



T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK
LİSANS
TEZİ

**KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI Dengeleme
PROBLEMİ VE BİR İŞLETMEDE UYGULAMASI**

GAMZE GİZEM GÜNDOĞDU

İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ BİLİM DALI

TEMMUZ 2019



**KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ
VE BİR İŞLETMEDE UYGULAMASI**

Gamze Gizem GÜNDÖĐDU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Gamze Gizem GÜNDOĞDU tarafından hazırlanan “Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Problemi Ve Bir İşletmede Uygulaması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İşletme Anabilim Dalında Üretim Yönetimi Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi E. Mesiha SAAT ERSOY

İşletme Anabilim Dalı, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum



Başkan : Doç. Dr. Metehan TOLON

İşletme Anabilim Dalı, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum



Üye : Doç. Dr. Pelin ÖZGEN

İşletme Anabilim Dalı, Atılım Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum



Tez Savunma Tarihi: 12/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Figen ZALF
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Gamze Gizem Gündoğdu

12.07.2019

**KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi
VE BİR İŞLETMEDE UYGULAMASI**
(Yüksek Lisans Tezi)

Gamze Gizem GÜNDOĞDU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2019

ÖZET

Tüm işlemlerin tek bir iş istasyonunda gerçekleştirildiği geleneksel süreçlerden farklı olarak montaj hatları firmalara yüksek üretkenlik seviyelerini yakalama imkânı sunmaktadır. İşletmelerin üretim hızını artırırken aynı zamanda da üretim maliyetlerini en aza indirebilmeleri için üretimlerinde birtakım iyileştirmeler yapmaları, günümüz rekabet koşullarında zorunlu hale gelmiştir. Montaj hattı dengeleme, verimliliği arttırmak amacı doğrultusunda üretim hatlarında yapılan çalışmaların önemli bir kısmını oluşturmakta olup kayıpların azaltılmasıyla birlikte işletmelere ciddi oranda maliyet kazancı getirmektedir. Bu tez çalışmasında; montaj hattı türlerine, montaj hattı dengeleme problem tiplerine, çözüm yaklaşımlarına ve benzetim ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Karışık modellenmiş montaj hattı dengeleme problemine yönelik fırın üretimi yapan bir işletmede bir uygulama çalışması yapılmıştır. Çalışmada işletmede bulunan ankastre montaj hattında üretilen dört farklı model ele alınmış ve her birinin farklı istasyon yerleşimleri için ayrı ayrı hat dengelemeleri yapılmıştır. Hat dengeleme yapılırken sezgisel bir yöntem olan “Konum Ağırlıklı Hat Dengeleme Tekniği” ve POM for Windows programından yararlanılmıştır. Bununla birlikte, hat dengeleme çalışması sonrası bulunan sonuçları sınamak için bir benzetim programı olan ARENA kullanılmış, mevcut ve önerilen sistem simüle edilmiş, sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 118708
Anahtar Kelimeler : Montaj Hat Dengeleme, Benzetim, Simülasyon, Karışık Modelli Montaj Hatları
Sayfa Adedi : 108
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mesiha Saat Ersoy

**MIXED MODEL ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM
AND APPLICATION IN A FACILITY
(M.S. Thesis)**

Gamze Gizem GÜNDOĞDU

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
July 2019

ABSTRACT

Unlike traditional processes where all operations are performed on a single workstation, assembly lines offer companies the opportunity to capture a high productivity level. In order to minimize production costs while increasing the production speed of the enterprises, making some improvements in their production has become mandatory in today's competitive conditions. Assembly line balancing constitutes an important part of the works carried out on the production lines in order to increase the efficiency and brings significant cost savings to enterprises with the reduction of losses. In this thesis, assembly line types, assembly line balancing problem types, solution approaches and information about simulation are given. An application study was carried out in a company producing oven for a mixed model assembly line balancing problem. In the study, four different models produced in the built-in assembly line were taken into consideration and line balances were made for different station locations of each. While line balancing, a heuristic method such as "Position Weighted Line Balancing Technique" and the POM for Windows program were used. In addition, ARENA, a simulation program was used to test the results found after the line balancing study, the current and proposed system was simulated and the results were evaluated.

Science Code : 118708
Key Words : Assembly Line Balancing, Simulation, Mixed Model Assembly Lines
Page Number : 108
Supervisor : Asst. Dr. Mesiha Saat Ersoy

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mesiha Saat ERSOY' a, uygulama verilerini temin etmemde yardımlarını esirgemeyen Termikel A.Ş. ailesine, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan canım ailem ve sevgili eşim Rafet Gündoğdu' ya teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2- MONTAJ HATLARI.....	3
2.1. Montaj Hatlarının Üretimdeki Yeri.....	3
2.2. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması	4
2.3.1. İşin yapısına göre montaj hatları	5
2.3.2. Model çeşidine göre montaj hatları	5
2.3.4. Hattın yerleşimine göre montaj hatları	6
2.3.5. Gecikme zamanına göre montaj hatları	8
2.3.6. İşlem zamanlarının göre montaj hatları	9
2.3.7. Çift Taraflı Montaj Hatları	9
3. MONTAJ HATTI Dengeleme	11
3.1. Montaj Hatlarının Dengelenmesinin Amacı	12
3.2. Montaj Hatlarının Dengelenmesini Etkileyen Temel Etmenler ve Kısıtlar	12
3.4. Montaj Hattı Dengeleme Problem Tipleri.....	17
3.4.1. Tek Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemi (TMDMHDP). ..	18
3.4.2. Tek Modelli Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi (TMSMHDP).....	18
3.4.3. Çok / Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemi.....	19
3.4.4. Çok / Karışık Modelli Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi.....	21
3.5. MHDP' nin Amaca Göre Sınıflandırılması.....	21
3.6. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Çözüm Yaklaşımları	22
3.6.2. Analitik Yöntemler	22
3.6.3. Benzetim (Simülasyon) Teknikleri.....	22
3.6.1. Sezgisel Yöntemler.....	23
3.6.1.1. Aday matris ile çözüm	23
3.6.1.2. Konum ağırlıklı dengeleme tekniği	23
3.6.1.3. Killbridge ve Wester sezgisel yöntemi	27
3.6.1.4. Öncelik diyagramı ile çözüm	28

3.6.1.5. İki aşamalı dengeleme yöntemi	29
3.6.1.6. Comsoal tekniği	30
3.6.1.7. Probabilistik hat dengeleme	30
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	31
4.1. Deterministik Tek Model MHDP Konusunda Yapılan Çalışmalar	31
4.2. Stokastik MHDP Konusunda Yapılan Çalışmalar	33
4.3. Karma/ Çok Modelli Montaj Hatları ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	35
4.4. Benzetim Tekniğinin Kullanıldığı MHDP Çalışmaları.....	38
5. BENZETİM (SİMÜLASYON).....	39
5.1. Benzetim Kavramı.....	39
5.2. Benzetimin Kullanıldığı Durumlar.....	39
5.2. Benzetimin Tarihi Gelişimi ve Kullanım Alanları.....	40
5.3. Benzetimin Avantaj ve Dezavantajları.....	41
5.4. Benzetim Süreci	42
5.4.1. Benzetim Sisteminin Tanımlanması	43
5.4.2. Kavramsal Modelin Oluşturulması.....	43
5.4.2.1. Modelleme ve Veri Toplama	43
5.4.2.2. Modelleme Süreci	44
5.4.4. Modelin Çalıştırılması	45
5.4.5. Sonuçların Analiz Edilmesi	45
5.5. Benzetim için Geliştirilmiş Diller	45
6. UYGULAMA.....	47
6.1. Firma Tanıtımı.....	47
6.2. Ürün Bilgisi ve Bileşenleri	47
6.3. Problem ve Yöntem.....	49
6.3.1. Varsayımlar	49
6.4. Montaj Hat Dengeleme Uygulaması	50
6.4.1. Model Sıralama Problemi	50
6.5. Hat Dengeleme Sonuçları.....	51
6.5.1. Model 1: 13550 -Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları. 51	
6.5.1.1. Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi sonuçları	51
6.5.1.2. Model 1 için hattın düz yerleşime göre dengelenmesi.....	57
6.5.2. Model 2: 13530 –Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları	59
6.5.2.1. Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi sonuçları	59
6.5.2.2. Model 2 için hattın düz yerleşime göre dengelenmesi.....	64

6.5.3. Model 3: 13551 - Düz açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları.....	66
6.5.3.1. Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi sonuçları.....	66
6.5.3.2. Model 3 için hattın düz yerleşime göre dengelenmesi.....	71
6.5.4. Model 4: 13555 - Yan açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları.....	73
6.5.4.1. Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi sonuçları.....	73
6.5.4.2. Model 4 için hattın düz yerleşime göre dengelenmesi.....	78
6.6. Montaj Hattı Benzetimi.....	80
6.6.1. Mevcut Durum.....	81
6.6.2. Önerilen Durum.....	82
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	88
EKLER	95
EK-1. Fabrika Yerleşim Planı	96
EK-2. Ankastre Fırın Patlak Resmi	97
EK-3. Üretim Hat Şeması	98
EK-4. Model 2: 13530 -Yana Açılır Turbo Fanlı Ankastre Fırın Zaman Etüdü	99
EK-5. Model 3: 13551 - Düz Açılır Fansız Ankastre Fırın Zaman Etüdü	100
EK-6. Model 4: 13555 - Yana Açılır Fansız Ankastre Fırın Zaman Etüdü	101
EK-7. Mevcut Durum Arena Program Raporu	102
EK-8. Önerilen Durum ARENA Program Raporu	105
ÖZGEÇMİŞ	108

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Öncelik matrisi.....	16
Çizelge 3.2. Örnek probleme ilişkin veriler	25
Çizelge 3.3. Konum Ağırlıklarının Hesaplanması	26
Çizelge 3.4. Sıralanmış Konum Ağırlıkları	26
Çizelge 3.5. İşlerin istasyonlara atanması.....	27
Çizelge 6.1. Ürün talepleri	50
Çizelge 6.2. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın montaj hattı görevleri ve öncelik ilişkileri	52
Çizelge 6.3. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın zaman etütleri.....	53
Çizelge 6.4. Düz açılır turbo fanlı ankastre modeli için konum ağırlıkları	54
Çizelge 6.5. Düz açılır turbo fanlı ankastre modeli için sıralanmış konum ağırlıkları ..	55
Çizelge 6.6. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları.....	56
Çizelge 6.7. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın işçilik hesabı	57
Çizelge 6.8. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın için düz yerleşimli hat dengeleme işçilik maliyetleri	59
Çizelge 6.9. Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın montaj hattı görevleri ve öncelik ilişkileri	60
Çizelge 6.10. Yana açılır turbo fanlı ankastre modeli için konum ağırlıkları	61
Çizelge 6.11. Yana açılır turbo fanlı ankastre modeli için sıralanmış konum ağırlıkları	62
Çizelge 6.12. Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları.....	63
Çizelge 6.13. Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın işçilik hesabı.....	64
Çizelge 6.14. Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın için düz yerleşimli hat dengeleme işçilik maliyetleri	66
Çizelge 6.15. Düz açılır fansız ankastre modeli için görevler ve öncelik ilişkileri.....	67

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.16. Düz açılır fansız ankastre modeli için konum ağırlıkları.....	68
Çizelge 6.17. Düz açılır fansız ankastre modeli için sıralanmış konum ağırlıkları	69
Çizelge 6.18. Düz açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları.....	70
Çizelge 6.19. Düz açılır fansız ankastre fırın işçilik hesabı.....	71
Çizelge 6.20. Düz açılır fansız ankastre fırın için düz yerleşimli hat dengeleme işçilik maliyetleri	73
Çizelge 6.21. Düz açılır fansız ankastre modeli için görevler ve öncelik ilişkileri	74
Çizelge 6.22. Yan açılır fansız ankastre modeli için konum ağırlıkları.....	75
Çizelge 6.23. Yana açılır turbo fanlı ankastre modeli için sıralanmış konum ağırlıkları	76
Çizelge 6.24. Yan açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları	77
Çizelge 6.25. Yan açılır fansız ankastre fırın işçilik hesabı.....	77
Çizelge 6.26. Yan açılır fansız ankastre fırın için düz yerleşimli hat dengeleme işçilik maliyetleri	79
Çizelge 7.1. Modellerin hat dengeleme sonucu performans değerlendirmesi	85
Çizelge 7.2. Mevcut ve önerilen durum üretim miktarları.....	86

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kitle üretim sistemleri	4
Şekil 2.2. Montaj hatlarının sınıflandırılması	5
Şekil 2.3. Tekli ve çoklu ürünler için montaj hatları	6
Şekil 2.4. Düz montaj hattı şekilsel gösterimi	7
Şekil 2.5. U tipi montaj hattı şekilsel gösterimi	7
Şekil 2.6. Paralel montaj hattı şekilsel gösterimi	8
Şekil 2.7. Dairesel montaj hattı	8
Şekil 2.8. Çift taraflı montaj hattı	9
Şekil 3.1. Montaj hattı dengeleme sistemi	11
Şekil 3.2. Öncelik diyagramı	15
Şekil 3.3. Tam dengeli ve dengede olmayan n istasyonlu montaj hattı	16
Şekil 3.4. Montaj hat dengeleme problemlerinin sınıflandırılması.	17
Şekil 3.5. 1. Ürün (a) ve 2. Ürün(b)' e ait öncelik diyagramları ve birleştirilmiş öncelik diyagramı (c)	21
Şekil 3.6. Örnek probleme ilişkin öncelik diyagramı.	25
Şekil 5.1. Modelleme süreci	44
Şekil 6.1. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın	51
Şekil 6.2. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın öncelik diyagramı	52
Şekil 6.3. Model 1 için düz yerleşimli hat dengesinde istasyonların iş yükü dağılımı...	58
Şekil 6.4. Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın	60
Şekil 6.5. Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın öncelik diyagramı	61
Şekil 6.6. Model 2 için düz yerleşimli hat dengesinde istasyonların iş yükü dağılımı...	65
Şekil 6.7. Düz açılır fansız ankastre fırın	67
Şekil 6.8. Düz açılır fansız ankastre fırın öncelik diyagramı	68

Şekil	Sayfa
Şekil 6.9. Model 3 için düz yerleşimli hat dengesinde istasyonların iş yükü dağılımı ..	72
Şekil 6.10. Yan açılır fansız ankastre fırın	74
Şekil 6.11. Yan açılır fansız ankastre fırın öncelik diyagramı	75
Şekil 6.12. Model 4 için düz yerleşimli hat dengesinde istasyonların iş yükü dağılımı.	79
Şekil 6.13. Parça gelişi giriş modülü	80
Şekil 6.14. Alt taban arasacı montajı işlem modülü	80
Şekil 6.15. Kalite uygunluk karar modülü	80
Şekil 6.16. Hatalı ürün kayıt modülü	81
Şekil 6.17. Parça çıkış modülü	81
Şekil 6.18. Mevcut durum ankastre montaj hattı benzetim modeli	81
Şekil 6.19. Önerilen ankastre montaj hattı benzetim modeli	83

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Firma Görseli	47
Resim 6.2. Model 1 için düz yerleşime göre POM for Windows hat dengeleme sonuçları.	58
Resim 6.3. Model 2 için düz yerleşime göre POM for Windows hat dengeleme sonuçları.	65
Resim 6.4. Model 3 için düz yerleşime göre POM for Windows hat dengeleme sonuçları.	72
Resim 6.5. Model 4 için düz yerleşime göre POM for Windows hat dengeleme sonuçları	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklamalar

dk

Dakika

sn

Saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

BMHD:

Basit Montaj Hattı Dengeleme

ÇMD:

Çok Model Deterministik

ÇMS:

Çok Model Stokastik

GMHD:

Genel Montaj Hattı Dengeleme

MHDP:

Montaj Hattı Dengeleme Problemi

TMD:

Tek Model Deterministik

TMS:

Tek Model Stokastik

1. GİRİŞ

Günümüzde artan rekabet ile birlikte işletmelerin kaynaklarını etkin ve verimli kullanması zorunlu hale gelmiştir. Üretim hızı artarken aynı zamanda da üretim maliyetlerinin en aza indirilmesi için işletmelerde akış tipi üretim sistemleri yaygınlaşmıştır. Montaj hatları da bu akış tipi üretim sistemlerinden biri olup öncelik ilişkilerine göre sıralanmış iş istasyonlarının bir taşıma sistemiyle birbirine bağlanmasıyla meydana gelmektedir. Bu birbirine bağlı istasyonların her birinde ürünün tamamlanması için gerekli olan işlemler gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerin montaj hattındaki istasyonlara beklmeleri en aza indirecek şekilde dengeli paylaştırılması isteği montaj hattı dengeleme problemini ortaya çıkarmıştır.

