Ortalama yardımcı işgören süresi: İşgörenler, istasyon aşım sınırını geçmemek için, tek başlarına bu sınıra kadar işi yetiştirmeyecekleri durumlarda, yardımcı işgörenlerden yardım almaktadır. Yardım aldıkları süre, işin tek başına yapılması durumunda istasyon aşım sınırını geçme süresi kadardır. Ortalama yardımcı işgören süresi ise, tüm istasyonlarda bu sürelerin toplamının istasyon sayısına bölünmesi ile bulunur. İstasyonların yardımcı işgören süreleri **Ek C**'de verilmiştir.

Ortalama boшта bekleme süresi: Her istasyon için hesaplanır. İşgörenin boшта bekleme süresi, bir ürünün montaj işlerini bitirme zamanı ile bir sonraki ürünün

montaj işlerine başlaması arasında geçen süredir. Ortalama boшта bekleme süresi, her ürün için bu sürenin toplamının ürün sayısına bölümüdür. Yapılan benzetimde elde edilen istasyon ortalama boшта bekleme süresi sonuçları **Ek D**'de verilmiştir.

Ortalama istasyon aşma süresi: Sürekli hatlarda her istasyon için hesaplanır. İşgörenin, bir ürünün montaj işlerini bitirme süresi ile diğer istasyon sınırlarına girdiği süre arasındaki pozitif farktır. Ortalama istasyon aşma süresi, her ürün için bu sürenin toplamının ürün sayısına bölümüdür.

Ortalama istasyon bloklanma süresi: Adımlı hatlarda her istasyon için hesaplanır. İşgörenin, bir ürünün montaj işlerine başlama süresi ile ürünün bir önceki istasyonda montaj işlerinin bittiği süre arasındaki pozitif farktır. Ortalama istasyon bloklanma süresi, her ürün için bu sürenin toplamının ürün sayısına bölümüdür.

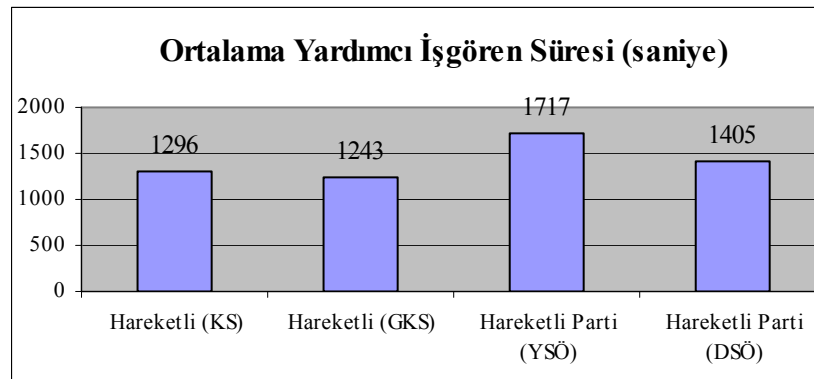
Sürekli hat benzetiminden elde edilen ortalama istasyon aşma süresi ve adımlı hat benzetiminden elde edilen ortalama istasyon bloklanma süresi sonuçları **Ek E**'de verilmiştir.

MS Excel'de bulunan benzetim tabloları ise **Ek F**'de mevcuttur. Yapılan benzetim çalışmasında elde edilen sonuçların bir kısmı Tablo 5.26'de belirtilmiştir.

Tablo 5.26: Benzetim Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar

	Hareketli Sıralı	Hareketli (GKS)	Hareketli Parti (YSÖ)	Hareketli Parti (DSÖ)	Adımlı Sıralı	Adımlı (GKS)	Adımlı Parti (YSÖ)	Adımlı Parti (DSÖ)
Ortalama Temin Süresi (saniye)	2616	2616	2616	2616	4699	4727	6009	3733
Ortalama Montaj Süresi (saniye)	2015	2018	2029	2010	1670	1671	1674	1668
Katma Değeri Olmayan Süre Yüzdesi	23	23	22	23	64	65	72	55
Ortalama Çevrim Süresi (saniye)	399	399	399	399	435	433	428	436
Ortalama İstasyon Kullanım Oranı	84	84	84	84	84	84	84	84

Şekil 5.5'te, hareketli hat için yapılan benzetimin ortalama yardımcı işgören süresi sonuçları mevcuttur.



Şekil 5.5: Ortalama Yardımcı İşgören Süreleri

Sonuçlara bakıldığında görülmektedir ki; sürekli hatlarda konveyör hızının en uzun model istasyon süresine göre ayarlanması, değişik model sıralarında ortalama çevrim süresi ve ortalama temin sürelerini sabit kılmaktadır. Sürekli hatlarda değişik model sıralarının etkisini görmeyi sağlayan en belirgin kriter, ortalama yardımcı işgören süresi kriteri olmuştur. Bu kriterde en iyi sonucu geliştirilmiş karma model sırası (1243 sn.) vermiştir.

Ortalama çevrim sürelerine bakıldığında birbirine yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır. Dikkat çeken bir nokta da, adımlı hatta en iyi temin süresi ve katma değeri olmayan süre, sonuçlarını en düşük sapma süreli modeli öne alan ve modellerin parti halinde sıralandığı, model sırasının vermesidir.

Adımlı hatlarda, sürekli hatlara göre, istasyon önünde bloklanma sürelerinden dolayı daha yüksek temin süreleri ve katma değeri olmayan süre meydana gelmiştir. Bunun diğer nedeni ise sürekli hatlarda yardımcı işçi kullanılarak hattın durmasının engellenmesidir.

İstasyon kullanım oranlarına bakıldığında, dördüncü istasyonda yoğunluk göze çarpmaktadır. Bu durum, adımlı hatta dördüncü istasyonda bloklanma, beşinci istasyonda yüksek yardımcı işgören süreleri ile kendini göstermektedir. Birinci işgörenin tam kapasiteyle çalışması, “Birinci istasyona parça gelir gelmez işlemine başlanmaktadır.” varsayımından ileri gelmektedir. İkinci, üçüncü, beşinci ve altıncı istasyonlarda boşta bekleme süreleri mevcuttur. Bu da istasyon kullanım oranının, boşta bekleme ve istasyon aşma (istasyonda bloklanma) kriterleriyle değerlendirilmesi gereğini ortaya koymaktadır.

Neticede kriterlerin çoğunda en iyi veya en iyiye yakın değerler veren geliştirilmiş karma model sırasının uygulanması düzgün parça kullanımı da göz önünde bulundurulduğunda uygun olacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ürünlerin verimli ve ekonomik şekilde üretilmesi için, montaj hattı üretimi ve buna bağlı olarak montaj hattı tasarımı büyük önem taşımaktadır. Montaj hattı tasarımı konusundaki literatür incelendiğinde montaj hattı sıralama ve dengeleme problemlerine aynı anda çözüm üreten ve takım çalışması yaklaşımından faydalanan bir çalışmanın henüz yapılmadığı görülmektedir. Yapılan çalışmada, bu boşluğu dolduracak özelliklere sahip beş adımlı takım çalışması esaslı karma modellenmiş montaj hattı tasarımı metodolojisi geliştirilmiştir. Ayrıca, yatay ve dikey dengelemeyi de kapsayan bu metodoloji, benzer nitelikteki çoğu çalışmanın aksine gerçek verilerle uygulanabilme özelliğine sahiptir.