İşletmelerin verimli ve kaliteli ürün ortaya çıkarmaları için üretim sürecinde birtakım iyileştirmeler yapmaları gerekmektedir. Literatüre bakıldığında montaj hattı dengeleme, verimliliği arttırmak amacı doğrultusunda üretim hatlarında yapılan iyileştirme çalışmalarındandır. Hat dengeleme; görevlerin belirli öncelik ilişkileri dikkate alınarak çevrim süresini aşmayacak ve boş zamanları en aza indirecek şekilde iş istasyonlarına atanması olarak tanımlanmakta olup denge sağlanamamış hatlarda istasyon yükleri eşit olmayacağından ürünün çevrim süresi uzamakta, kayıplar ve verimlilikte düşüşler meydana gelmektedir.

Montaj hattı dengeleme problemiyle ilgili bugüne kadar birçok çalışma yapılmış farklı problem tiplerine yönelik çeşitli çözüm yöntemleri önerilmiştir. Montaj hattı dengeleme problemi; amaç, ürün sayısı, yerleşim tipi, görev süreleri gibi çeşitli ölçütlere göre gruplandırılmıştır. Bu çalışmada Karışık modellenli montaj hat dengeleme problemi ele alınmıştır. Karışık ünlü montaj hatları karmaşık bir yapıya sahip olup ürünün birçok çeşidinin üretildiği hatlardır. Montajı yapılacak modeller arasındaki farklılıklar nedeniyle dengeleme problemi daha karmaşık hale gelmektedir. Özellikle bu şekilde ürünlerin ve süreçlerin farklılık gösterdiği montaj hatlarında iş yükünün dengeli dağılımı büyük önem arz etmektedir.

Rekabetin artmasıyla piyasa koşulları zorlaşmaya başladığından, artık üretim hatlarını tasarlamak ve bu hatlara, oluşan çeşitli dalgalanmalar karşısında yeterli esnekliği verebilmek için girişilen çalışmalar, bilgisayar desteği ile geliştirilen benzetim programlarıyla oldukça kolay olmaktadır. Benzetim tekniği, montaj hattında yapılması

tasarlanan herhangi bir iyileştirmenin sonuçlarının daha uygulama yapılmadan görülebilmesine olanak sağlar. Bu da başta zaman ve maliyet faktörleri açısından ciddi kazanımlar sağlayacaktır. Benzetim tekniğinin diğer bir avantajı daha az sayıda varsayım gerektirdiklerinden gerçek sistemi daha iyi temsil edebilirler.

Bu çalışmanın temel amacı, hat dengeleme ve benzetim tekniklerini kullanarak, çalışmanın yapıldığı montaj hattının performansını arttırmaktır. Çalışmada Termikel A.Ş. de bulunan ankastre montaj hattından alınan veriler kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümde montaj hattı kavramından, montaj hatlarının üretimdeki yerinden bahsedilmiş, montaj hattı tipleri üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde montaj hattı dengeleme anlatılmış; amaçları, temel kavramları, problem tipleri ve çözüm yöntemleri açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde montaj hattı dengeleme ile ilgili çalışmalar incelenmiş, yapılan çalışmalar sınıflandırılarak çalışmalar hakkında özet bilgiler sunulmuştur.

Beşinci bölümde Benzetim tekniği anlatılmış, kullanım alanları, avantaj ve dezavantajları ile süreçlerinden bahsedilmiştir.

Altıncı bölümde Termikel A.Ş firması ankastre montaj hattında gerçekleştirilen hat dengeleme uygulama çalışması verilmiştir. Uygulama iki bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde dört farklı ankastre modeli ele alınmış her biri için ayrı ayrı hat dengeleme çalışması yapılmıştır. Çalışmada sezgisel bir yöntem olan konum ağırlıklı hat dengeleme tekniği ve POM for Windows programından yararlanılmıştır. İkinci bölümde ise hat dengeleme çalışması sonrası bulunan sonuçları sınamak için bir benzetim programı olan ARENA kullanılmış, sistem simüle edilmiştir.

Yedinci ve son bölümde ise tez üzerine sonuç ve değerlendirmeler yer almıştır.

2- MONTAJ HATLARI

Endüstrileşme sürecinde, toplam işin öğelerine ayrılarak bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı, kitlesel ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak da üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının olduğu belirli bir hat üzerinden malzemelerin geçirilmesi yoluyla yapılmaya başlanmıştır. Malzemelerin akış hattı boyunca işgücü veya donanımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarında öncelik ilişkisi ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturulan, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sistemlere montaj hattı denir. (Kayar, 2012: 213)

Ürüne göre düzenlenen yerleşim tipinde montaj hatları kullanılmaktadır. “Montaj hattı, montaj türü üretimin gerçekleştiği ve bu hat üzerinde malzeme taşıma araçlarının da yer aldığı bir bileşimdir.” (Çelikçapa, 2000: 73-76)

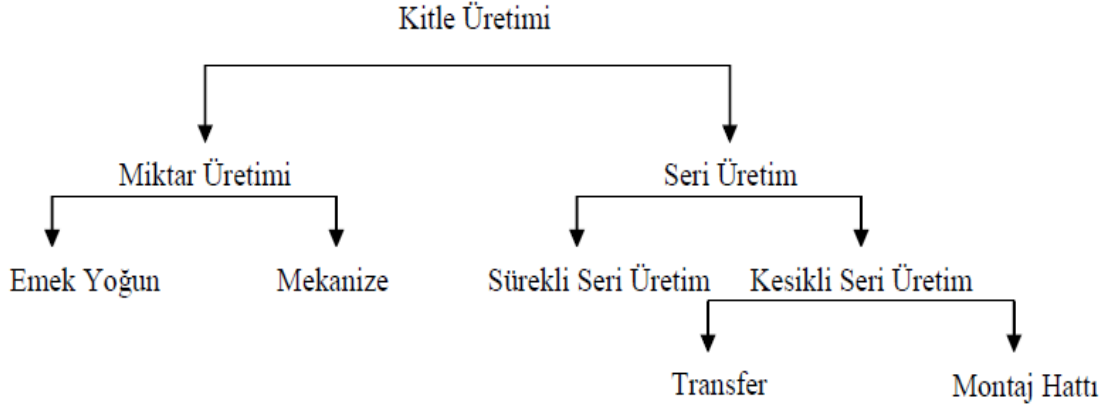
Yerleştirme açısından; hat üzerindeki iş istasyonları, her iş istasyonunun çevrim süresi, malzeme taşıma araçları, hat tasarımı, ürün birleşimi vb. faktörler önemli bir rol oynamaktadır. Montaj hattındaki en önemli sorun ise montaj hattının dengelenmesidir. Dengelemenin yapılabilmesi için çevrim süresine göre toplam üretim süresinin en küçüklenmesi, ürünün üretim akışına uygun iş istasyonlarının oluşturulması gerekir. Bu nedenle öncelikle bir şebeke ağı üzerinden işler arasındaki sıralama tespit edilir, ardından çevrim süresi hesaplanır. (Çelikçapa, 2000: 73-76)

2.1. Montaj Hatlarının Üretimdeki Yeri

Montaj hatları, günümüz endüstrisinde önemli bir yere sahip olan kitle üretim yöntemlerinden birisidir. Tüm işlemlerin tek bir iş istasyonunda gerçekleştirildiği geleneksel süreçlerden farklı olarak montaj hatları firmalara yüksek üretkenlik seviyelerini yakalama imkânı sunarlar. Montaj hatları ürünlerin büyük oranda standartlaştırıldığı ve tüketimin yüksek olduğu endüstrilerde yoğun olarak kullanılmaktadır. Ayrıca düşük seviyede standartlaştırılmış ürünleri veya özelleştirilmiş ürünleri küçük miktarlarda üretmek için de kullanılmaktadırlar. (Becker & Scholl, 2006: 694-715)

Kitle üretimi, miktar üretimi ve akış tipi üretim olmak üzere iki değişik üretim teknolojisini içermektedir. Miktar üretimi emek yoğun üretim ve mekanize üretim olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bunlardan emek yoğun üretim sistemleri günümüzde artık kullanılmamaktadır. Akış tipi üretim sistemleri ise, sürekli seri üretim sistemleri ve kesikli seri üretim sistemleri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Kesikli seri üretim sistemleri

olarak bilinen akış hatları, transfer hatları ve montaj hatlarından oluşur. Akış hattı sistemleri olarak tanımlanan transfer hatları ve montaj hatları kitle üretim sistemlerinin bir alt koludur. Kitle üretiminde ürünün karmaşıklığı arttıkça akış tipi üretim sistemlerine geçilir. (Acar & Eştaş, 1991: 9-13)

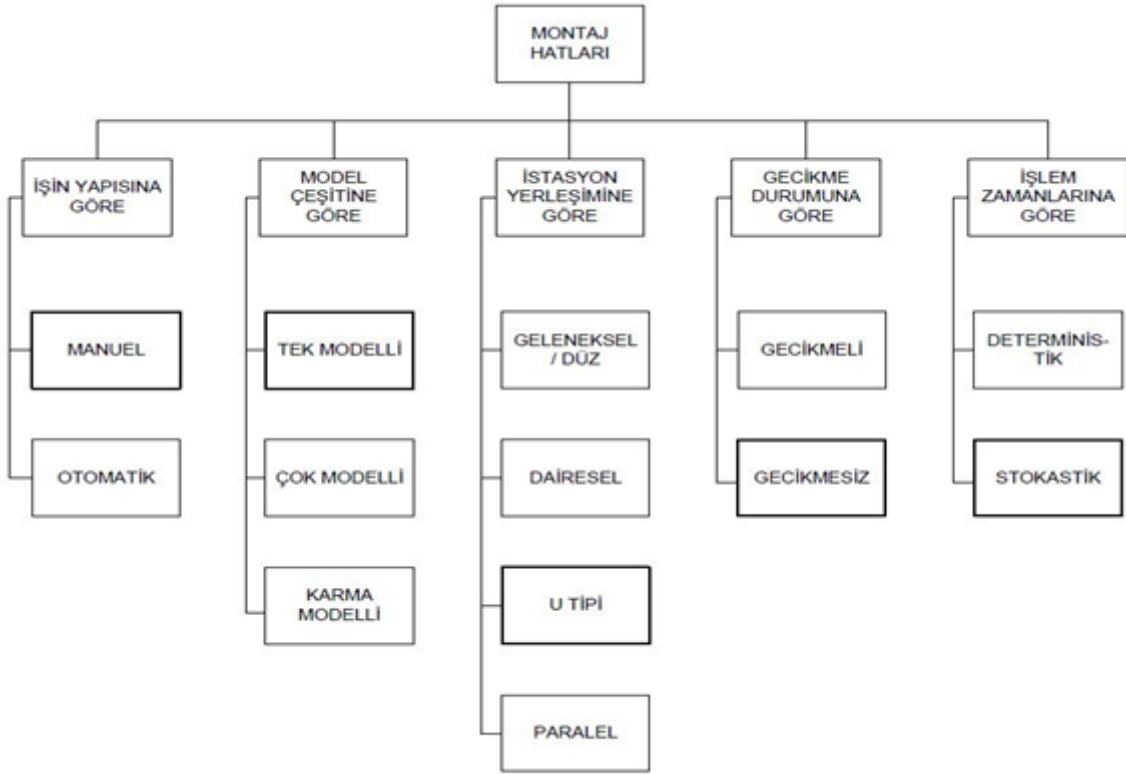


Şekil 2.1. Kitle üretim sistemleri (Wild R. , 1972)

Montaj hatları ilk defa 1913 Ford motor fabrikalarında kullanılmaya başlanmıştır. Seri üretimde, teknik beceri gerektirmeyen iş gücüne, düşük stok seviyesine ihtiyaç duyulması ve makine faydalarının yüksek olması gibi nedenlerle üretimin ucuza gerçekleştirilmesi söz konusudur. Seri üretimin bu avantajlarına karşılık esnek olmaması, yüksek ve istikrarlı talebe ihtiyaç duyulması ve geniş bir sermaye yatırımı gerektirmesi gibi bir takım dezavantajları da vardır. Akış ve ya üretim hatları olarak da bilinen montaj hatları, şüphesiz seri üretimin temel özelliklerine sahiptir. Ayrıntılarda farklılıklar olmakla birlikte içerik olarak sıralı iş istasyonlarında yapılan imalat ve ya montaj faaliyetlerini konu edinirler. (Wild, 1971: 239-243)

2.2. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

Montaj Hatlarını aşağıda Şekil 2.2.' de sunulduğu üzere işin yapısı, model çeşidi, istasyon yerleşimi, gecikme durumu ve işlem zamanları gibi çeşitli ölçütlerine göre sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 2.2. Montaj hatlarının sınıflandırılması

2.3.1. İşin yapısına göre montaj hatları

- i. *Manuel montaj hatları:* Bu hatlarda istasyonlar arası taşımalar ve işlemler elle yapılmaktadır.
- ii. *Otomatik montaj hatlarında* ise taşımalar konveyör bantlar ile sağlanmaktadır.

2.3.2. Model çeşidine göre montaj hatları

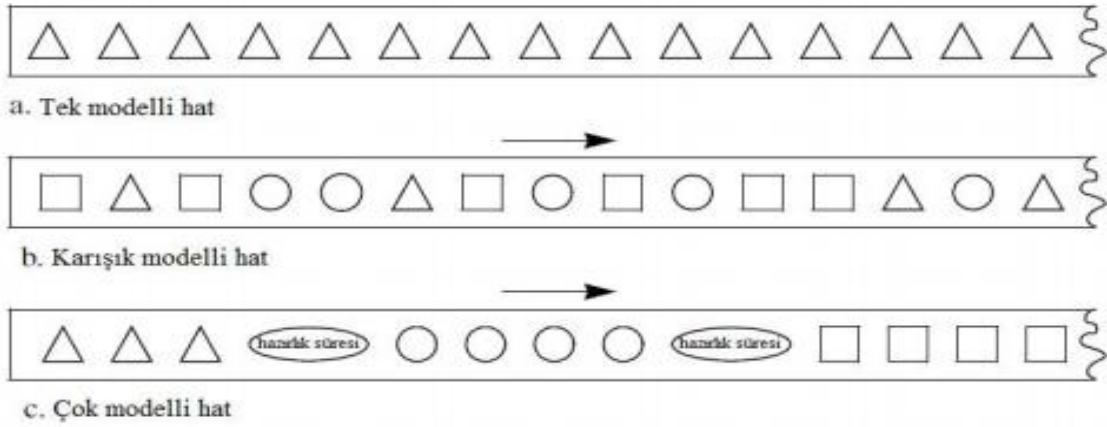
- i. *Tek modellenli hatlar:* “Sadece tek bir ürün modelinin üretildiği hatlardır. Literatürde basit model montaj hatları olarak da bilinirler.” (Gökçen, 1989) Montaj hattının tasarımı ilgili ürüne özgüdür ve ürüne olan kitlesel talebin hızlı bir şekilde karşılanması amaçlanır.

- ii. *Çok modellenli hatlar:* Birbiriyle benzerlik gösteren farklı modellerin üretildiği hatlardır. Üretim süreçleri büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

Gökçen (1989) tek model montaj hattı dengeleme problemini incelediği çalışmasında, “Farklı ürünlerin imalatı için optimal imalat sırası, montaj hattı hazırlama maliyetlerinden direkt olarak etkilenecektir. Hat hazırlama maliyeti, değişen makine ve aletlerin maliyeti, ayarlama maliyeti, makine ve işgücünün boş zamanlarının maliyetlerinin toplamı olarak düşünülebilir. Bu durumda problem, belirli bir zaman aralığında toplam hazırlık maliyetini

en azlayan parti üretim sıralamasını bulmak şeklinde tanımlanabilir. Parti üretim sıralamasının bu tip problemlerde önem kazanmasının nedeni, hazırlama maliyetlerinin genellikle sabit olmayıp değişken bir nitelik taşımasıdır.” belirtmiştir.

iii. Karma modelli hatlar: Aynı anda birden fazla çeşitteki ürünlerin üretildiği montaj hatlarıdır. Ürünler ve üretim prosesleri birbirine benzemektedir. Karışık modelli üretimin en önemli faydası, müşteri isteğini karşılamak üzere değişik modellerin sürekli olarak üretilmesi ve büyük bitmiş mamul stoklarını gerektirmemesidir. Modellerin değişik işlem zamanlarından doğan dezavantajlı yönleri ise, iş akışının düzenli olmaması, dolayısıyla daha fazla istasyon boş zamanları, yarı mamullerden oluşan yığınlardır. (Acar & Estaş, 1986: 110,309) Şekil 2.3.’te ürün sayılarına göre montaj hattı tipleri görülmektedir.

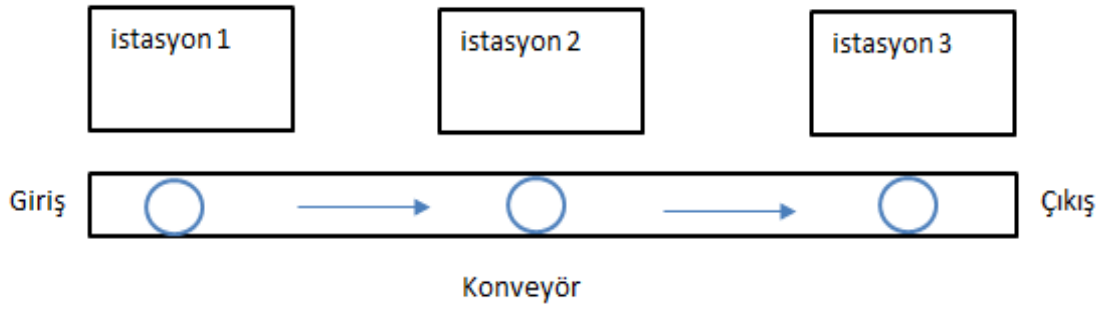


Şekil 2.3. Tekli ve çoklu ürünler için montaj hatları (Becker & Scholl, 2006: 694-715)

2.3.4. Hattın yerleşimine göre montaj hatları

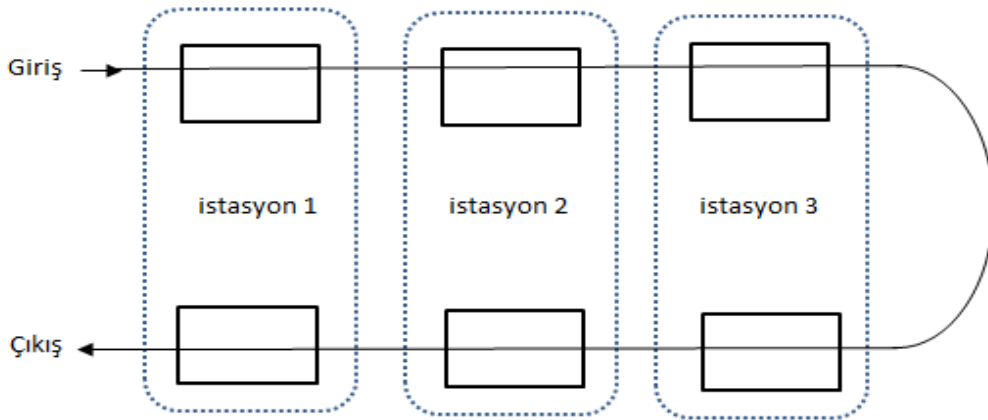
Donanım ve iş istasyonlarının yerleşimi hat tipindeki üretimleri etkileyen önemli bir etmendir. Hattın bulunduğu yer ve üretilecek ürünün özellikleri, hattın alacağı şekli belirler. Montaj hatları; fiziksel olarak düz, U-tipi, paralel ve dairesel gibi değişik biçimlerde tasarlanabilir. (Yılmaz, 2006)

i. Geleneksel / düz montaj hatları: İş istasyonlarının doğrusal bir hat boyunca sıralandıkları basit ve düzenli hatlardır. Şekil 2.4.’te düz montaj hattı örneği gösterilmiştir.



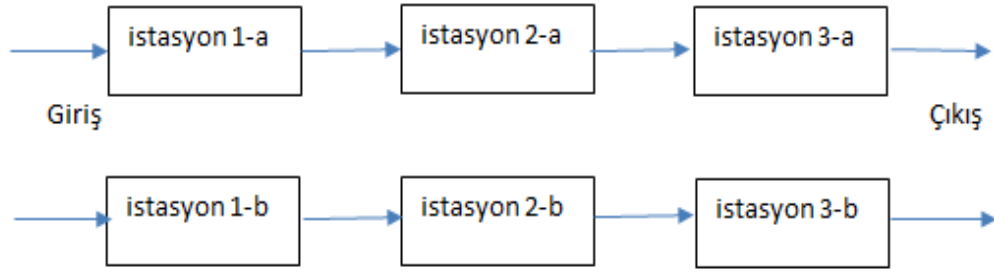
Şekil 2.4. Düz montaj hattı şekilsel gösterimi

ii. *U-Tipi montaj hatları:* İstasyonlar arasındaki iletişim ve hareketin kolaylaştırılması amacıyla gerçekleştirilen bu yerleşim üretimde esneklik sağlaması açısından avantajlıdır. Günümüzde yaygın hale gelmiş olup olası istasyon tıkanıklıklarında müdahale süresini azaltmaktadır. Şekil 2.5.' te U tipi montaj hat yerleşimine örnek verilmiştir.



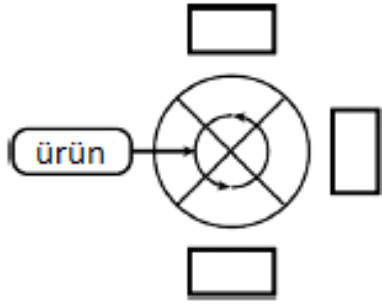
Şekil 2.5. U tipi montaj hattı şekilsel gösterimi

iii. *Paralel montaj hatları:* Ürüne olan talep yeterince yüksek olduğu zamanlarda, hattın karşılıklı kopyalanması şeklinde bir hat daha oluşturulması üretim hızını oldukça arttırabilmekte ve hat tasarımını kısaltabilmektedir. Fakat daha fazla ekipman ve alete ihtiyaç duyma gereksinimi vardır. Bir hatta bulunan herhangi bir istasyonda sorun olsa bile, karşıdaki hatta üretim devam edebilecektir, böylece üretimin durma riski azalmaktadır. (Doğan, 2015) Şekil 2.6.' da paralel montaj hattı görülmektedir.



Şekil 2.6. Paralel montaj hattı şekilsel gösterimi

iv. *Dairesel montaj hatları*: Bu yerleşim, mevcut alanın düz hat yerleşim tipine elverişli olmadığı zaman tercih edilir. Bu tarz hat yerleşiminde iş akışı, düz montaj hatlarında olduğu gibidir. Şekil 2.7.' de dairesel montaj hattı görülmektedir.



Şekil 2.7. Dairesel montaj hattı (Battala & Dolgui, 2012)

2.3.5. Gecikme zamanına göre montaj hatları

i. *Gecikmeli montaj hattı*: Bu tip hatlarda, bir istasyonda işi biten parça eğer bir sonraki istasyonda işlenen parça var ise ara stoklarda beklemeye başlar. Bir diğer özelliği ise işi biten istasyon bekleyen parça yok ise ve diğer istasyonda parçanın işi bitmemiş ise istasyon boş beklemektedir. Bu durumlardan dolayı istasyonlar boş bekleyebilmekte veya dar boğazlar oluşabilmektedir.

ii. *Gecikmesiz Montaj Hattı*: Bu hat tipinde ise, istasyonların belirlenen çevrim süresini aşmasına izin verilmemekte olup çevrim süresi dolduğunda parçalar diğer istasyona geçmektedir. Tamamlanamayan görevler ise hat dışında bir istasyonda tamamlanmaktadır. İstasyonlar arasında parçaların taşınması sabit hızla hareket eden bir konveyör ile veya kesikli olarak hareket eden bir taşıma sistemi ile yapılmaktadır. (Alağaç, 2012)

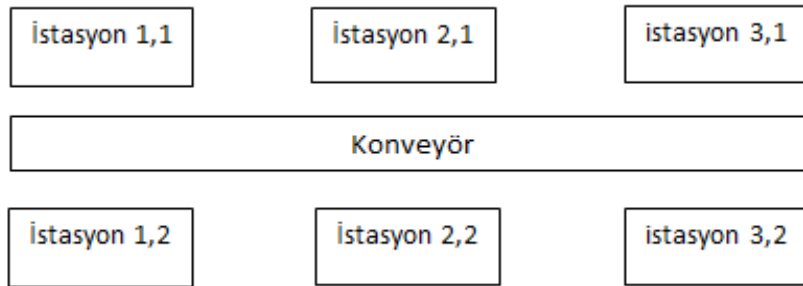
2.3.6. İşlem zamanlarının göre montaj hatları

i. *Deterministik görev süreli:* Montaj hattına atanan görevlerin işlem sürelerinin sabit ve problem çözüm sürecinde değişmediği montaj hatlarıdır. Bu tür montaj hatlarında teknolojik gelişmeler paralelinde işlem sürelerindeki değişkenlik asgari düzeye indirilmiş durumdadır.

ii. *Stokastik görev süreli:* Bu tür montaj hatlarında insan faktörünün etkili olmasına bağlı olarak, görevlerin işlem süresindeki değişkenliklerin sistemin performansını etkileyecek düzeyde olduğu bilinmektedir. Operatörlerin el becerilerine bağlı olarak görevlerin işlem sürelerindeki değişkenlik fazladır ve sistemde meydana gelebilecek aksaklıklar hattaki üretimin yavaşlamasına neden olabilmektedir. Bu hatlarda işlem süreleri rastsal değişkenler olarak ifade edilmektedir. (Şahin, 2016)

2.3.7. Çift Taraflı Montaj Hatları

Geniş hacimli ölçülere sahip olan ürünlerde ürünün yapısından dolayı montaj işlemi hattın sadece tek tarafında değil iki tarafında da yapılabilmektedir. Çift taraflı montaj hatlarında bazı görevler hattın her iki tarafında da gerçekleştirilebilirken bazılarının yalnızca tek tarafta yapılması mümkün olmaktadır. Hattın tek tarafında yapılabilen görevlere L-tipi (sol taraf) ve R-tipi (sağ taraf) görevler denir. Her iki tarafta da gerçekleştirilen görevlere ise hattın herhangi bir tarafında yapılabilir anlamında E-tipi (either side - her iki taraf) görevler adı verilmektedir.



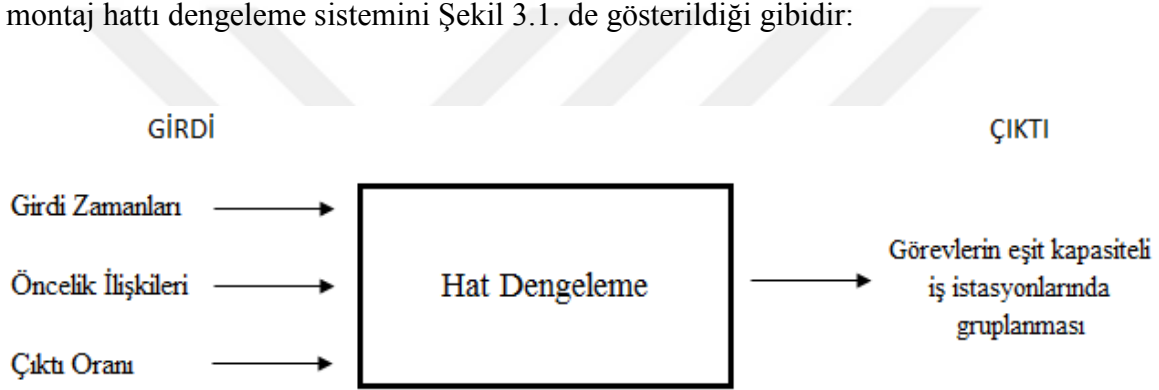
Şekil 2.8. Çift taraflı montaj hattı



3. MONTAJ HATTI DENGELEME

“Montaj hatları yatırım maliyeti ve verimlilik hedefleri doğrultusunda uzun vadeli planlama kapsamında değerlendirilir. Dolayısıyla montaj hatlarının dengelenmesi ve uygun şekilde çalıştırılması sistemin mümkün olduğunca yüksek verimde çalışması için büyük önem arz etmektedir.” (Becker & Scholl, 2006: 694-715)

Bir ürünün akış hattı üzerinde üretilmesi için, toplam iş gücünün hattı oluşturan iş istasyonlarına olabildiğince dengeli şekilde dağıtılması gereklidir. Bu amaçla montaj işlemini oluşturan iş ögeleri, bu iş ögelerinin aldığı süreler ve aralarındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, işlerin performans ölçüsü en iyilenecek şekilde, sıralı iş istasyonlarına atanması, montaj hattı dengeleme problemi olarak adlandırılmaktadır. (Gökçen, 1994) Bir montaj hattı dengeleme sistemini Şekil 3.1. de gösterildiği gibidir:



Şekil 3.1. Montaj hattı dengeleme sistemi (Dervitsiotis, 1981, Aktaran, Gökçen 1994: 18)

Üretim hattı dengeleme problemi, küçük iş parçalarının iş istasyonlarına eşit bir şekilde dağıtılması ile ilgilidir. Tüm iş istasyonları verilen işleri eşit zamanda yapabiliyorlarsa bu durumda üretim hattının tam dengelenmesi söz konusudur. Ancak uygulamada tam dengelemenin yapılması mümkün değildir. (Çınar, 1990: 255-257)

Objektif bir üretim hattı dengeleme için istenilen çevrim zamanını ve ya çıktı oranını, en küçük iş elemanları ve bunların standart zamanları ile diğer sınırları sağlayan iş elemanlarının iş istasyonlarına atanması yapılmaya çalışılmalıdır. Bunun için aşağıdaki sıra takip edilebilir. (Wild, 1971: 239-243)

- i. Boş zamanlar minimize edilebilir.
- ii. İş istasyonu sayısı minimize edilebilir.
- iii. İş istasyonları arasındaki denge kaybı dağıtılabilir.
- iv. Herhangi bir kısıtı ihlal etmekten kaçınılmalıdır.