Hat dengeleme çalışmalarının başlangıç noktası önce, istasyonlar arasındaki dengesizliğin sistemde yarattığı kayıpların farkına varmaktır. Ancak birçok işletme bunun farkında olmayarak, kapasitelerinin çok altında çalışmaktadır. Bunun farkına varabilen işletmeler için ise, kağıt üzerinde yapılan bir hat dengeleme çalışmasını pratikte sağlamak her zaman çok kolay olmamaktadır. Pratikte karşımıza çıkan montaj hatlarındaki işlemlerin akışları ya da öncelik ilişkileri her zaman teorikte olduğu gibi, hat dengelemeye uygun bir yapı sergilemez. Bu hususta, montaj sisteminin tasarlanması aşamasında, yapılacak işlerin birbirine yakın sürelerle sahip olacak biçimde belirlenmesi hat dengelemenin başarısı açısından faydalı olacak ve çalışmanın sağladığı kazançları artıracaktır. Makine arızaları, çalışanların devam durumu ya da iş tecrübesi gibi faktörler de iş akışında problemlere yol açarak hat dengelemeyi zorlaştırabilmektedir. Geliştirilen metodolojide de öncelikle yatay dengeleme safhasında “Bölge Yaklaşımı” sezgisel yöntemi kullanılarak işgören sayısı en küçüklenmeye çalışılmış daha sonra model ortalama işgücü referans alınarak dikey dengeleme yapılmış ve model iş yüklerinin işgörenler arasında düzgün dağıtılması sağlanmıştır.

Geliştirilen metodoloji takım çalışması esaslıdır. Bu husus uygulamada hattın esnekliğini arttıracaktır. Klasik yöntemlere göre tasarlanan montaj hattında ürünün yapısında yapılacak bir değişiklik tüm sistemi etkileyebilmektedir. Takım esaslı montaj sistemlerinde ise ürünün yapısındaki değişik sadece ilgili takımda

değişiklikleri gerektireceğinden hem maliyet hem de zaman açısından büyük fayda sağlayacaktır. Ayrıca istasyonların birden fazla işgören takımlarından oluşması alandan tasarruf sağlayacaktır.

Metodolojinin fiziksel istasyon oluşturma (takım kurma) kısmında oluşturulan takımlarda paralel yapılabilecek işleri gruplandığından akış süresinin kısaldığı traktör montaj hattında yapılan uygulamada da görülmüştür. Bu durum hat kapasitesini arttırırken, katma değeri olmayan sürenin azaltılmasını sağlar.

Fiziksel takım oluşturmada edilen kazancı hesaplamak amacıyla her model için elde edilen istasyon montaj sürelerinin en büyüğü alınır. Artık modelin yeni çevrim süresi bu model olarak alınabilir. Bu bilginin ışığında her model için elde edilen kazanç aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6.1: Fiziksel Takım Oluşturmadan Sağlanan Kazanç

Model No	Model Kodu	En Büyük İstasyon Montaj Süresi (sn.)	Çevrim Süresi (sn.)	Kazanç (sn.)	Kazanç (%)
1	T240	395	348	-47	-13,5
2	T266	540	576	36	6,3
3	T3075	540	576	36	6,3
4	T3085	520	672	152	22,6
5	T431	400	456	56	12,3
6	T461	464	486	22	4,5

Etkili bir hat tasarımında iyi bir dengelemenin yanı sıra iyi bir model sırası geliştirme unsuru büyük önem taşır. Bir diğer deyişle montaj hattı dengeleme ve model sıralama birbirini tamamlayan unsurlardır. Geliştirilen metodolojide sıralama yöntemlerinden biri model çevrim süresini, diğeri model talep bilgilerini dikkate almaktadır. Tezin uygulama kısmında uygulanabilirlik özelliği daha yüksek olan ve sağladığı faydalar ispatlanmış olan model talep bilgilerini kullanan sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem tamamlanamayan iş sayısını (sürekli hatlarda iş yetiştirememesi süresi) en küçüklerken düzgün parça kullanımını da sağlamaktadır. Karma model sıra elde edildikten sonra, ayrıca beşinci bölümde belirtilen şekilde geliştirilmiştir. Uygulama kısmında değişik sıralama alternatifleri değerlendirilirken modellerin takım montaj süreleri arasındaki sapmayı dikkate alan iki adet model

sırası daha elde edilmiştir. Neticede, en iyi sonucu “geliştirilmiş karma sıra”nın verdiği saptanmıştır.

Yapılan tez çalışması çerçevesinde konu ile ilgili gelecekte yapılabilecek gelişmelerden ilki literatürde de gün geçtikçe kullanımı arttığı gözlenen stokastik iş sürelerinin kullanılmasıdır. Ayrıca, yatay ve dikey dengeleme matematiksel modelleri “Yalın Üretim Sistemi”ne uygun bir hat yerleşimi olan U-tipi yerleşime göre kurulabilir. Bu hususların yanında, model sıralama aşamasında bir karar destek sisteminin kurulması da konu ile ilgili gelecekte yapılması düşünülen çalışmalardan biridir.

KAYNAKLAR

- Acar, N., Eştaş, S.**, 1991. Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 309, Ankara.
- Aigbedo, H., Monden, Y.**, 1997. A Parametric Procedure For Multicriterion Sequence Scheduling for Just- In-Time Mixed-Model Assembly Lines, *International Journal of Production Research*, 35, 9, 2543-2564.
- Askin, R. G., Zhou, M.**, 1997. A Parallel Station Heuristic for the Mixed-Model Production Line Balancing Problem, *International Journal of Production Research*, 35,11, 3095-3105.
- Aydoğdu, A.**, 2005. Takım Esaslı Montaj Hattı Dengeleme, *Bitirme Tezi*, İ.T.Ü. Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Baskak, M.**, 1998. Çok Modelli/Ürünlü Montaj Hatlarının Dengelenmesi İçin Yeni Bir Model ve Çözüm Yöntemi,*Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baskak, M.**, 2005. “Üretim Hatlarının Modellenmesi” *Ders Notları*, İ.T.Ü. Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Bedworth, D. D., Bailey, J. E.**, 1987. Integrated Production Control Systems, Management, Analysis, Design, John Wiley & Sons, New York, 370-374.
- Bowman, E. H.**, 1960. Assembly Line Balancing By Linear Programming, *Operations Research*, 8, 385-389.
- Bukchin J., Dar-El, E.M., Rubinovitz, J.**, 2002. Mixed Model Assembly Line Design in A Make to Order Environment, *Computers And Industrial Engineering*, 41, 405-421.
- Bukchin, J., Darel E., Rubinovitz, J.**, 1997. Team-Oriented Assembly System Design: A New Approach. *International Journal of Production Economics*. 51, 47-57.
- Bukchin, J., Masin, M.**, 2004. Multi-Objective Design of Team Oriented Assembly Systems, *European Journal of Operational Research*, 156, 326-352.