3.1. Montaj Hatlarının Dengelenmesinin Amacı

Hat dengelemede iş istasyonlarının boş beklememesi ve bu istasyonlardan birim zamanda eşit çıktılar sağlanması hedeflenir. Hat dengeleme doğru şekilde yapılmazsa darboğazlar meydana gelir bu da üretim hattından birim zamanda çıkan ürün miktarını azaltacağından üretimin verimi düşer.

Toplam iş istasyonlardaki işçilere paylaştırılmıştır ve ürün sürekli olarak bir istasyondan diğerine taşınmaktadır. Her bir istasyonda ürünün tamamlanabilmesi için gerekli olan farklı iş parçaları bulunmaktadır. Eğer bütün iş istasyonlarında aynı sürede gerekli işlemler tamamlanabiliyorsa, hiçbir istasyonda diğer istasyonlar çalışırken bekleme olmayacaktır. En verimli düzenleme bu şekilde yapılır. İyi dengelenmiş bir hatla amaçlanan şey en az boş zaman ile istenilen çıktı miktarının elde edilmesidir. (Star, 1989: 134)

Bir montaj hattının kurulmasında ulaşılmak istenen amaçlar şunlar olabilir: (Acar & Eştaş, 1991: 9-13)

1. Düzenli bir malzeme akışının sağlanması,
2. İnsan gücü ve makine kapasitelerini en üst düzeyde kullanmak
3. Boş süreleri en küçükmek
4. Atıl süreleri ve denge kaybını istasyonlar arasında düzgün şekilde dağıtmak,
5. İşlemleri en kısa zamanda tamamlamak,
6. İş istasyonlarının sayısını en küçükmek,
7. Kısıtları sağlamak,
8. Üretim maliyetlerini düşürmek

Montaj hattı dengelenirken bütün bu amaçları aynı anda gerçekleştirebilmek oldukça zordur, bu sebeple kazanç ve kayıpları göz önüne alınarak en verimli ve maliyeti en az olan çözümü bulabilmek temel amaç olmalıdır.

3.2. Montaj Hatlarının Dengelenmesini Etkileyen Temel Etmenler ve Kısıtlar

Montaj hattı dengelemeyi etkileyen temel etmenler, aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Mühendislik spesifikasyonları, işlemler arası öncelikler ve gerekli kaynak (girdi) gereksinimleri.
- İşin yapılmasında izlenen yöntem (bazı montaj işlerinde verilen belirli bir teknolojik sıra, işin kolay ve daha hızlı yapılmasını sağlayabilir).
- Kullanılan aygıtlar ve tezgâhlar (bazı âletlerin, montaj hattının birden çok yerinde kullanılmasına gerek duyulabilir; böyle durumlarda aynı âlet grubunu birden fazla

işlemcinin kullanabileceği bir şekilde, bazı istasyonları art arda yerleştirmek gerekebilir).

Montaj hatlarında iki temel kısıt vardır. Bunlar çevrim süresi ve öncelik ilişkileridir.

Çevrim Süresi: Çevrim süresini; verilmiş net üretim hedefi, brüt çalışma süresi ve tolerans yüzdesi birlikte belirlerler. Çevrim süresi; bir adet ürünün, üretimi sırasında herhangi bir istasyonda işlem görebileceği en büyük süre değeridir. Bir istasyona atanan iş öğelerinin süreleri toplamı, çevrim süresini aşmamalıdır.

Öncelik İlişkileri: Montajın içerdiği tüm iş öğelerinin kendi aralarında söz konusu olan ilişkisidir. Yani bir iş öğesinin yapılmaya başlanabilmesi için, diğer iş öğesi veya öğelerinin kesinlikle bitirilmiş olması gerekebilir. İstasyonlara yapılan iş öğesi atamalarının, bu öncelik ilişkilerine aykırı olmamaları gereklidir.

Temel kısıtların dışında beş tane de yan kısıt vardır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır:

Konum Kısıtı: Montajı yapılan nesnenin konumu ile işlemcilerin banttaki konumu arasındaki ilişkiyi ifade etmekte kullanılan bir kavramdır.

Sabit Donanım Kısıtı: Tezgâhlar, test araçları gibi sabit donanımlar, montaj hatlarının bütünleşik parçalarıdır ve değiştirilemez istasyonları oluştururlar. Sabit donanım kısıtı, iş öğelerinin değiştirilebilirliğini azaltır.

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

Aynı İstasyona Atanması İstenen İş Öğeleri: Bu özelliğe sahip işlerin, aynı veya birbirlerini izleyen istasyonlara atanması gereklidir. Böyle durumlarda bir iş öğesi alt grubu, tek bir iş öğesi gibi düşünülebilir. Örneğin, özel aygıt kullanımını gerektiren iki iş öğesinin aynı işçi tarafından yapılması, ikinci bir aygıt gereksinimini ortadan kaldıracağı için, istenilen bir durumdur.

Aynı İstasyona Atanmaması İstenen İş Öğeleri: Bu özelliğe sahip bir iş öğesinin diğer bazı iş öğeleriyle, aynı istasyona atanması istenmez. Örneğin, aşırı fiziksel güç uygulamasını gerektiren iki iş öğesinin, iş yükü açısından farklı istasyonlara atanmaları istenebilir. Benzer şekilde, birden fazla iş öğesi, teknolojik olarak istenmediği için aynı işlemciye atanmazlar veya en azından bir aracı (tampon) istasyon ile birbirlerinden ayrılırlar. Titreşimli bir çalışma ile hassas ölçme gerektiren bir çalışmanın ayrılması buna bir örnek olarak verilebilir. (Özkan, 2003)

3.3. Montaj Hattı Dengeleme Kullanılan Temel Kavramlar

Montaj: Nihai bir ürün oluşturmak için birden fazla parçanın birbirini izleyen işlemlerle birleştirilmesi işlemidir.

İş elemanı: Bir iş, temel hareketlerden ve iş parçalarından oluşmaktadır. İş ögesi (work element); üretim süreci içerisinde toplam işin, mantıksal olarak bölünmüş bir parçasıdır. (Carlson, 1962)

Operasyon zamanı (t_i): Bir iş elemanının tamamlanması için gerekli süredir.

İş hacmi: İş elemanlarının süreleri toplamıdır.

$$T = \sum t_i \quad (3.1)$$

İş istasyonu (j): Montaj Hattı üzerinde belirli bir işin, işçiler tarafından yapıldığı bölümlerdir. Genellikle iş istasyonu (workstation), bir montajcı tarafından doldurulan yer olarak düşünülür. (Wee & Magazine, 1982)

İstasyon süresi (S_j): Belli Bir istasyonun süresi, o istasyona atanan iş elemanlarının sürelerinin toplamıdır. Hattaki (n) adet istasyonun sürelerinin toplamı iş hacmine eşit olmalıdır.

Çevrim süresi (C): Hattın ucundan iki parçanın çıkması arasında geçen süredir. Çevrim süresi, en büyük istasyon süresinden ve en büyük iş elemanı süresinden küçük olamaz. (İşlier, 2007: 45-47)

$$C = T \text{ (kullanılabilir üretim süresi)} / \text{ÜS (üretilmek istenen ürün sayısı)} \quad (3.2)$$

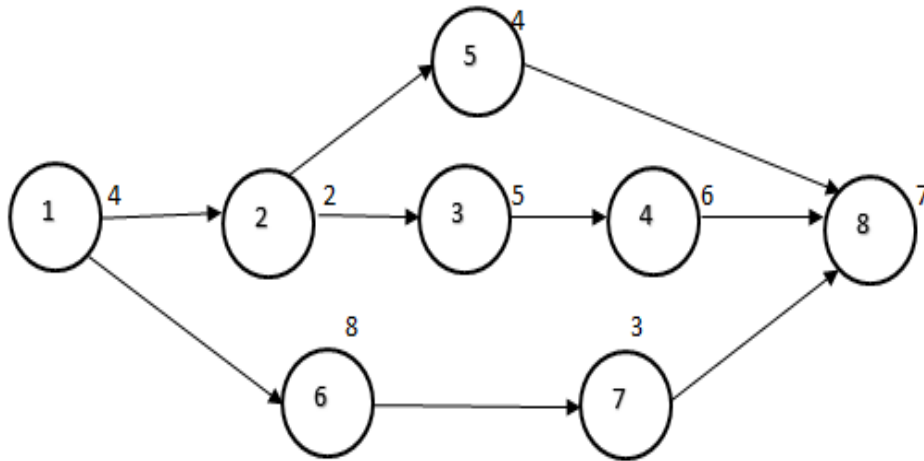
İstasyon sayısı: Montaj hattındaki işlemleri, her istasyona, çevrim süresini tümüyle veya en az bir tanesi dışında tümüyle dolduracak biçimde atadığımızı düşünecek olursak gerekli en az iş istasyonu sayısı (n_{enk}) şu şekilde bulunacaktır (Acar & Eştaş, 1991: 9-13):

$$n_{enk} = \left[\sum_{i=1}^N t_i / C \right]^+ \quad (3.3)$$

Operasyon tarafı: Çift taraflı montaj hatlarında bazı görevler hattın sadece tek bir tarafında yapılabilirler. Bu görevler L-tipi (sol taraf) ve R-tipi (sağ taraf) görevler olarak isimlendirilir. Bazı görevler ise hattın herhangi bir tarafında yapılabilirler. Bu görevler de E-tipi (her iki taraf) görevler olarak isimlendirilmektedir.

Öncelik diyagramı: “Montajın teknik özelliklerinden dolayı, bazı operasyonların zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü öncelik ilişkileri adı altında toplanır.” (Çakır, 2006) Bu ilişkiler genellikle bir ağ modeli ile gösterilirler ve hat dengeleme teknikleri uygulanmaya başlanmadan önce çizilmesi gereklidir.

Bu diyagram, bir okla birbirine bağlanmış olan iki iş ögesinden okun çıktığı yöne bulunanın, okun ucunda bulunan iş ögesinden daha önce işleme alınacağı gösterir. İçerideki numaralar iş ögelerini, dairelerin üzerindeki numaralar ise işlem sürelerini ifade eder. Şekil 2.6.’da örnek öncelik diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.2. Öncelik diyagramı

Öncelik matrisi: Öncelik diyagramının matris şekline dönüştürülmüş halidir. Bu matriste aralarında öncelik ilişkisi olan işlemlerin kesiştiği yere 1, ilişki olmayan yerlere ise sıfır konulur. Çizelge 2.1. de öncelik diyagramına göre hazırlanmış öncelik matrisi görülmektedir.

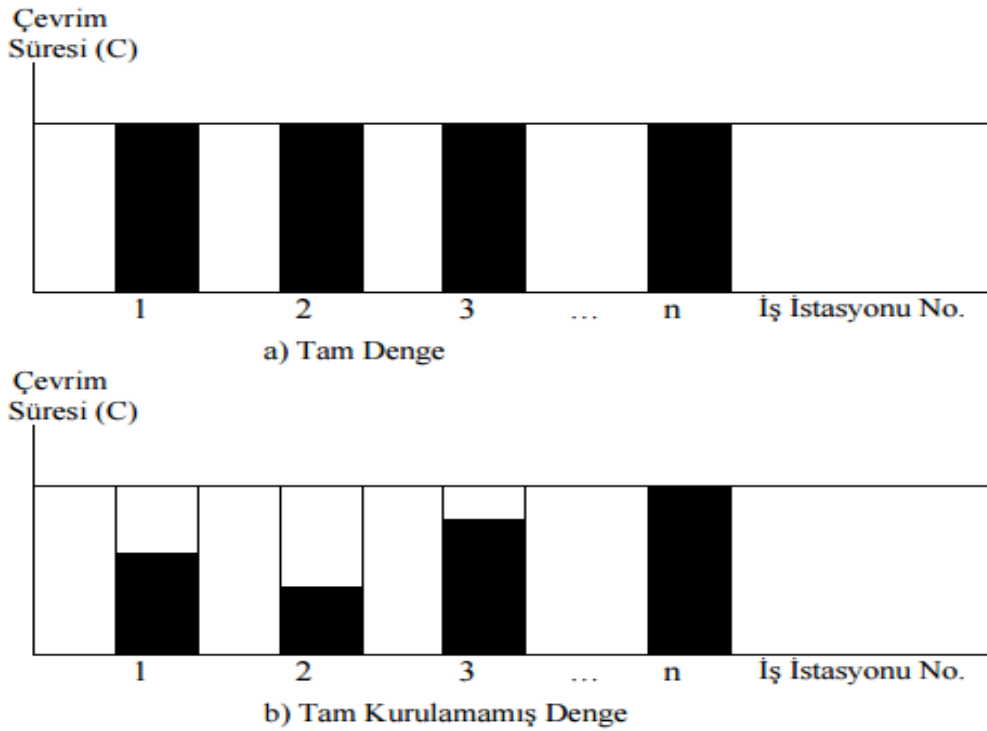
Çizelge 3.1. Öncelik matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0

Denge kaybı: Her istasyonda, birim üretim için ayrılan toplam süreyle gerekli süre arasındaki farkın, ayrılan süreye oranıdır ve şu şekilde hesaplanır: (Kao E. , 1979)

$$D(\%) = [(C - C^*)/C] * 100 = \left[\frac{(n \cdot C - \sum t_i)}{(n \cdot C)} \right] * 100 \quad (3.4)$$

Şekil 2.7.' de tam dengelenmiş ve denge kurulamamış montaj hattı dengeleme grafikleri verilmiştir:



Şekil 3.3. Tam dengeli ve dengede olmayan n istasyonlu montaj hattı

Darboğaz: “İş istasyonlarının sürelerinin eşit olmaması durumunda üretim hattının hızı en yavaş çalışan istasyon tarafından kontrol edilir. En yavaş çalışan istasyon bir tıkanma noktası oluşturur ve buna darboğaz denir.” (Çınar, 1990: 255-257)

Düzensizlik indeksi: İşlerin istasyonlar arasında dengeli dağıtılıp dağıtılmadığını gösterir. Bu indeks ne kadar küçükse hattın dengesi o kadar iyi demektir. Düzensizlik indeksi şu formülle hesaplanır: (Shin & Min, 1991)