- Chakravarty, A. K., Shtub, A.**,1985. Balancing Mixed Model Lines With In-Process Inventories, *Management Science*, 31, 1161-1174.
- Chiang , W. C., Urban, T. L.**, 2005. The Stochastic U-Line Balancing Problem: A Heuristic Procedure, *European Journal of Operational Research*, Available online 10 August 2005(www.sciencedirect.com).
- Durmuşoğlu, M. B.**, 2004. Takım Çalışması Esaslı Montaj Hattı Dengeleme Projesi Toplantı Notları, Uzel Makine, İstanbul.
- Durmusoglu, M. B., Unal, M. E., Didari, S.**, 2005. Design of Team Oriented Mixed Model Assembly Systems, *Proceedings of the 35th International Conference on Computers & Industrial Engineering*, İstanbul, Turkey, 19-22 June, 543-548.
- Elsayed, E. A., Boucher, T. O.**, 1985. Analysis and Control of Production Systems, *Prentice-Hall*, 199-203.
- Erel, E., Gokcen, H.**,1999. Shortest-Route Formulation Of Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem, *European Journal Of Operational Research*, 116, 194-204.
- Erel, E., Sabuncuoglu, I., Aksu, B. A.**, 2001. Balancing of U-Type Assembly Systems Using Simulated Annealing, *International Journal of Production Research*, 39, 13, 3003- 3015.
- Gökçen, H., Ağpak, K.**, 2006. A Goal Programming Approach To Simple U-Line Balancing Problem, *European Journal of Operational Research*, 171, 577–585.
- Gokcen, H., Erel, E.**, 1997. A Goal Programming Approach to Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem, *International Journal of Production Economics*, 48, 177-185.
- Gökçen, H., Erel, E.**, 1998. Binary Integer Formulation for Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem, *Computers and Industrial Engineering*, 1998, 34, 2, 451-461.
- Helgeson, W. B., Birnie, D. P.**, 1961. Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique, *Journal of Industrial Engineering*, 12, 394- 398.
- Hyun, C. J., Kim, Y., Kim, Y. K.**, 1998. A Genetic Algorithm for Multiple Objective Sequencing Problems in Mixed Model Assembly Lines, *Computers Operations Research*, 25, 675-690.

- Jin, M., Wu, S. D. ,** 2002. A New Heuristic Method For Mixed Model Assembly Line Balancing Problem, *Computers & Industrial Engineering*, 44, 159–169.
- Johnson, R. V.,** 1991. Balancing Assembly Lines for Teams and Work Groups, *International Journal of Production Research*, 29, 6, 1205-1214.
- Karabatı, S., Sayın, S.,** 2003. Assembly Line Balancing in a Mixed-Model Sequencing Environment with Synchronous Transfers, *European Journal of Operational Research*, 149, 417–429.
- Kilbridge, M. D., Wester, L.,** 1961. A Heuristic Method Of Assembly Line Balancing, *Journal of Industrial Engineering*, 12, 292-298.
- Kim, Y. K., Kim, J. Y., Kim, Y.,** 2006. An Endosymbiotic Evolutionary Algorithm for the Integration of Balancing and Sequencing in Mixed-Model U-Lines, *European Journal Of Operational Research*, 168, 838–852.
- Kim, Y. K., Kim, S. J., Kim, J. Y.,** 2000. Balancing and Sequencing Mixed-Model U-Lines with a Co-Evolutionary Algorithm, *Production Planning & Control*, 11, 8, 754- 764.
- Korkmazel, T., Meral, S.,** 2001. Bicriteria Sequencing for the Mixed Model Assembly Line in Just-In-Time Production Systems, *European Journal of Operational Research*, 131,188-207.
- Kotani, S., Ito, T., Ohno, K.,** 2004. Sequencing Problem for a Mixed-Model Assembly Line in The Toyota Production System, *International Journal of Production Research*, 42, 23, 4955–4974.
- Kurashige, K., Yanagawa, Y., Miyazaki, S., Kameyama, Y.,** 2002. Time-Based Goal Chasing Method for Mixed-Model Assembly Line Problem with Multiple Work Stations, *Production Planning & Control*, 13, 8, 735–745.
- Liu, C. M., Chen C. H.,** 2002. Multi-Section Electronic Assembly Line Balancing Problems: A Case Study, *Production Planning & Control*, 13, 5, 451-461.
- Macaskill, J. L. C.,** 1972. Production Line Balances for Mixed-Model Lines, *Management Science*, 19, 4, 423.
- McMullen, P. R., Frazier, G. V.,** 1997. A Heuristic for Solving Mixed-Model Line Balancing Problems with Stochastic Task Durations and Parallel Stations, *International Journal of Production Economics*, 51, 177-190.

- Merengo, C., Nava, F., Pozzetti, A.,** 1999. Balancing and sequencing Manual Mixed-Model Assembly Lines, *International Journal of Production Research*, 37, 12, 2835- 2860.
- Miltenburg, J.,** 1998. Balancing U-Lines in a Multiple U-Line Facility, *European Journal of Operational Research*, 109, 1-23.
- Moodie, C.L., Young, H. H.,** 1965. A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times, *Journal of Industrial Engineering*, 16, 23-29.
- Sabuncuoglu, I., Erel, E., Tanyer, M.,** 2000. Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11, 295-310.
- Salveson, M. E.,** 1955. The Assembly Line Balancing Problem, *Journal of Industrial Engineering*, 6, 18- 25.
- Sarker, B. R., Pan, H.,** 1998. Designing a Mixed-Model Assembly Line to Minimize the Costs of Idle and Utility Times, *Computers and Industrial Engineering*, 34, 3, 609-628.
- Sarker, B. R., Pan, H.,** 2001. Design Configuration for a Closed-Station, Mixed-Model Assembly Line: A Filling Cabinet Manufacturing System, *International Journal of Production Research*, 39, 2251-2270.
- Silverman, F. N., Carter, J. C.,** 1986. A Cost-Based Methodology For Stochastic Line Balancing with Intermittent Line Stoppages, *Management Science*, 32, 4, 455.
- Simaria, A. S., Vilarinho, P. M.,** 2004. A Genetic Algorithm Based Approach to the Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem of Type II, *Computers & Industrial Engineering*, 47, 391–407.
- Sparling, D., Miltenburg, J.,** 1998. The Mixed Model U-Line Balancing Problem, *International Journal of Production Research*, 36, 2, 485- 501.
- Tamura, T., Long, H., Ohno K.,** 1999. A Sequencing Problem to Level Part Usage Rates and Work Loads for a Mixed-Model Assembly Line with a Bypass Subline, *International Journal of Production Economics*, 60, 557-564.
- Tanyaş, M., Baskak, M.,** 2003. Üretim Planlama ve Kontrol, İrfan Yayıncılık, İstanbul.

- Thomopoulos, N. T.**, 1967. Line Balancing-Sequencing For Mixed Model Assembly, *Management Science*, 14, B59.
- Thomopoulos, N. T.**, 1970. Mixed Model Line Balancing with Smoothed Station Assignments, *Management Science*, 16, 593.
- Urban, T. L.**, 1998. Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines, *Management Science*, 44, 5, 738.
- Ventura, J. A., Radhakrishnan, S.**, 2002. Sequencing Mixed Model Assembly Lines for a Just-In-Time Production System, *Production Planning & Control*, 13, 2, 199-210.
- Vilarinho, P. M., Simaria, A. S.**, 2002. A Two-Stage Heuristic Method for Balancing Mixed-Model Assembly Lines with Parallel Workstations, *International Journal of Production Research*, 40, 6, 1405-1420.
- Xiaobo, Z., Ohno, K.**, 2000. Properties of a Sequencing Problem for a Mixed Model Assembly Line with Conveyor Stoppages, *European Journal of Operational Research*, 124, 560-570.
- Xiaobo, Z., Zhou, Z., Asres A.**, 1999. A Note on Toyota's Goal of Sequencing Mixed Models on an Assembly Line, *Computers & Industrial Engineering*, 36, 57-65.

EKLER

Ek A: Oluşturulan Takımlarda İşgörenlerin Yaptığı İşler

Tablo A.1: Birinci Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler

İş Sırası	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon	4. İstasyon			5. İstasyon	6. İstasyon		
	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören
1	3305	3230	3340	3235	3345	3350	3365	3245	3370	3390	3385	3250
2	3300	3335		3330		3355			3375	3395		3240
3	3310	3325							3380	3400		
4	3315											

Tablo A.2: İkinci takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler

İş Sırası	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon	4. İstasyon			5. İstasyon	6. İstasyon		
	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören
1	3230	3315	3340	3330	3345	3365	3350	3245	3405	3400	3250	3240
2	3235	3320				3370	3355		3390			
3		3335				3375			3395			
4		3305				3380						
5		3325				3385						

Tablo A.3: Üçüncü Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler

İş Sırası	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon	4. İstasyon			5. İstasyon	6. İstasyon		
	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören
1	3255	3315	3290	3340	3345	3350	3285	3280	3365	3405		
2	3265	3320	3295	3330	3275	3355			3370	3390		
3	3335	3270							3375	3395		
4	3360	3325							3380	3400		
5	3305								3385			

Tablo A.4: Dördüncü Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler

İş Sırası	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon	4. İstasyon			5. İstasyon	6. İstasyon		
	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören
1	3255	3315	3290	3340	3345	3350	3280	3285	3370	3395		
2	3265	3320	3295	3330	3275	3355	3365		3375	3400		
3	3335	3270							3380			
4	3360	3325							3385			
5	3305								3405			
6									3390			

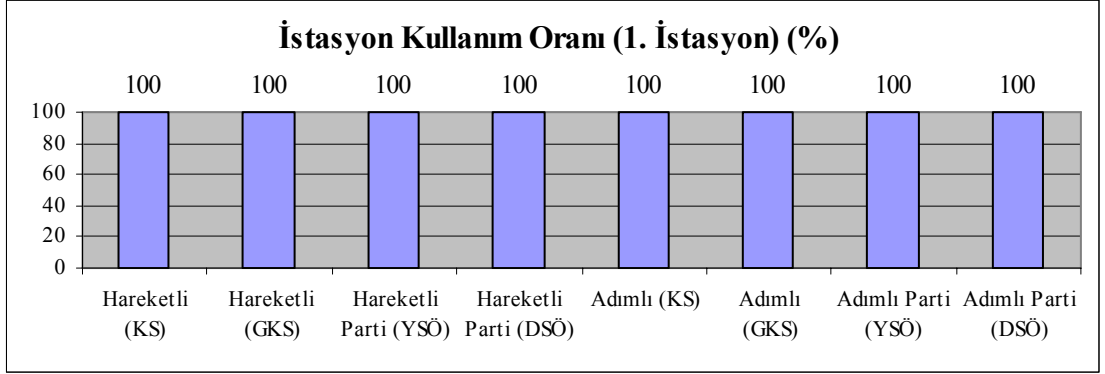
Tablo A.5: Beşinci Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler

İş Sırası	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon	4. İstasyon			5. İstasyon	6. İstasyon		
	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören
1	3305	3230	3340	3330	3345	3350	3365	3245	3380	3390	3250	3240
2	3300	3235				3355	3370		3385	3395		
3	3335	3310					3375			3400		
4	3325	3315										

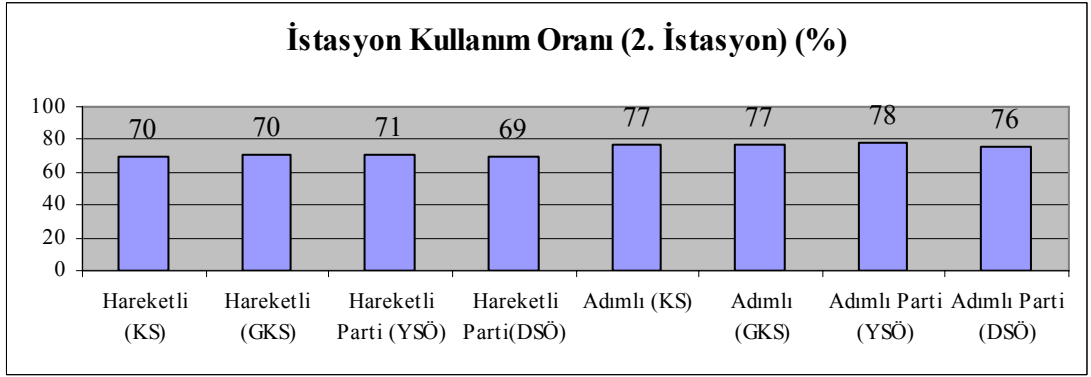
Tablo A.6: Altıncı Takımda İşgörenlerin Yaptığı İşler

İş Sırası	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon	4. İstasyon			5. İstasyon	6. İstasyon		
	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören	1. İşgören	1. İşgören	2. İşgören	3. İşgören
1	3305	3230	3340	3330	3345	3350	3365	3245	3380	3390	3250	3240
2	3300	3235				3355	3370		3385	3395		
3	3335	3310					3375			3400		
4	3325	3315										

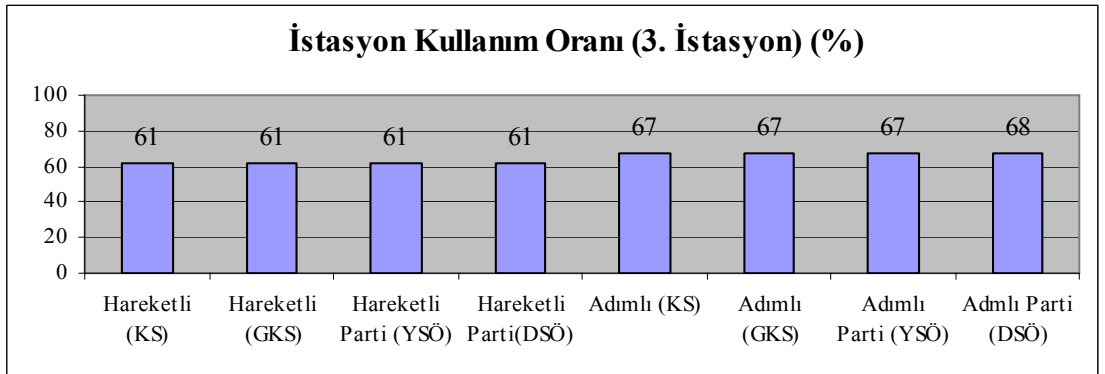
Ek B: İstasyon Kullanım Oranları



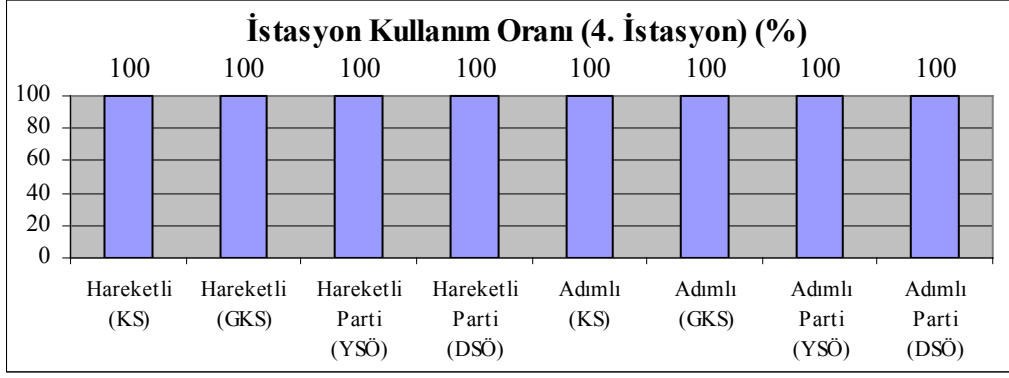
Şekil B.1: Birinci İstasyon Kullanım Oranı