T_{enb} : İş istasyon sürelerinin en büyüğü

T_i : i. İstasyon işlem süresi

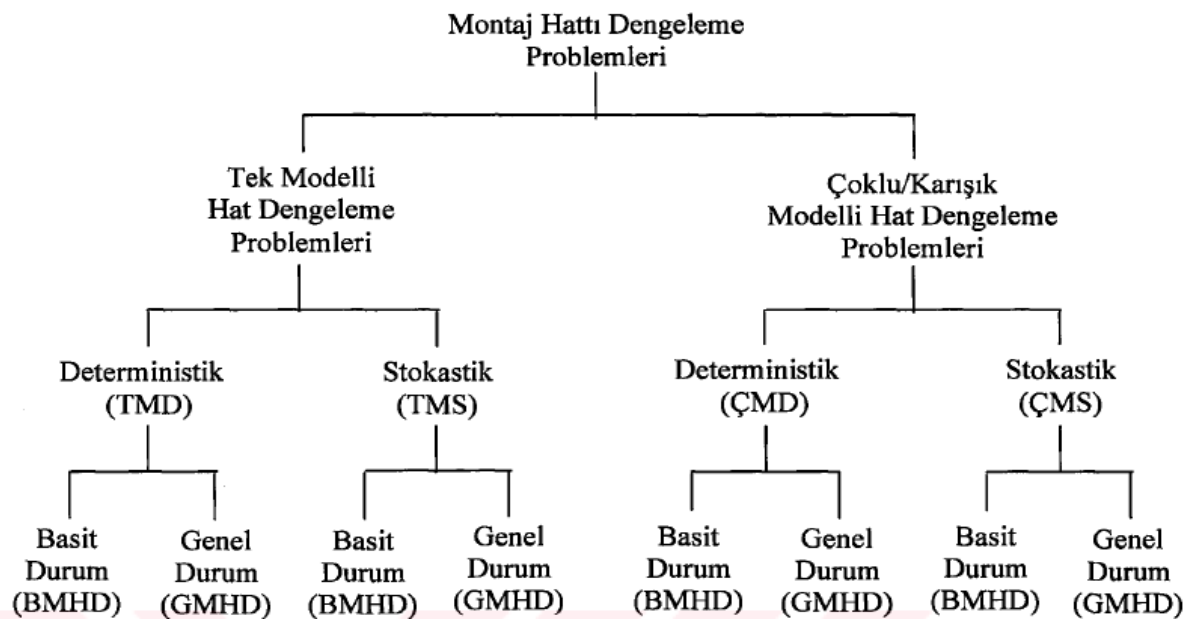
$$DI (\%) = \left[\sqrt{\sum (T_{enb} - T_i)^2} / (n * C) \right] * 100 \quad i = [1, 2, \dots, n] \quad (3.5)$$

Hat etkinliği: Hat üzerindeki toplam iş gücünün ne kadarlık bir yüzdesinin kullanıldığını gösteren bir ölçüttür ve şu şekilde hesaplanır: (Shin & Min, 1991)

$$HE (\%) = \left[\sum t_i / (n * C) \right] * 100 \quad (3.6)$$

3.4. Montaj Hattı Dengeleme Problem Tipleri

Montaj işleminin yapılması için iş elemanlarının, işlem süreleri ve öncelik ilişkileri temel alınarak iş istasyonlarına en az kayıp zaman olacak şekilde atanması işlemi Montaj Hattı Dengeleme Problemi (MHDP) olarak tanımlanabilir. Şekil 3.8.' de MHDP sınıflandırmasını gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Montaj hat dengeleme problemlerinin sınıflandırılması (Ghosh & Gagnon, 1989)

Basit montaj hattı dengeleme problemi iki çeşittir. Bu problemin tanımı aşağıda verilen dokuz madde ve ona ek olarak verilen diğer iki maddenin herhangi biridir. Yani birinci tür BMHD ilk on maddeyi, ikinci tür BHMD ise ilk dokuz madde ve on birinci maddeyi içerir. (Baybars, 1986)

1. Tüm girdi parametreleri belirlidir.
2. Bir iş ögesi, iki ve ya daha çok istasyon arasında bölünemez.
3. İş ögeleri, teknolojik öncelik gereksinimlerinden dolayı, keyfi sıralarda işlem göremez.
4. Tüm iş ögeleri yapılmalıdır.
5. İstasyonlar gerekli iş ögelerini yapmak için gerekli donanım ve işgücüne sahiptir.
6. İş ögesi süreleri yapıldıkları istasyonlardan ve önceki/ sonraki iş ögelerinden bağımsızdır.
7. Her işlem her istasyonda yapılabilir.
8. Tüm hat, besleyici ve paralel alt montaj hattı olmayacak şekilde seri olarak düzenlenmelidir.
9. Montaj sisteminin tek bir ürünün tek bir modeli için tasarımı olduğu varsayılır.
10. Çevrim süresi verilmiştir ve sabittir.
11. İstasyon sayısı verilmiştir ve sabittir.

İlk dokuz maddeden herhangi birinde bir değişiklik olursa problem bir genel montaj hattı dengeleme problemine dönüşür.

3.4.1. Tek Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Bu problem tipinde üretim hattında tek bir model üretilir ve görev zamanları sabittir. Görevler öncelik ilişkileri ve performans ölçütüne göre iş istasyonlarına atanırlar ve bir istasyona atanan işlerin toplam sürelerinin zamanı çevrim süresini geçmemelidir.

Bu problem tipinde toplam istasyon sayısının, verilen bir istasyon sayısı doğrultusunda çevrim zamanının, denge kaybının ve toplam boş zamanların en küçüklenmesi performans ölçütleridir. Seri üretim homojen bir üründür; üretim süreçleri verilir.

3.4.2. Tek Modelli Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi

İnsan unsuru görev sürelerinin değişken olmasına neden olmaktadır. Bu değişkenliğin sebepleri arasında yorgunluk, dikkatin dağınıklığı, yetersiz nitelikte işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler, araç-gereç bozulmaları sayılabilir. Meydana gelen değişkenlikler istasyonlara atanan işlerin toplam sürelerinin çevrim zamanı aşmasına ve dolayısıyla bazı

işlerin bitirilememesine neden olabilmektedir. Özellikle işler arasındaki öncelik ilişkileri dikkate alındığında, bazı işlere hiç başlanmama durumu oluşmaktadır. Bu şekilde yarım kalan veya hiç başlanmayan işlere yönelik olarak değişik hat iyileştirme politikaları geliştirilmiştir. (Gökçen & Baykoç, 1997)

Stokastik MHDP' de sonlu bir görev seti verilir ve görev süreleri belirli bir olasılık dağılımına uygun olarak dağılmaktadır. Bu doğrultuda öncelik ilişkileri göz önünde bulundurularak bir performans ölçütü için görevlerin iş istasyonlarına ataması yapılmaktadır. Bu problem tipinde genellikle işçilik ve tamamlanma maliyetleri toplamından oluşan toplam sistem maliyetini en aza indirmek amaçlanmaktadır.

3.4.3. Çok / Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Artan müşteri talepleriyle birlikte ürün çeşitliliği artmış ve üretimin daha esnek, daha az hacimlerde yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu durum da çok/ karışık modelli montaj hatlarının kullanımını yaygın hale getirmiştir. Bu problem tipinde montaj hattında birden fazla modelin üretimi gerçekleşir ve işlem süreleri deterministiktir.

Gökçen(1994) karışık modelli deterministik MHDP için yeni modeller sunduğu çalışmasında çok modelli hatlardan şöyle bahsetmiştir. “Çok modelli hatlarda ya farklı ürünler ya da aynı ürünün değişik modelleri üretilir. Her iki durumda da benzer üretim süreçleri söz konusudur. Uygulamada montaj hattı belirli bir modelin üretilmesi için hazırlanır, o modelin üretimi bittikten sonra, ikinci modelin üretimi için hazırlık yapılır. Bu durumda her model üretimi için hat dengeleme problemleri birbirinden bağımsız olarak tek model montaj hattı dengeleme problemleriyle çözümlenir. Bunun yanı sıra bu sistemlerde bir de model sıralama probleminden bahsedilir.”

Karma model montaj hatlarında sıralama oldukça karmaşık ve büyük ölçüde çözülmesi zor bir problemdir. Bu problemle ilgili olarak iki yaklaşımdan söz edebiliriz. Birinci metotta, hattın başlangıcında yer alan değişken oranlı, peş peşe sıralanmış birimler arasındaki zaman, başlangıç biriminin çevrim zamanına eşit olur. Bu metot ile hat üzerinde modellerin tesadüfi olarak sıralanması yeterlidir. İkinci metot ise hat üzerinde sabit aralıklarla ve hattın gereken hızla ve verimlilikle çalışmasını sağlayacak şekilde modellerin dikkatli bir biçimde sıralanmaları ile oluşturulmuştur. (Wild, 1971: 270-271)

“Karışık modelli hatlar için dengeleme problemi, bazı tek model dengeleme problemleri şeklinde düşünülebilir. Başka bir ifadeyle, her model ayrı olarak ele alınıp, toplam iş yükü iş istasyonları arasında olabildiğince eşit olarak dağıtılabilir. Örneğin A ve B gibi iki benzer model için bir montaj hattının kurulduğu varsayalım. A modelinin iş elemanları bu

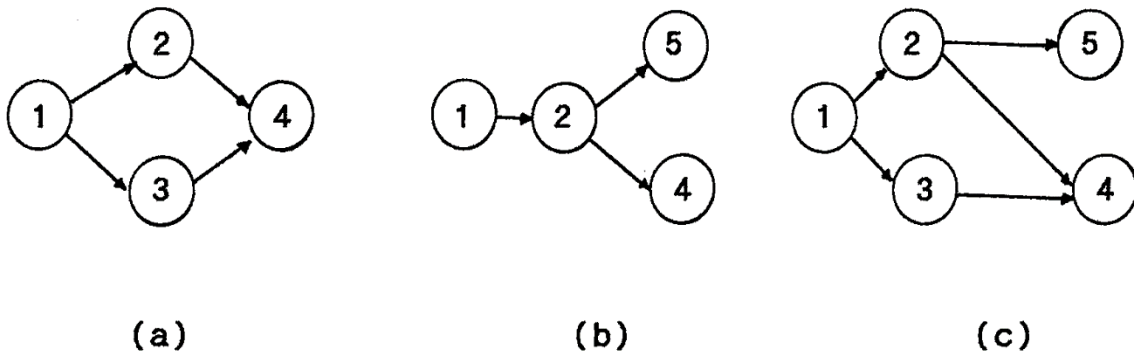
modelin montajı sırasında denge kaybı en az olacak şekilde iş istasyonlarına dağıtılır. Aynı durum B modelinin iş elemanları için de söz konusudur. Bu uygulama modellerin üretimi benzerlik gösterdiğinde sık sık kullanılan ve bir ölçüde yeterli bir metottur. Burada üretim benzerliği denildiğinde anlatılmak istenen benzer iş elemanlarının, benzer bir sıra ile yapılmasıdır. Bu durumda her iş istasyonundaki işçiler, hangi model olursa olsun aynı işi yapmaktadırlar. Buna karşılık benzer olmayan modellerin üretildiği durumlarda yukarıda açıklanan şekilde her model için bağımsız bir hat dengelemesi yapmak, farklı iş elemanlarının dolayısıyla farklı yetenek ve eğitim gibi iş ihtiyaçlarının istasyonlara dağıtılması demektir.” (Gökçen, 1989)

Çok modelli deterministik MHDP’ de aşağıdaki problemlerin çözümü aranır (Gökçen, 1994)

- i. Her farklı model için üretim hattı nasıl dengelenecek?
- ii. Üretilecek modellerin yığın/ parti büyüklükleri ne olacak?
- iii. Modeller hangi sıra ile üretilecek?

Karışık modelli montaj hatlarında öncelik diyagramı tek model montaj hatlarındakinden daha farklıdır. Thomopoulos birden fazla ürün modelinin öncelik diyagramlarını tek diyagramda birleştirerek bütünleşik (combined) öncelik diyagramını geliştirmiştir. Bunu formüle eden ise Macaskill olmuştur. Birleştirilmiş diyagram, farklı modellerin öncelik ilişkileri arasında bir çelişki olmadığı durumlarda kullanılır.

Şekil 3.1.’ de 2 ayrı modelin öncelik diyagramı ve bunların bütünleşik öncelik diyagramı örneği verilmiştir.



Şekil 3.5. 1. Ürün (a) ve 2. Ürün(b)' e ait öncelik diyagramları ve birleştirilmiş öncelik diyagramı (c) (Gökçen, 1994)

3.4.4. Çok / Karışık Modelli Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Çok / Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Probleminde işlem zamanları stokastik (sabit olmayan) tir. Görev zamanları, parametreleri belirli olasılık dağılımlarına uygundur ve bütünleşik öncelik diyagramı bu problem için de geçerlidir.

Çok/Karışık Modelli Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemlerini zorlaştıran birçok faktör vardır. Bunları, öğrenme etkileri, işçi becerileri, iş tasarımı ve işçinin iş zamanı değişkenliği vs. şeklinde sıralayabiliriz. Bunlardan dolayı, birimlerin tamamlanmadan hat boyunca ilerlemeleri ve dolayısıyla da tamamlanmayan birimlerin hattın dışında tamamlanması, birtakım maliyetlere sebep olmaktadır. (Ghosh and Gagnon, 1989, Aktaran, Gökçen, 1994).

3.5. MHDP' nin Amaca Göre Sınıflandırılması

Üretimin düzenli bir şekilde gerçekleşmesi için montaj hatlarının iyi bir şekilde tasarlanmış ve görevlerin farklı istasyonlarda bulunan operatörlere etkili bir şekilde atanmış olması gerekmektedir. MHDP' de, içinde bulunulan duruma göre farklı amaçlara öncelik verilmekte olup, bu açıdan MHDP' yi üç ana grup altında toplamak mümkündür. (Scholl, 1999: 65)

Tip I: Belirli bir çevrim süresi kısıtı altında istasyon sayısını minimize etmeyi amaçlayan MHDP' dir. Bu amaca yönelik MHDP genellikle belirli bir dönemde üretilecek ürün miktarının talebe bağlı olarak belirli olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Böylesi durumlarda üretim oranının önceden belirlenmesi paralelinde, istasyon sayısı en azlanarak etkinlik artırılmaya çalışılmaktadır.

Tip II: Belirli bir istasyon sayısı kısıtı altında, çevrim süresini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Genellikle belirli bir alan veya çalışan sayısı kısıtı altında üretim miktarı en büyüklenmek istendiğinde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle mevcut montaj hatlarının yeniden dengelenmesi problemi olarak da bilinmektedir.

Tip E: Çevrim süresi ve istasyon sayısının değişken oldukları durumda hat etkinliğini en büyüklemeyi amaçlamaktadır.

3.6. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Çözüm Yaklaşımları

Montaj Hattı dengeleme yöntemlerini çözüm yöntemlerine göre 3 başlıkta toplayabiliriz:

3.6.2. Analitik Yöntemler

Bu yöntemler “Matematiksel Programlama” ya da “Optimizasyon Yöntemleri” olarak da bilinirler ve özellikle tek modelin üretildiği hatlarda en uygun sonucu verirler. Bu alanda geliştirilen ilk yöntem (Bowman, 1960) tarafından geliştirilen “Doğrusal tam sayılı programlama ile çözüm” yöntemi olup daha sonra da 0-1 tam sayılı programlama yöntemleri geliştirilmiştir. (Talbot & Patterson, 1984). Bunun yanı sıra Dinamik Programlama, Amaç Programlama, En Kısa Yol Tekniği, En Uzun Yol Tekniği ve Dal-Sınır Algoritması da analitik çözüm yöntemleri arasında yer almaktadır. Bu yöntemlerde amaç ve kısıtları veren denklemler aracılığıyla çözüm aranır.

3.6.3. Benzetim (Simülasyon) Teknikleri

Benzetim tekniği, yöneticinin denemeler yoluyla karar vermesini kolaylaştırır. “Herhangi bir sistemin işleyişini anlamak veya bu sistemin işleyişi ile ilgili değişik stratejileri değerlendirmek için sistemin zaman içindeki çalışmasını taklit eden bir bilgisayar modelinin kurulması ve bu model ile deneyler yapılmasına ‘benzetim’ denir.”. (Acar & Eştaş, 1991: 9-13)

Benzetim tekniğinin uygulanmasındaki en önemli gerekçeler şöyle sıralanabilir: Gerçek yaşamda, herhangi bir sistemi veya işlem dizisini gözlemek olanaksız veya çok masraflı olabilir. Gözlemlenen sistem o kadar karmaşık olabilir ki, bu sistemi matematiksel denklemlerle tanımlamak ve sistem işleyişi ile ilgili kestirime yardımcı analitik çözümleri elde etmek olanaksız olabilir. İrdelenen sistemin matematiksel modeli kurulabilse bile, modele çözüm getirmek için gereken analitik teknikler yetersiz kalabilir. Sistemi tanımlayan matematiksel modellerin doğrulanmasına yönelik deneylerin yapılması, olanaksız veya çok masraflı olabilir.