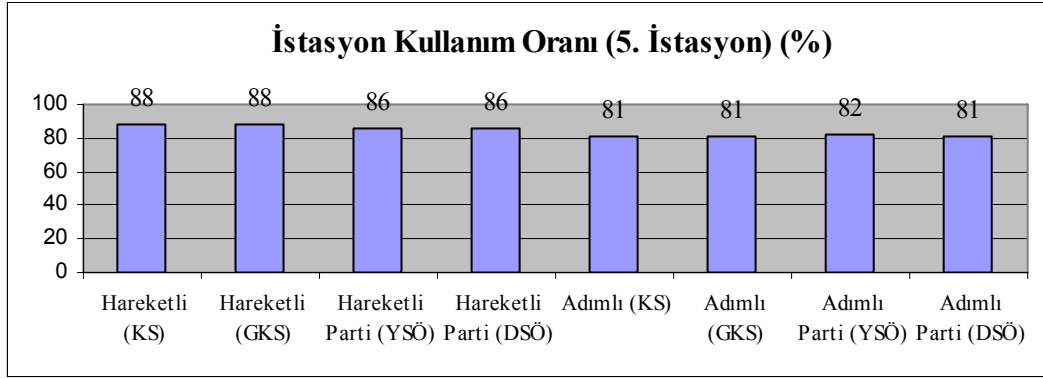
Şekil B.2: İkinci İstasyon Kullanım Oranı



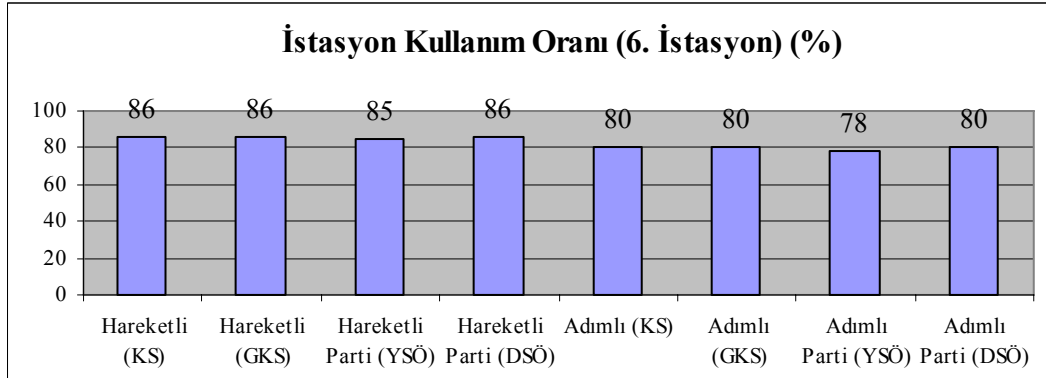
Şekil B.3: Üçüncü İstasyon Kullanım Oranı



Şekil B.4: Dördüncü İstasyon Kullanım Oranı

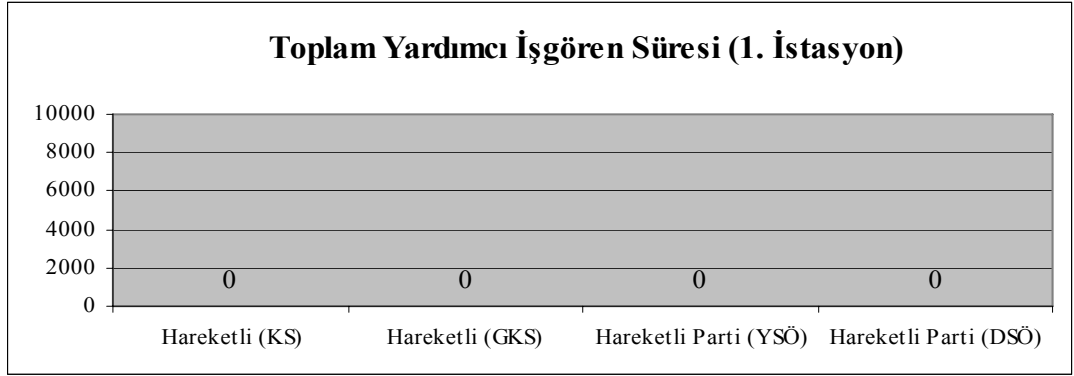


Şekil B.5: Beşinci İstasyon Kullanım Oranı

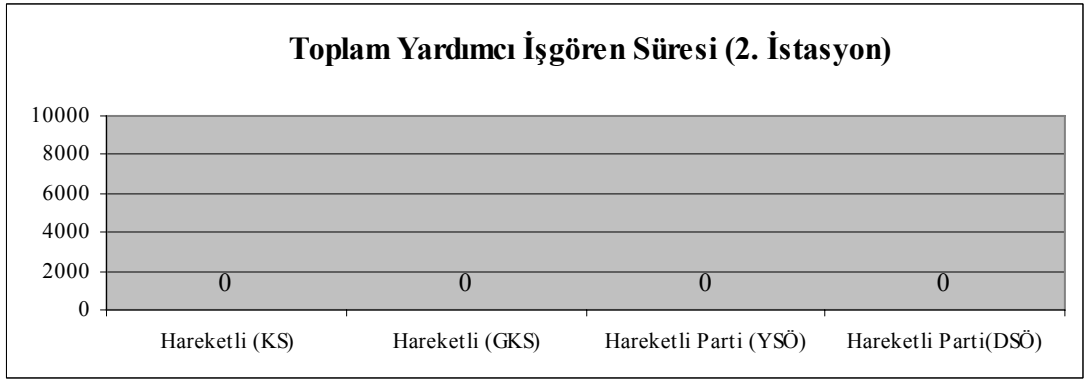


Şekil B.6: Altıncı İstasyon Kullanım Oranı

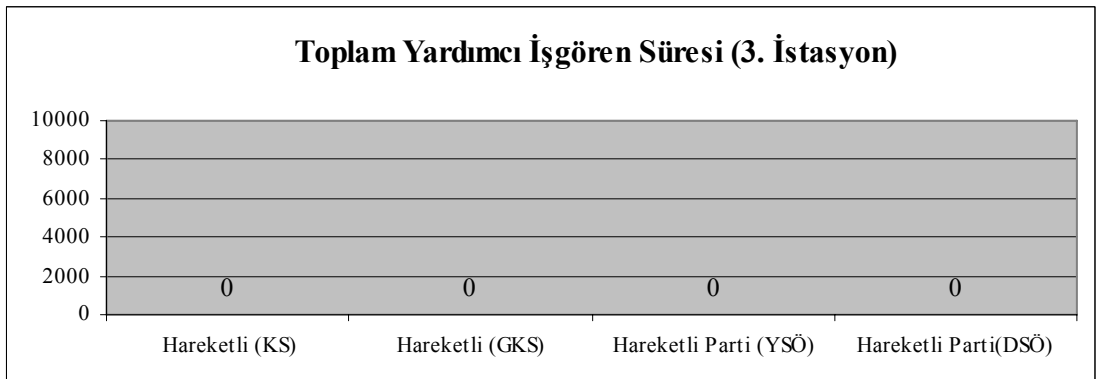
Ek C: İstasyon Yardımcı İşgören Süreleri