Son yıllarda benzetim tekniği, montaj hatlarında ara stok düzeylerinin belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Matematiksel yöntemlerle en iyi çözüm bulunmasına karşın, bu tür modelleri gerçek sisteme uyarlayabilmek için o kadar çok varsayım ve olasılık hesabı gerekmektedir ki, bu nedenle benzetim tekniğinin çeşitli seçenekleri deneyerek bulunduğu yaklaşık çözüm, genellikle bu en iyi çözümden çok daha kullanılabilir olmaktadır. (Özkan, 2003)

3.6.1. Sezgisel Yöntemler

“Belirli bir prosedürün izlenmesi ve belirli varsayımların yapılması yoluyla, montaj hat dengelemesi problemine kesin sonuç vermemekle birlikte yaklaşık çözüm veren yöntemlerdir. Literatürde şimdiye kadar geliştirilmiş birçok sezgisel yöntem bulunmaktadır. Bunların çoğu çevrim süresini sabit kabul edip istasyon sayısını en küçükmeye çalışır.” (Eryürük, 2005) Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

1. Aday matris ile çözüm (Salveson, 1955)
2. Konum ağırlıklı dengeleme (Helgeson & Birnie, 1961)
3. Killbridge ve Wester sezgisel yöntemi (Killbridge & Wester, 1961)
4. Öncelik diyagramı ile çözüm (Hoffmann, 1963)
5. İki aşamalı dengeleme yöntemi (Moodie & Young, 1965)
6. Comsoal tekniği (Arcus, 1966)
7. Probabilistik hat dengeleme (El Sayed & Boucher, 1985)

Bu yöntemlerden en çok kullanılanlar: Helgeson ve Birnie tarafından geliştirilen konum ağırlıklı dengeleme yöntemi, M. D. Killbridge ve L. Wester tarafından geliştirilen Killbridge ve Wester sezgisel yöntemi ve A. L. Arcus tarafından geliştirilen Comsoal yöntemidir. Bu yöntemler özellikle işlemlerin karmaşıktığı karma ve çok modelli hatlarda yaygın olarak kullanılır.

3.6.1.1. Aday matris ile çözüm

Salveson (1955)' un geliştirmiş olduğu bu yöntemde çevrim süresi sabit tutularak istasyon sayısı hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu metot, elemanların öncelik şartlarına uygun olarak değişik kombinasyonlarının seçilmesi, hat üzerindeki boş zamanlardan birinin montaj sırası olarak ve elemanların farklı düzenlemelerinden birinin istasyon olarak seçilmesi şeklinde tanımlanabilir. (Gökçen, 1989)

Yöntem, aday matrisinin hazırlanması, mümkün dengenin sağlanması ve optimallik testi olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır. Elemanların çeşitli istasyonlara atanmasına, öncelik ve zaman kısıtlarına uygun olarak imkan verecek muhtemel kombinasyonları birleştiren bir aday matris hazırlanır. Aday matriste en az boş zamana sahip kombinasyon seçilir. (Salveson, 1955)

3.6.1.2. Konum ağırlıklı dengeleme tekniği

Bu yöntem çalışmada kullanılacak yöntem olup bir örnekle daha detaylı açıklanacaktır. Montaj hattı dengeleme problemlerinde optimal metotlarla çözüm aramak, özellikle

problem boyutu büyüdüğünde birtakım zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanımı daha anlamlı ve gerçekçi olabilmektedir. (Gökçen & Erel, 1995)

1961 yılında Helgeson- Birnie tarafından General Electric Compony’ de geliştirilen bu sezgisel yöntem hızlı ve optimal çözümü vermeyi garanti etmektedir. Bu yöntemde her iş ögesine kendisinden sonra gelen iş ögeleri göz önüne alınarak bir ağırlık verilir. Burada amaç en büyük ağırlığa sahip görevleri öncelikli olarak atamaktır.

Bu yöntemde sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenmektedir:

Adım 1: Her iş elemanı için konum ağırlıkları belirlenir. Konum ağırlığı; o işlemi yapmak için gerekli süre ve ondan sonra gelen işlemleri yapmak için gerekli sürelerin toplamıdır.

Adım 2: İş elemanları konum ağırlıklarına göre sıralanır ve en büyük ağırlığa sahip olan iş elemanı ilk sıraya yerleştirilir.

Adım 3: En büyük konum ağırlıklı iş elemanlarına öncelik verilerek tüm işlerin istasyonlara atanması sağlanır.

Adım 4: İş istasyonunun kullanılmamış süresi, çevrim süresinden istasyona atanmış işlerin toplam süresi çıkarılarak bulunur.

Adım 5: İlk atamadan sonra kalan en büyük ağırlıklı iş ögesi tespit edilir.

Adım 6: Seçilen iş ögesinin atanmamış öncülleri bulunmuyorsa ve iş ögesinin süresi kalan istasyon süresinden az ise istasyona ataması yapılır.

Adım 7: Seçilen iş ögesinin atanmamış önceli bir iş ögesi varsa veya iş ögesinin süresi kalan boş zamandan fazla ise seçili iş ögesi, iş istasyonuna atanamaz. İkinci büyük konum ağırlıklı iş ögesini seç ve adım 5’ e dön.

Adım 8: Seçilen istasyonun boş zamanı, atanmamış iş ögelerinin işlem sürelerinden küçük ya da sıfır kadar atama yapmaya devam et. Aksi takdirde mevcut iş istasyonunun ataması tamamlandı. Diğer istasyona geçip adım 2’ ye git.

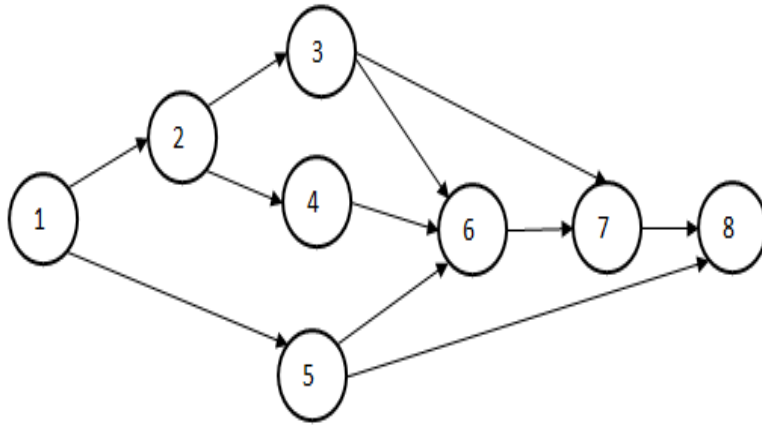
Adım 9: Ataması yapılmamış iş ögesi kalmayıncaya kadar iş ögelerini öncelik ilişkileri ve konum ağırlıklarına dikkat ederek atamaya devam et.

Uygulamada bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntem hat dengeleme konusunda araştırmacılara yol gösterici olmuştur.

Örnek Problem: 8 iş ögesine sahip bir montaj hattı için Konum Ağırlıklı hat dengeleme problemi çözülecektir. İşlem süreleri ve öncelik ilişkileri aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Örnek probleme ilişkin veriler

İş ögesi	İşlem Süresi (dk.)	Öncül
1	2	-
2	3	1
3	1	2
4	4	2
5	2	1
6	6	3-4-5
7	7	3-6
8	5	5-7



Şekil 3.6. Örnek probleme ilişkin öncelik diyagramı

İşletmenin sahip olduğu talep doğrultusunda hesaplanmış çevrim süresi 7 dk. olsun. Bu durumda gerekli istasyon sayısı:

$$n_{enk} = \left[\sum_{i=1}^N t_i / C \right]^+ = [30/7]^+ = 5$$

Şimdi iş ögelerinin konum ağırlıkları bulunur. Her iş ögesinin bulunduğu satıra karşılık gelen sütun için, sütunda bulunan iş ögesinin satırda bulunandan iş ögesinden hemen sonra yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte “+” yazılan hücreler; sütundaki iş ögesinin karşılık gelen satırdan hemen sonra yapılmasa da öncelik ilişkisi nedeniyle sonrasında yapılması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 3.3. Konum ağırlıklarının hesaplanması

Öge no.	Süresi (dk.)	1	2	3	4	5	6	7	8	Konum Ağırlığı
1	2	-	1	+	+	1	+	+	+	30
2	3		-	2	2		+	+	+	26
3	1			-			3	3	+	19
4	4				-		4	+	+	22
5	2					-	5	+	5	20
6	6						-	6	+	18
7	7							-	7	12
8	5								-	5

Konum ağırlığı hesaplaması yapılırken; iş ögesinin kendi işlem süresi ve is ögesinden sonra gelen iş ögelerinin işlem süreleri toplamı alınır. Örneğin 2 numaralı iş ögesini hesaplayacak olursak;

$3 + 1 + 4 + 6 + 7 + 5 = 26$ olur.

Konum ağırlıklarını büyükten küçüğe sıraladığımızda iş ögelerinin sıralaması aşağıdaki gibi olmaktadır:

Çizelge 3.4. Sıralanmış Konum Ağırlıkları

Öge no.	1	2	4	5	3	6	7	8
Konum Ağırlığı	30	26	22	20	19	18	12	5
Öge süresi	2	3	4	2	1	6	7	5

Tabloda görüldüğü gibi en yüksek konum ağırlığına sahip iş ögesi 1 numaralı iş ögesidir ve ilk olarak 1. İş istasyonuna atanır. Atamadan sonra kalan boş süre $C-t=7-2=5$ dakika olur.

Daha sonra konum ağırlığı olarak en büyük iş ögesi 2 numaralı iş ögesidir ve 1. iş istasyonuna ataması yapıldıktan sonra kalan boş süre $C-t=5-3=2$ dakika olur.

Sıradaki en büyük konum ağırlığına sahip iş ögesi 4 numaralı iş ögesidir eğer atama yapılırsa kalan boş süre $C-t=2-4=-2$ dakika olur.

Bu değer negatif olduğundan geçerli sayılmaz ve konum ağırlıklarına göre iş ögelerine bakılmaya devam edilir. Bu nedenle buraya 5 numaralı iş ögesi atanır ve kalan boş süre $C-t=2-2=0$ dakika olur. Böylece 1. İstasyonun ataması tamamlanmış olur.

2. iş istasyonu atamasına en büyük konum ağırlığına sahip olan 4 numaralı iş ögesinden başlanılarak yapılır ve kalan boş süre $C-t=7-4=3$ dakika olur.

Sıradaki en büyük konum ağırlığına sahip iş ögesi 3 numaralı iş ögesidir ve 2. iş istasyonuna atama yapıldıktan sonra kalan boş süre $C-t=3-1=2$ dakika olur.

Sıradaki en büyük konum ağırlığına sahip iş ögesi 6 numaralı iş ögesidir eğer atama yapılırsa kalan boş süre $C-t=2-6=-4$ dakika olur. Bu değer negatif olmamalıdır bu sebeple sırasıyla sonraki en büyük konum ağırlığı olan 7 ve 8 numaralı iş ögesine bakılır, ancak onun da işlem süresi kalan boş süreden fazla olduğu için 2.istasyonun ataması tamamlanmış olur.

Bu süreci devam ettirdiğimizde istasyonlar ve atanan işler aşağıdaki gibi olacaktır:

Çizelge 3.5. İşlerin istasyonlara atanması

İstasyon	Atanan İş ögeleri
1	1-2-5
2	4-3
3	6
4	7
5	8

Sonuç olarak 7 dakikalık çevrim süresine sahip olan hattımızda (C)

Min. İstasyon sayısı: $30 / 7 = 4,28 = 5$

Oluşan istasyon sayısı (n): 5

Toplam İş ögesi süresi (t) : 30 dakika

$$D(\%) = \left[\frac{(n \cdot C - \sum t_i)}{(n \cdot C)} \right] * 100 \quad (\text{Denge Kaybı})$$

$$= [(5 \cdot 7) - 30] / (5 \cdot 7) * 100$$

$$= \%14,28$$

$$HE (\%) = [\sum t_i / (n \cdot C)] * 100 \quad (\text{Hat etkinliği})$$

$$= (30 / 35) * 100$$

$$= \%86$$

3.6.1.3. Killbridge ve Wester sezgisel yöntemi

Bu yöntemde öncelikle iş elemanları birbirini izleme durumuna göre değişik sütunlarda toplanmakta ve ondan sonra çevrim zamanı hesaplanmaktadır. Başka bir deyişle bu metotta iş istasyonu sayısı ve çevrim zamanı değişkendir.

İş elemanlarının öncelik ilişkileri tespit edildikten sonra, bir grupta yapılarak hemen başlaması gereken işlemler belirlenir. Bu gruptaki işlemlerin tamamlanmasından sonra

başlama durumunda olan işlemler ikinci grubu oluşturur. Grupların oluşturulmasından sonra , gruplara giren işlemler bir tabloda gösterilir ve bir işlemin bir başka işlemle yer ve grup değiştirip değiştiremeyeceği araştırılır ve tabloda belirtilir. (Gökçen, 1989). Bu yöntemde sırasıyla şu adımlar uygulanır:

Adım 1. Öncelik diyagramı ve soldan sağa doğru, öncelik grupları oluşturulur.

Adım 2. İş elemanları, en az öncelikli olanlar en sona bırakılacak şekilde sağa kaydırılır.

Adım 3. Her grupta iş öğelerinin işlem süreleri büyükten küçüğe sıralanır, bu şekilde işlem süresi uzun olan elemana öncelik verilir, kısa olanlar için ise, daha sonraki benzer iş öğeleri ile yer değiştirebilme olasılığı kullanılır.

Adım 4. İş öğeleri, ilk olarak en sol bölge, daha sonra o bölge için en uzun işlem süreli olana göre istasyonlara atanır.

Adım 5. Her atamadan sonra çevrim süresine uygunluk kontrol edilir ve eğer yeterli bulunmazsa, öncelikleri tamamlanmış olan tüm iş öğeleri dikkate alınır. O istasyondaki iş öğelerinden, öncelikleri, yeni gelecek olan iş öğeleri önceliklerine göre aynı ve ya daha önceki grupta olanlar ile yeni gelenler yer değiştirilerek daha iyi istasyon etkinliği elde edilmeye çalışılır. (Kilbridge & Wester, 1961)

3.6.1.4. Öncelik diyagramı ile çözüm

1963 yılında Hoffman tarafından geliştirilmiş olan bu metot, işlem zamanlarını deterministik olarak optimum çözüm sunan bir yaklaşımdır. Bu yöntemde sıfır ve birlerden oluşan bir öncelik matrisi kullanılır. Bu matriste “i” iş öğesinin “j” iş öğesinden öncelikli olması durumunda bu öğelerin kesiştiği hücreye “1” değeri, bu koşulu sağlamayan hücrelere ise “0” değeri yazılır. Her sütundaki “0” ve “1” değerleri toplanır ve “kod numaraları” olarak adlandırılan matris oluşturulur. Kod numaralarının oluşturulmasından sonra aşağıdaki adımlar izlenir: (Hoffmann, 1963)

Adım 1: Öncelik ilişkileri matrisinin sütunlarındaki değerler toplanır ve kod numaraları satırı oluşturulur.

Adım 2: Kod numaraları satırında soldan sağa ilk dize seçilir.

Adım 3: İlk “0” ın bulunduğu noktaya denk gelen iş öğesi seçilir.

Adım 4: Seçilen iş ögesine ait işlem süresi çevrim süresinden çıkarılır.

Adım 5: Sonuç sıfırdan büyük ise Adım 6 ' ya, küçük ise Adım 7' ye gidilir.

Adım 6: İş ögesine karşılık gelen satır ve sütun matristen çıkartılır ve yeni matriste yeni kod numarası satırı oluşturulur.

Adım 7: 5. Adımda bulunan sonuç sıfırdan küçükse o iş istasyona atanmaz. Tüm iş öğeleri gözden geçirilinceye kadar devam edilir.

Adım 8: Kalan istasyon süresi sıfıra eşitse devam edilir, değilse Adım 10' a gidilir.

Adım 9: İlgili istasyon işlemleri tamamlanmıştır. Sıradaki istasyon atamaları için Adım 2' ye dönlür.

Adım 10: Kod numarası dizisi içinde "0" değerine sahip öğelerde, kalan istasyon süresinden küçük ve ya eşit işlem süresine sahip öğe yoksa yeni istasyon atamaları için Adım 1' e gidilir, varsa önceki istasyona atama yapmayı sürdürmek amacıyla Adım 1' e gidilir.

3.6.1.5. İki aşamalı dengeleme yöntemi

Moodie & Young (1965), hem işlem zamanlarında varyasyon olduğu zaman, hem de sabit eleman zamanları için dengeleme yapma imkanı veren 2 aşamalı bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Bu yöntemde değişebilir işlem zamanları için istatistiki normal dağılım zamanlı işlemler farz edilmiştir. (Moodie & Young, 1965). Bu metodu uygulamak için öncelikle bir tablo oluşturulmalıdır. Tabloda sütunlarda sırasıyla operasyon numaraları, öncülü, ardılı ve operasyon süreleri yer almalıdır. Yöntemde sırasıyla şu adımlar izlenmektedir:

Adım 1: İş öğelerinin öncül ve ardıllarını gösteren P ve F matrisleri oluşturulur.

Adım 2: P matrisinde tüm satırı sıfır olan iş ögesi ilk istasyona atanır. Eğer birden fazla değer var ise işlem süresi uzun olan atanır.

Adım 3: Atanan iş ögesine ait F matrisinde bulunan iş öğelerinin P matrisindeki satırına gidilir ve ataması yapılmış iş çıkarılarak yerine "0" yazılır.

Adım 4: Kontrol sütununda ataması yapılan iş ögesi yerine "*" işareti konulur.

Adım 5: Atamalar yapılırken öncelik kısıtları ve çevrim süresine uyulur.

Adım 6: Tüm iş öğeleri tamamlanıncaya kadar işleme devam edilir.

3.6.1.6. Comsoal tekniği

1966 yılında Arcus tarafından Chrysler şirketinde geliştirilen, bilgisayar destekli bir sezgisel yöntem olan Comsoal 'ın algoritması şu şekildedir: (İşlier, 2007: 45-47)

Adım 1: İlk sütunda iş elemanı numarasını, ikinci sütunda da öncelik diyagramında hemen önce gelen iş elemanlarının sayısını veren bir A listesi hazırlanır.

Adım 2: A listesinde ikinci sütunu sıfır olan elemanların kümesini gösteren bir B listesi hazırlanır.

Adım 3: B' den rastgele çevrim süresini aşmayacak şekilde bir eleman seçilir.

Adım 4: Öncelik ilişkileri, atanma süreleri ve atanma durumları gözden geçirilerek A ve B listeleri güncellenir.

Adım 5: B listesinden uygun (çevrim süresini aşmayan) bir eleman daha seçilir.

Adım 6: Tüm elemanlar istasyonlara atanıncaya kadar Adım 4 ve Adım 5 tekrarlanır.

Adım 7: Adım 1' den Adım 6' ya kadar olan işlemler, “ yeteri kadar iyi bir çözüm” buluncaya veya bilgisayar süresi tükeninceye kadar tekrarlanır ve bulunan en iyi çözüm elde tutulur.

3.6.1.7. Probabilistik hat dengeleme

Uygulamada rastlanan pek çok olayda ya belli bir dağılıma uyar ya da tamamen bağımsız olarak değişkenlik gösterir. Bu tür hat dengelemeye probabilistik hat dengeleme denmektedir. (El Sayed & Boucher, 1985)

İşlem sürelerinin deterministik olmadığı dengeleme uygulamalarında iki tip yaklaşım vardır:

1. İş öğesi süresi (t_i): μ ortalamalı ve σ standart sapmalı bir normal dağılıma uymaktadır. (Probabilistik durum).
2. İş öğesi sürelerinin istatistiksel dağılımı bilinmemekte, yalnızca μ ortalama ve σ standart sapması bilinmektedir. (Stokastik durum)

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Montaj Hatlarının dengelenmesi üzerine geçmişten günümüze çok sayıda çalışma yapılmış farklı çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Literatüre bakıldığında bu çalışmaları farklı başlıklar altında incelemek mümkündür. Bu çalışmada tek modellenli deterministik ve stokastik montaj hattı dengeleme problemi ile karışık modellenli montaj hat dengeleme problemi üzerine literatür araştırması yapılmış ve ileri gelenleri üzerinde kısaca durulmuştur. Ayrıca benzetim tekniğini montaj hat dengelemede kullanan çalışmalar hakkında da bilgi sunulmuştur.

4.1. Deterministik Tek Model MHDP Konusunda Yapılan Çalışmalar

Deterministik MHDP ile ilgili literatürde bilinen ilk çalışma Bryton tarafından yüksek lisans tez çalışmasında yapılmıştır. Bu çalışmada Bryton iş istasyonu sayısını sabit, işlem sürelerini eşit kabul ederek çevrim zamanını en küçüklemeyi amaçlamıştır. (Bryton, 1954)

Salveson, montaj hattı dengeleme konusunda yayınlanan ilk makalenin sahibi olup 0-1 tam sayılı programlama modelini geliştirerek MHDP' ye yeni bir çözüm yaklaşımı getirmiştir. Çalışmasında çevrim zamanı ve işlem sürelerini deterministik olarak almış ve istasyon sayısını ve istasyonlar arasındaki atıl zamanı en aza indirmeyi amaçlamıştır. (Salveson, 1955)

Jackson, iş istasyonu sayısını en aza indirmeyi amaçlayan bir dinamik programlama modeli geliştirmiştir. (Jackson, 1956)

Bowman, MHDP' yi 0-1 tam sayılı programlama şeklinde formüle etmiştir. Çevrim sayısı ve işlem süreleri deterministik kabul etmiş, istasyon sayısını en küçüklemeyi amaçlamıştır. Doğrusal programlama yaklaşımı sayesinde iş öğelerinin istasyonlar arasında bölünmesinin önüne geçilmiştir. (Bowman, 1960)

Klein, en kısa yol algoritmasını kullanarak montaj hattı dengeleme problemini çözmeye çalışmıştır. (Klein, 1963)

Thangavelu ve Shetty, Bowman' ın çalışmasını geliştirerek tek modellenli montaj hattı problemine 0-1 tam sayılı doğrusal programlama yöntemi ile yeni bir çözüm önermişlerdir.

Problemde işlem zamanları ve çevrim zamanları deterministik kabul edilmiştir. (Thangavelu & Shetty, 1971)

Patterson ve Albracht, tek modellenli montaj hattı dengeleme problemini için, etkili bir matematiksel formülasyon geliştirmişlerdir. Bu çalışmada çevrim zamanı deterministik alınarak istasyon sayısını en küçüklemek amaçlanmıştır. (Patterson & Albracht, 1975)

Held ve arkadaşları ile Schrage ve Baker ise montaj hattı dengeleme problemine dinamik programlama tekniği ile yaklaşmış ve çözüm için formülasyonlar geliştirmişlerdir. (Held vd., 1963) (Schrage & Baker, 1978)

Wee ve Magazine, geliştirdikleri dal-sınır algoritması ile tip 2 problemlerinin çözümü için dört değişik arama metodu kullanmışlardır. Metotlardan iki tanesi ayrı ayrı alt ve üst sınırlarla başlamaktadır. Diğer iki metot ise ikili arama algoritması (BISEARCH) ve ikili Fibonacci arama prosedürüdür. Bu iki algoritmada da tip 1 probleminin çözümünde elde edilen sonuçlardan yararlanılmaktadır. (Wee & Magazine, 1982)

Talbot ve Patterson, basit montaj hattı dengeleme problemleri için istasyon sayısı minimum olacak şekilde çalışma istasyonlarına görev atayacak bir tam sayılı programlama algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma, işlerin öncelik ilişkileri dikkate alınarak ve toplam bir istasyondaki sürenin çevrim zamanından büyük olmayacak şekilde atanmasını garanti eder. (Talbot & Patterson, 1984)

Johnson, büyük ölçekli montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için dal-sınır tekniğine dayalı olarak geliştirdiği FABLE (Fast Algorithms for Balancing Lines Effectively) isimli algoritması ile bir çok problemde hızlı şekilde optimal sonuçlara ulaşmıştır. (Johnson, 1988)

Hoffman, EURAKA adı ile bilinen dal-sınır tekniğine dayalı bir algoritma geliştirmiştir. Bu modelde işlem zamanları ve çevrim süresi deterministik kabul edilmiştir. (Hoffmann, 1992)

Scholl ve Klein, tek modellenli MHDP için SALOME olarak adlandırılan ve yine dal – sınır tekniğine dayalı, optimal sonuç veren bir algoritma önermişlerdir. (Scholl & Klein, 1997)

Ağpak ve Gökçen, çalışmalarında en az istasyon ve kaynak kullanarak hat dengeleme yapmayı amaçlamış ve 0-1 tam sayılı bir programlama modeli geliştirmişlerdir. (Ağpak & Gökçen, 2005)

Pastor ve Ferrer, çalışmalarında matematiksel programlama tekniklerini kullanarak farklı ve daha etkin bir model geliştirmişlerdir. Bu modele göre bir görevin atanabileceği iş istasyonları, iş istasyonlarının üst sınırına veya döngü zamanının üst sınırına bağlıdır Yeni modelden elde edilen sonuçları literatürde bulunan diğer matematiksel modellerle karşılaştırmışlardır. (Pastor & Ferrer, 2009)

Foroughi ve Gökçen maliyet tabanlı stokastik görev zamanlı MHDP' yi ele almışlar ve şans kısıtlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. (Foroughi & Gökçen, 2014)

Alağuş vd. Tip-2 MHDP' ye kısıt programlama ve kuyruk ağı tekniğine dayalı bir çözüm algoritması önermişlerdir. Önerilen model literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. (Alağuş vd., 2015)

4.2. Stokastik MHDP Konusunda Yapılan Çalışmalar

MHDP' de problem büyüyüp karmaşıktıkça analitik yöntemlerin yerini sezgisel yöntemler almaya başlamıştır. Literatüre bakıldığında sezgisel yöntemlerde temelde iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bunlardan ilk yaklaşımda bir kurallar dizisi belirlenir ve problemler bu sezgisel kurallara göre çözülür. İkinci yaklaşımda ise bir başlangıç çözüm üzerinden hareket edilerek daha iyi bir çözüm elde etmek amaçlanır. En son bulunan en iyi çözüm optimal çözüm olarak düşünülür.

Tonge, mevcut iş istasyonuna eklenecek bir sonraki görevi seçmek için sezgisel olarak montaj hattındaki iş istasyonlarına görevler atayacak bir prosedür geliştirmiştir. (Tonge, 1961: 15-24)

Kilbridge ve Wester, geliştirdikleri yöntemde öncelikle bir atama tablosu oluşturmuştur. Öncelik ilişkileri ve çevrim süresini göz önüne bulundurarak iş öğelerini istasyonlara atamalarını yapmışlardır. (Kilbridge & Wester, 1961). Bu metot sonraki birçok çalışma için önemli bir kaynak olmuştur.

Helgeson ve Birnie, konum ağırlıklı hat dengeleme olarak bilinen ve yaygın kullanıma sahip olan yöntemi geliştirmişlerdir. Bu teknikte her bir iş ögesi için kendi işlem süresi ve kendinden sonraki işlem süreleri dikkate alınarak konum ağırlığı belirlenir. İş ögeleri, konum ağırlıklarına göre büyükten küçüğe doğru istasyonlara atanır. (Helgeson & Birnie, 1961)

Moodie ve Young, yaptıkları çalışmada işlem zamanlarının normal dağılıma uyduğunu varsaymış, çevrim zamanı ise sabit tutmuştur. (Moodie & Young, 1965)

Arcus, COMSOAL (Computer Method Of Sequencing for Assembly Lines) adı verilen algoritmayı geliştirmiştir. Bu teknikle çevrim zamanının geçmeyecek şekilde iş ögeleri atanmaktadır ve ortaya çıkan alternatif çözümler içinden en az denge kaybı olan seçilmektedir. (Arcus, 1966)

Dar-el, tek modelli MHDP için MALB olarak bilinen bir sezgisel metot geliştirmiştir. Geniş ölçekli problemler için kullanılan bir yöntemdir. (Dar-El, 1973)

Kao, işlem sürelerinin istatistiksel dağılımlara göre belirlendiği stokastik MHDP için bir dinamik programlama modeli geliştirmiştir. (Kao, 1976)

Sculli, değişen koşullara uyum sağlayabilecek şekilde dinamik bir hat dengeleme yaklaşımı geliştirmiştir. Bu yaklaşımda değişen talebe göre çevrim süresi dinamik olarak ayarlanmakta, spesifikasyonlar değişebilmekte ve operatörler standart bir oranda çalışmamaktadır. (Sculli, 1979)

Dar-el ve Ruunovitch, öğrenme sebebiyle performansta oluşan değişimleri göz önünde bulunduran bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. (Dar-el & Rubinowitch, 1979)

Baybars, belirli bir problemin basitleştirilmesi, uygun olduğunda daha küçük alt parçalara ayrılabilmesi için dört aşamalı bir sezgisel çözüm yöntemi önermiştir. (Baybars, 1986)

Suresh ve Sahu Tavlama benzetimi tekniğine dayalı sezgisel bir yaklaşım sunmuşlar ve sonuçları diğer sezgisel yöntemlerle karşılaştırmışlardır. (Suresh & Sahu, 1994)

Uğurdağ vd. Tip2 MHDP için tam sayılı programlamaya dayalı iki aşamalı bir sezgisel geliştirmiştir. (Uğurdağ vd., 1997)

Kim ve arkadaşları yaptıkları çalışmada çift taraflı MHDP için bir genetik algoritma önermişlerdir. (Kim vd., 2000)

Sabuncuoğlu ve arkadaşları, tek modelli MHDP için genetik algoritmaya dayalı çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca tavlama benzetimiyle genetik algoritmayı birleştiren bir yapı oluşturarak çözüm performansını arttırmayı amaçlamışlardır. (Sabuncuoğlu, Erel, & Tanyer, 2000)

Carnahan ve arkadaşları öncelik, istasyon ve işçi kısıtları altında, genetik algoritmaya dayalı, üç adet sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. (Carnahan vd., 2001)

Lee ve arkadaşları çift taraflı montaj hatları için “grup atama ” isimli sezgiseli geliştirmişlerdir. (Lee vd., 2001)

Stockton ve arkadaşları da çevrim süresinin verilip istasyon sayısının en küçüklenmek istendiği (tip 1) deterministik MHDP için, bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. (Stocon vd., 2004)

Ağpak ve Gökçen, basit U tipi montaj hatları için bulanık tam sayılı programlama yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşım Arcus’ un Comsoal yöntemine dayanmakta olup istasyon sayısını en küçüklemeyi amaçlamaktadır. (Ağpak & Gökçen, 2002)