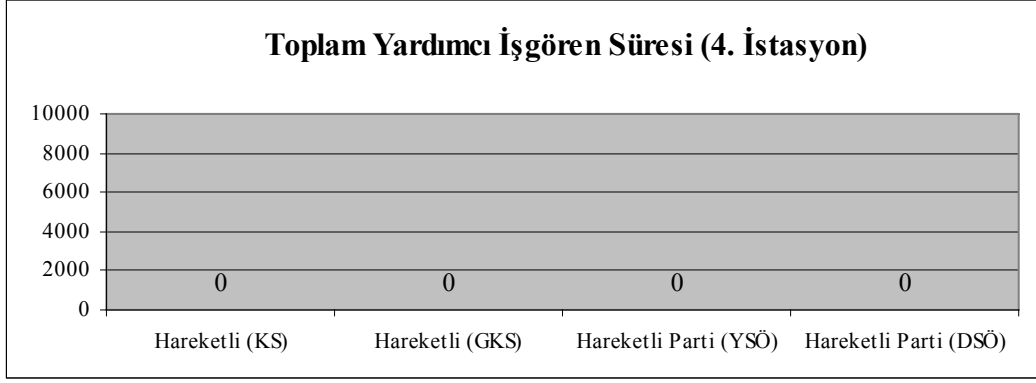
Şekil C.1: Birinci İstasyon Yardımcı İşgören Süresi



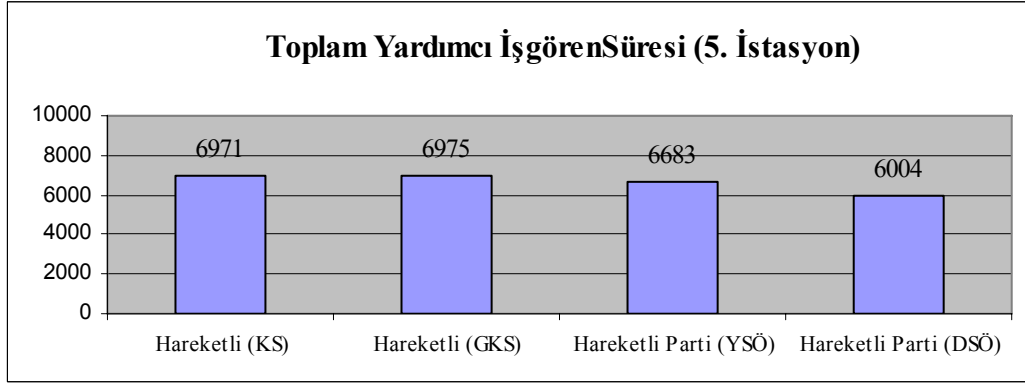
Şekil C.2: İkinci İstasyon Yardımcı İşgören Süresi



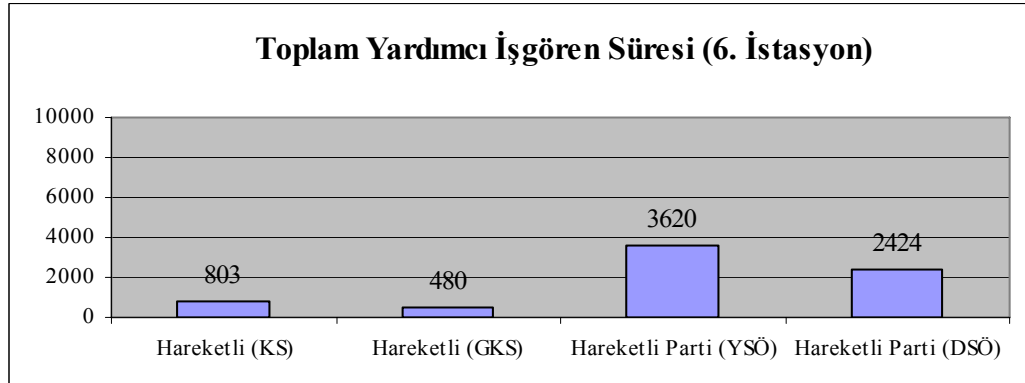
Şekil C.3: Üçüncü İstasyon Yardımcı İşgören Süresi



Şekil C.4: Dördüncü İstasyon Yardımcı İşgören Süresi

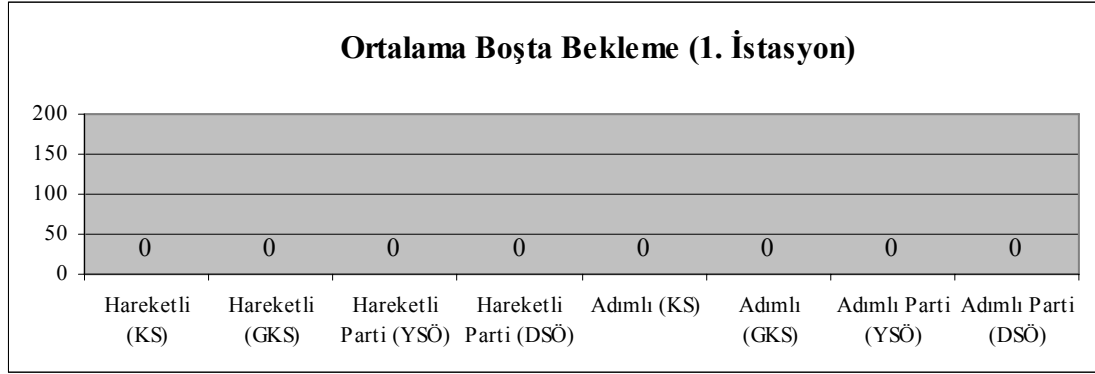


Şekil C.5: Beşinci İstasyon Yardımcı İşgören Süresi

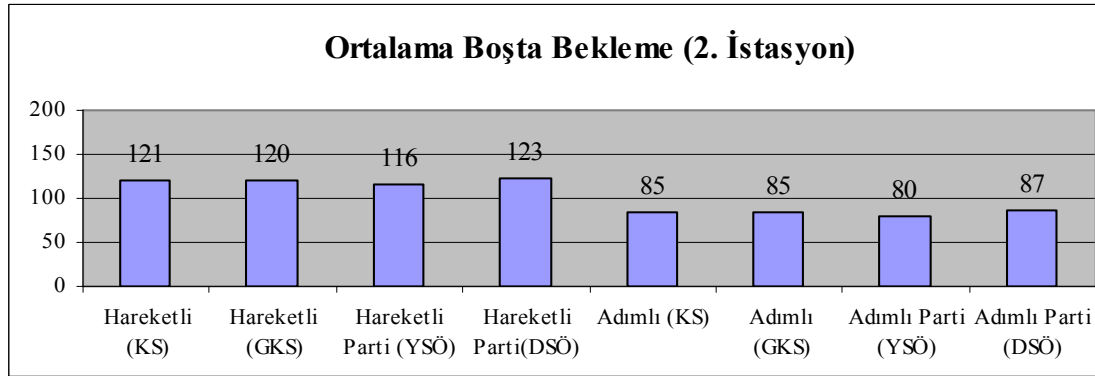


Şekil C.6: Altıncı İstasyon Yardımcı İşgören Süresi

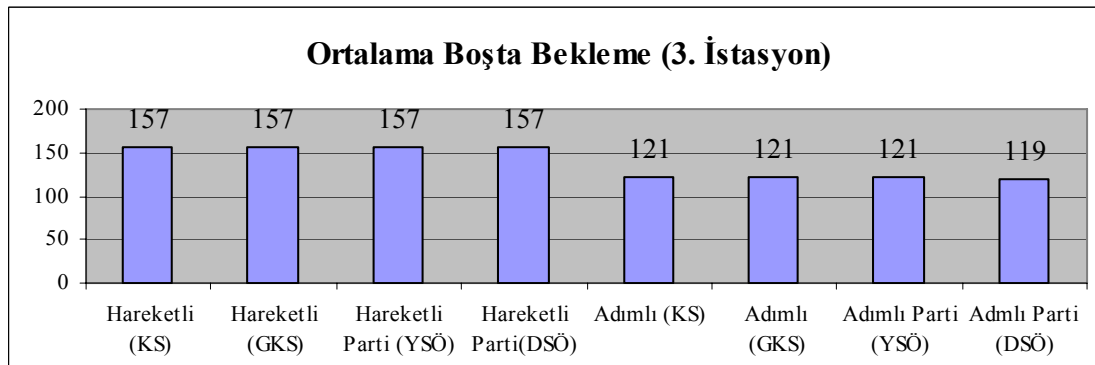
Ek D: İstasyonlardaki Ortalama Boşta Bekleme Süreleri



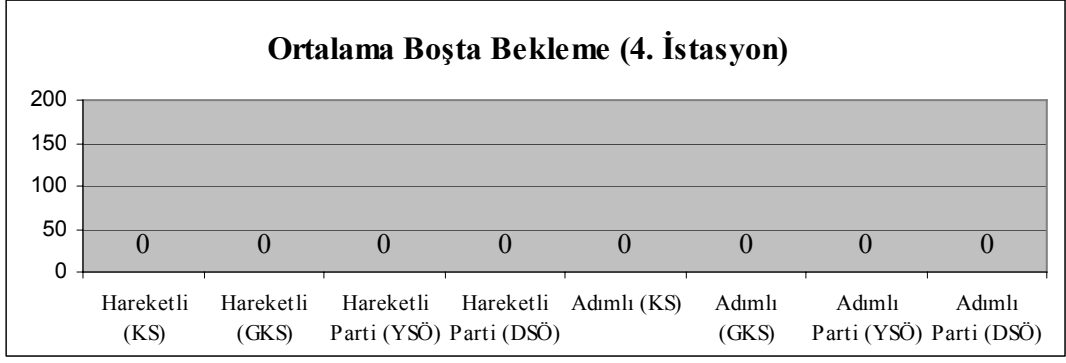
Şekil D.1: Birinci İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi



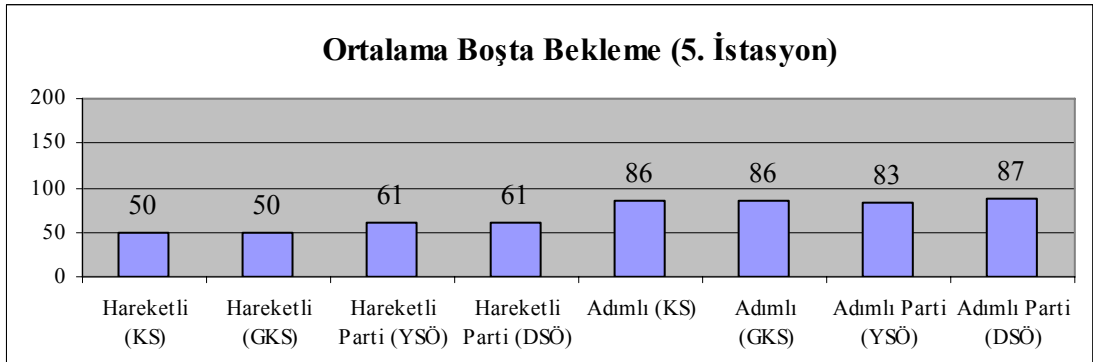
Şekil D.2: İkinci İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi



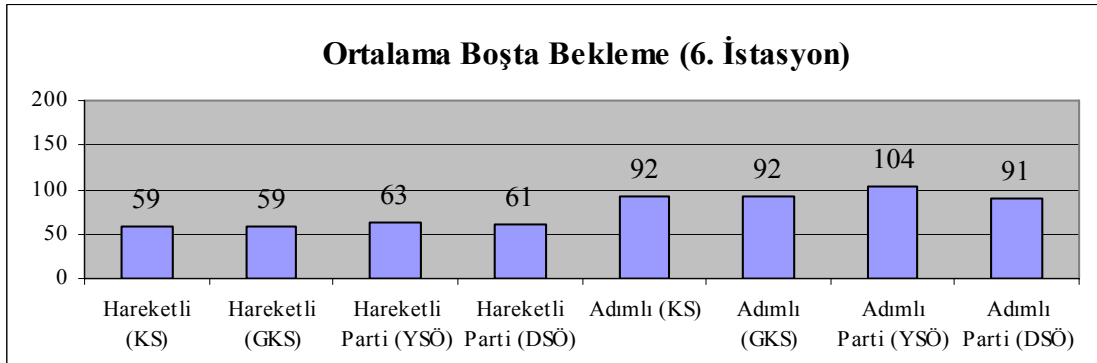
Şekil D.3: Üçüncü İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi



Şekil D.4: Dördüncü İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi

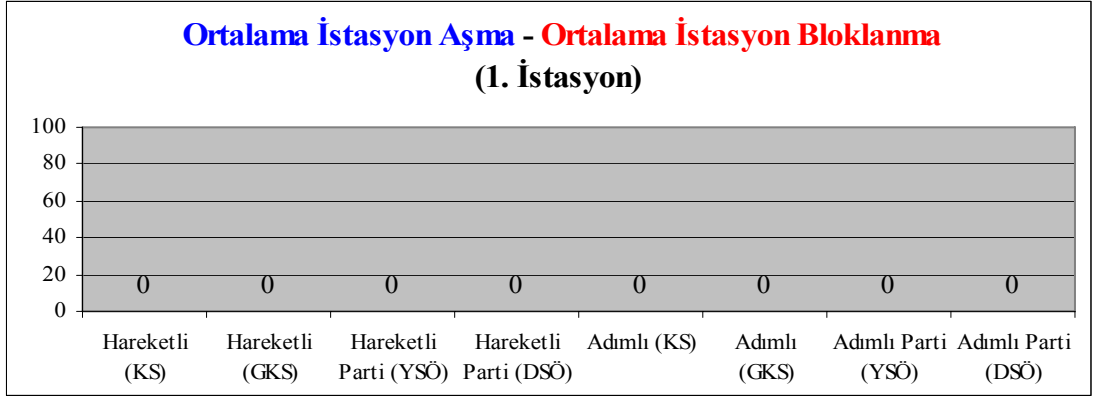


Şekil D.5: Beşinci İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi

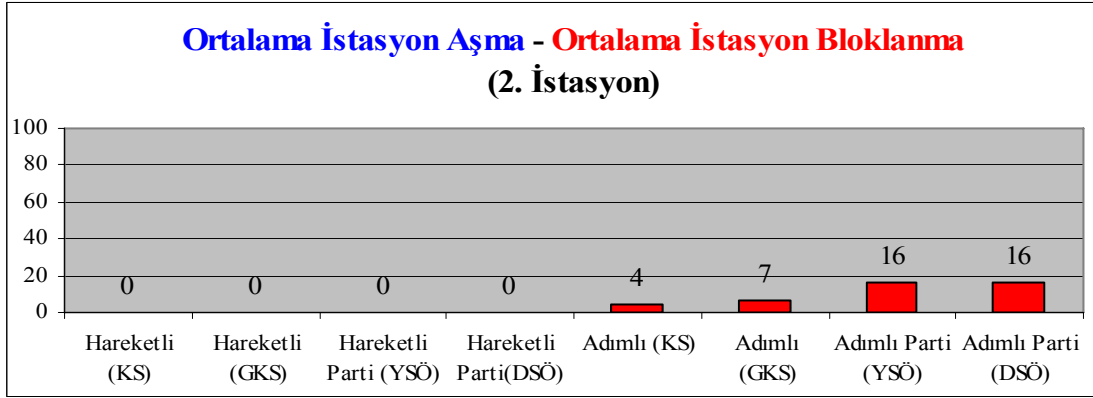


Şekil D.6: Altıncı İstasyon Ortalama Boşta Bekleme Süresi

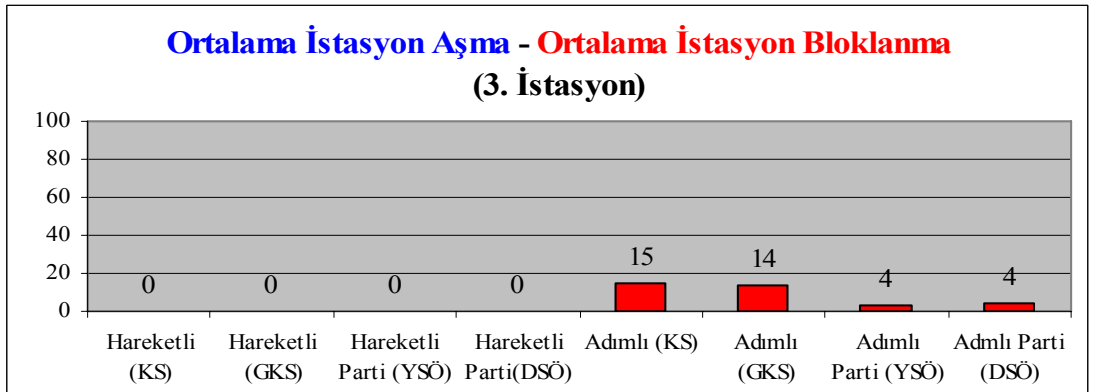
Ek E: İstasyonlardaki Ortalama Bloklanma (Adımlı Hatlar İçin) ve Aşma (Sürekli Hatlar İçin) Süreleri



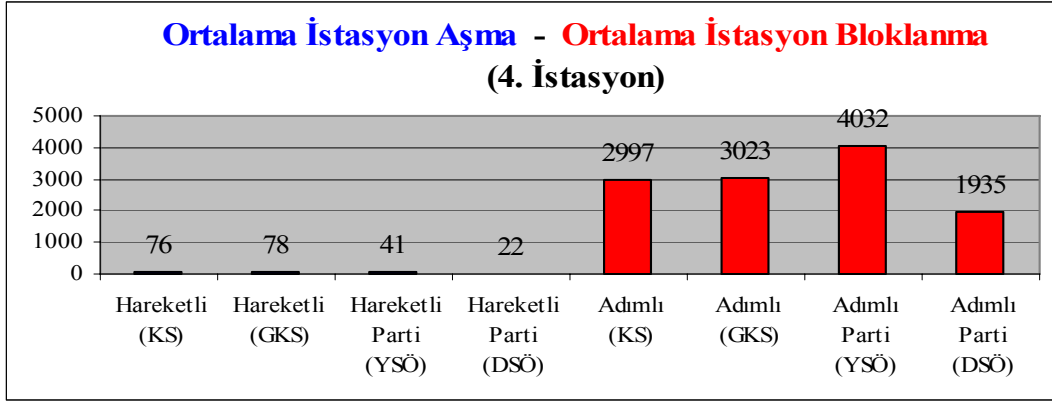
Şekil E.1: Birinci İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi



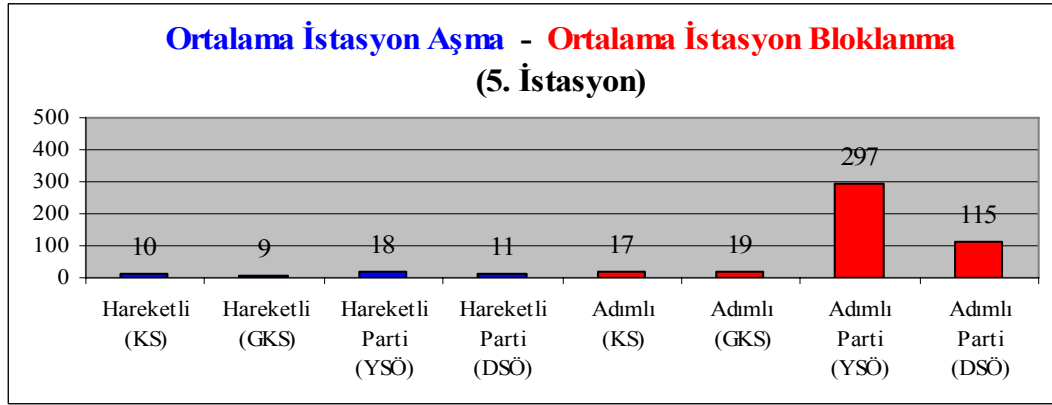
Şekil E.2: İkinci İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi



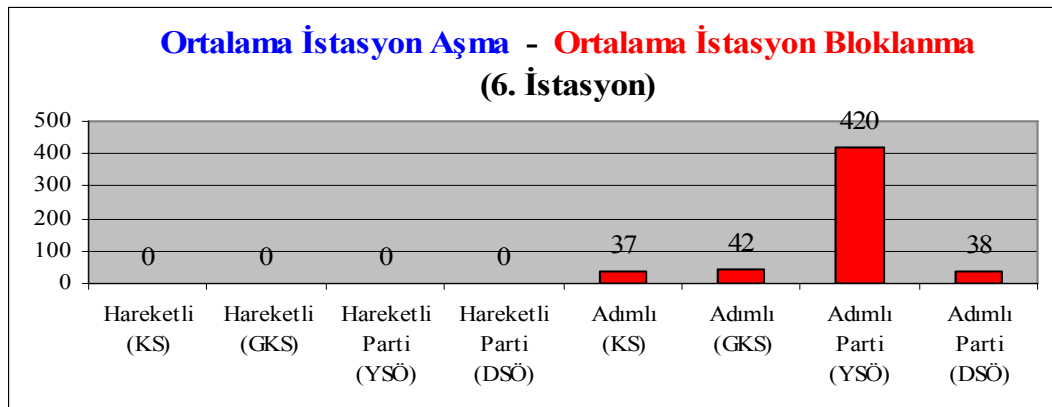
Şekil E.3: Üçüncü İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi



Şekil E.4: Dördüncü İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi



Şekil E.5: Beşinci İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi



Şekil E.6: Altıncı İstasyon Ortalama İstasyon Aşma - İstasyon Bloklanma Süresi

ÖZGEÇMİŞ

Emre ÇEVİKCAN, 9 Haziran 1981 tarihinde İstanbul'da dünyaya geldi. Vefa Anadolu Lisesi'nden 1999 yılında mezun oldu. 2004 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'na başladı. İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.