Fleszar ve Hindi, iş istasyonu sayısını en küçüklemek amaçlı, yani Tip1 MHDP için yeni bir sezgisel algoritma sunmuşlardır. Bu yöntem Hoffman sezgiseline dayanmaktadır ve en iyi çözüme ulaşmak için öncelik ağının her iki tarafındaki çözümleri geliştirmektedir. (Fleszar & Hindi, 2003)

Liu vd., istasyon sayısını sabit kabul ederek çevrim süresini en aza indirmeyi amaçlayan tip2 MHDP için bir sezgisel geliştirmişlerdir. (Liu, Ong, & Huang, 2005)

4.3. Karma/ Çok Modelli Montaj Hatları ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Karma modelli MHDP ile ilgili literatürdeki ilk çalışma Thomopoulos tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada tek model MHDP için kullanılan tekniklerin karma model hatlar

için uyarlanması ve modellerin hat üzerinde sıralanması için bir prosedür geliştirilmiştir. Thomopoulos, Kilbridge ve Wester' in sezgisel yöntemini geliştirmiş; görevlerin çevrim zamanına göre değil, bir çalışma evresine göre operatörlere atanmasını sağlamıştır. (Thomopoulos, 1967)

Macaskill, karma model hatlar için üretim hattı dengeleri üzerinde durmuş ve hat performansını maksimize etmeyi amaçlamıştır. Bunun için de görev gruplarını birleştirip bilgisayar yardımıyla atamalarını gerçekleştiren bir sezgisel geliştirmiştir. (Macaskill, 1972)

Chakravarty ve Shtub, süreç-içi envantere sahip karışık-modelli montaj hatlarının dengelenmesi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında, çok-aşamalı sistem kullanarak hat boyunca gerekli olan iş istasyonu sayısını, her bir istasyona verilen görevleri ve çevrim süresini belirleyen algoritmalar geliştirmişlerdir. Algoritmalar, işçilik maliyetlerinden, stok taşıma maliyetlerinden ve kurulum maliyetlerinden oluşan toplam üretim maliyetlerini en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. (Chakravarty & Shtub, 1985) . Chakravarty ve Shtub, bir diğer çalışmalarında ise karma model montaj hatlarında öğrenme etkisini de göz önünde bulunduran ve hattın toplam maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. (Chakravarty & Shtub, 1992)

Askin ve Zhou, karışık modelli MHDP için bir istasyon paralelleştirme sezgiseli geliştirmişlerdir. Modelin amacı, işe bağlı ekipman/ takım maliyetinin çoğaltılmasıyla boş istasyon sürelerini kapatmaktır. (Askin & Zhou, 1997)

Gökçen ve Erel, karma modelli MHDP için ikili bir hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Önerilen model çeşitli çatışan hedefleri aynı anda dikkate alabildiği için karar vericiye önemli ölçüde esneklik sağlamaktadır. (Gökçen & Erel, 1997). Yine karma model MHDP için yaptıkları bir diğer çalışmada ise bir ikili tamsayı programlama modeli geliştirmişlerdir. (Gökçen & Erel, 1998). Ayrıca Gökçen ve Erel bu konudaki çalışmalarını sürdürerek işlem ve çevrim zamanlarını deterministik alan ve en kısa yol metoduna dayalı yeni bir algoritma önermişlerdir. (Gökçen & Erel, 1999)

Vilarinho ve Simaria, paralel iş istasyonlu karışık modelli montaj hattı dengeleme problemi için matematiksel programlama modeli ve tavlama benzetimine dayanan iki aşamalı bir sezgisel prosedür geliştirmişlerdir. Modelde çevrim süresi deterministik kabul edilerek istasyon sayısını en küçükleme amaçlanmıştır. (Vilarinho & Simaria, 2002).

Vilarinho ve Simaria bir başka çalışmalarında karma modellenli hatlar için Tip2 problemine yönelik bir genetik algoritma sunmuşlardır. (Simaria & Vilarinho, 2004)

Jin ve Wu, karma model hatlar için “Varyans Algoritması” olarak adlandırılan yeni bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. (Jin & Wu, 2003)

McMullen ve Tarasewich paralel iş istasyonlu ve stokastik görev süreli, karma modellenli montaj hattı dengeleme problemi için karınca optimizasyonuna dayanan bir yaklaşım sunmuşlardır. (McMullen & Tarasewich, 2003)

Bukchin ve Rabinowitch, karma modellenli MHDP için, toplam maliyetleri ve istasyon sayısını en küçüklemeyi amaçlayan dal-sınır tekniğine dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir. (Bukchin & Rabinowitch, 2006)

Akpınar ve Bayhan, karma model montaj hattı dengeleme problemini çözmek için bir melez genetik algoritma önermişlerdir. Çalışmada iş istasyonu sayısının en aza indirmek, iş istasyonları arasındaki iş yükünü ve iş yükü dengesini en üst düzeye çıkarmak amaçlanmıştır. (Akpınar & Bayhan, 2011). Akpınar vd. görevler arasında sıraya bağımlı olmayan hazırlık zamanlarının olduğu karma montaj hattı dengeleme problemi için genetik algoritma ve karınca koloni optimizasyonuna dayalı yeni bir melez algoritma önermişlerdir. (Akpınar vd., 2013). Akpınar ve Baykasoğlu karışık model montaj hattı dengeleme problemi için karışık tamsayı doğrusal matematiksel programlama (MILP) modeli geliştirmiştir. (Akpınar & Baykasoğlu, 2014). Akpınar ve Baykasoğlu bu çalışmanın devamı olarak çoklu arı koloni algoritmasına dayalı bir meta sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir. (Akpınar & Baykasoğlu, 2014)

Ramezani ve Ezzatpanah, karma modellenli montaj hattı problemi için işçi atama problemini de dahil ettikleri bir hedef programlama yaklaşımı sunmuşlardır. Çalışmada çevrim süresi ve işçilik maliyetlerini en aza indirmek amaçlanmıştır. (Ramezani & Ezzatpanah, 2015)

Nezami ve Roshani, karma modellenli çok yönlü montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için yeni bir karışık tamsayı programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada optimal çözümü bulmak için tavlama benzetimi algoritması geliştirmişlerdir. (Roshani & Nezami, 2017)

4.4. Benzetim Tekniğinin Kullanıldığı MHDP Çalışmaları

Montaj hattı dengeleme ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunsada benzetim tekniğinin kullanıldığı çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Rajamani ve Singh, televizyon montaj hattının dengelenmesi ve tasarlanması üzerine bir vaka çalışması yapmış, üretim esnasında ihtiyaç duyulan süreç içi stok seviyesini belirlemek için benzetim tekniğini kullanarak modelleme yapmışlardır. (Rajamani & Singh, 1991)

McMullen ve Frazier, veri zarflama analizi ve benzetim tekniğini kullanarak farklı montaj hattı dengeleme problem çözümlerini karşılaştırmak için bir yöntem sunmuşlardır. (McMullen & Frazier, 1999)

Mendes vd., sezgisel prosedürler ve benzetimle modelleme tekniğini birleştirerek karma modellen bir PC kamerası montaj hattında dengeleme çalışması yapmışlardır. (Mendes vd., 2005). Kitaw vd., bir hazır giyim firmasında benzetim tekniğini kullanarak montaj hattı dengeleme çalışması gerçekleştirmişler, alternatif çözümleri karşılaştırmışlardır. (Kitaw vd., 2010). Fan vd., otomotiv endüstrisinde hat dengeleme üzerine yapmış oldukları çalışmada matematiksel bir model önermişler, benzetim tekniğini uygulamışlardır. (Fan vd., 2010)

Villarreal ve Alanís, iki seviyeli bir benzetim tekniği kullanarak işletmede montaj hatlarının performansının iyileştirilmesini amaçlamışlardır. (Villarreal & Alanís, 2011)

Nasab vd. ise, deney tasarımı ile benzetim tekniğini birlikte kullanarak, bir imalat işletmesinde hat dengeleme çalışması yapmışlardır. (Nasab vd., 2012)

Eryürük, benzetim ve sezgisel yöntemleri birlikte kullanarak çok modellen elbise montaj hattında dengeleme çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada belirli çevrim süresinde, optimum makine ve işçi miktarını kullanarak maksimum hat verimliliğine ulaşmak için montaj hattını tasarlamak amaçlanmıştır. (Eryürük, 2012)

Chen vd., genetik algoritma ile birlikte benzetim tekniğinden faydalanarak karışık modellen bir montaj hattında dengeleme çalışması yapmışlardır. (Chen vd., 2017)

5. BENZETİM (SİMÜLASYON)

Global ekonomideki acımasız rekabet koşulları nedeniyle şirketler yeni ürün tasarımını, ürünün gerektirdiği hat dizaynını ve üretimini çabuk ve ucuz bir biçimde yapmalıdır. Dizayn çalışmaları benzetimden faydalanılarak daha kısa sürede yapılabilir. Olası montaj problemleri benzetim ile ortaya çıkarılabilir. Montaj dizaynı ve planlamasına yönelik olarak, kapsamlı bir benzetim yapılmasını ve görsel ortam yaratılmasını mümkün kılan teknolojiler pek çok alanda teknik avantaj sağlamaktadır. (Gupta vd., 2001: 215)

Diğer yöntemlerin aksine, benzetimde sistem dinamik hale gelmekte ve olabilecek değişiklikler sisteme sonradan dahil edilebilmektedir. Böylece farklı yöntem ve yaklaşımların sistem üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi olanaklı olmaktadır.

5.1. Benzetim Kavramı

“Benzetim, herhangi bir olayın ya da sistemin zaman içerisindeki davranışlarının taklit edilmesi (imitasyonu) olarak tanımlanabilir. Sistem davranışlarının izlenebilmesi ve değerlendirilebilmesi için öncelikle modellenmesi ve bu modelin gerçek dünyada sistemin çalıştığı gibi çalıştırılması veya ilgili olayın yürütüldüğü gibi yürütülmesi gerekmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte artık birçok olay neredeyse aslına birebir uygun olacak şekilde modellenmektedir.” (Eylar & Öztemel, 2016: 357-364)

Benzetim ile modelleme yapılarak sistemin davranışları tanımlanabilir, teoriler geliştirilebilir ve sistemin gelecekteki davranışları tahmin edilebilir.

5.2. Benzetimin Kullanıldığı Durumlar

Benzetim bir teori değildir ama problem çözmek için bir metodolojidir. Aşağıdaki koşullardan biri ya da birkaçı bulunduğu zaman benzetime başvurulabilir: (Yeroğlu, 2001: 6-7)

- Problemin tam bir matematik formülasyonu mevcut değildir ve ya matematik modelin analitik yöntemlerle çözümü henüz bulunamamıştır. Çoğu bekleme hattı, kuyruk modelleri bu grupta yer alır.
- Analitik yöntemler çözüm için elverişlidir, ancak matematik yöntemleri çok karmaşıktır.
- Analitik çözümleri vardır ve kullanılabilir ama problem üzerinde çalışanlarda bu bilgiler yoktur.
- Belirli parametrelerin tahmin edilmesi için benzetime başvurulabilir.
- Deneme yapma açısından benzetim tek yol olabilir.

- Sistemlerin ve ya süreçlerin davranış karakteristiklerini ortaya koymak zaman ve maliyet gerektirebilir.

5.2. Benzetimin Tarihi Gelişimi ve Kullanım Alanları

Benzetimin tarihi geçmiş 5000 yıl öncesinde WEICH olarak bilinen Çin Savaş oyunlarına kadar dayanmaktadır. Bu oyunlar daha sonra ordu ve donanma stratejilerinin gelişimini sağlamak amacıyla da kullanılmıştır. 1800'lü yıllardan itibaren askeri planlamada kullanılmaya başlanmıştır. 1929 yılında benzetim (simülasyon) teknolojisi havacılık endüstrisinde de kullanılmış ve Edward Link tarafından uçak simülatörü geliştirilmiştir. 2. Dünya Savaşı esnasında matematikçi Jhon Van Neumann tarafından Monte Carlo Benzetim tekniği geliştirilmiştir. 1950' lerde iş bilgisayarlarının gelişi ve birleşik kullanımı ile benzetim bir yönetim aracı olarak gelişmiştir. 1960' larda kabaca endüstriyel sistemlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzmanlaşıp, özelleşen bilgisayar dillerinin ortaya çıkmasıyla pek çok benzetim programı yazılmıştır.

Son zamanlarda kullanılan benzetimle modelleme tekniğinin başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir: (Mevlütöğlu, 2010)

Araştırma ve Geliştirme: Yeni tasarım ve teknolojilerin sanal ortamda modellenmesi, diğer sistemlerle etkileşimlerinin incelenmesi (örnek: sanal tasarım odaları).

Tasarım: Konsept tasarım, tasarım optimizasyonu, sanal prototip oluşturma (örnek: Sistem Entegrasyon Laboratuvarları).

Eğitim: Bir sistemi kullanacak operatör veya ekibin kullanıma yönelik olarak eğitimi (örnek: uçak / helikopter simülatörleri).

Karar Destek: Tedarik, süreç optimizasyonu ve strateji geliştirme gibi süreçlerde destek olmak üzere senaryo ve süreç benzetimi (örnek: 3D sanal kum sandığı uygulamaları)

Eğlence: Görsel, işitsel vb. teknolojiler ile birlikte etkileşimli eğlence araç ve ortamları hazırlanması (örnek: hareketli platform üzerinde 3D sinema salonu uygulamaları).

Günümüzde geniş bir uygulama alanına sahip benzetimin bazı kullanım alanlarını aşağıdaki gibi örneklendirebiliriz: (Eyler & Öztemel, 2016: 357-364)

- Endüstride hemen her sektörde üretim planlama, üretim sistemlerinin yerleştirilmesi ve tesis planlama, bakım ve onarım, müşteri isteklerinin sistem üzerindeki etkilerinin oluşturulması, üretim hatlarının tasarımı vb. gibi her alanda benzetim teknolojisi yoğun olarak kullanılmaktadır.
- Hava yolu şirketlerinde uçaklara pilot ve hosteslerin atanmasında, uçak tarifelerinin oluşturulmasında vb. çalışmalarda benzetim teknolojisinden faydalanılabilmektedir.

Benzeri çalışmaları demiryolu ve karayolu taşımacılığı ve ya toplu taşımacılık için de gerçekleştirmek mümkündür.

- Bakım ve onarım çalışmalarının etkinliğini arttırmak ve periyodik olarak değiştirilmesi gereken sistemler için en uygun değiştirme zamanlarının belirlenmesinde benzetim teknolojisi kullanılmaktadır.
- Askeri alanda silah sistemlerinin etkinliklerinin izlenmesi ve özellikle üç boyutlu benzetim sistemleri ile askeri personelin eğitilmesinde benzetim artık vazgeçilmez hatta hayati derecede önemli bir araç olarak görülmektedir.
- Telekomünikasyon sistemlerinde şebeke yoğunluğunun belirlenmesinden şebeke üzerindeki tedarik fonksiyonlarını ekonomik bir boyutta sürdürebilmek için benzetim çalışmalarından faydalanılmaktadır.
- Ekonomik alanda uygulanan politikaların etkinliklerinin izlenmesinde ve en uygun strateji ve politikanın belirlenmesinde, doğru kararlar verilmesinin sağlanmasında benzetim teknolojisi yardımcı olabilmektedir.
- Bankalarda kaç tane vezne oluşturulması gerektiğinin belirlenmesinde yine benzetim teknolojisi çözüm sunabilmektedir.
- Benzeri şekilde hastanelerde acil servislerde, çalıştırılması gereken doktor sayısının belirlenmesi, PTT hizmetlerinin en etkin şekilde yerine getirilmesi için çalışacak personel sayısının belirlenmesi gibi birçok durumda da yine benzetim teknolojilerinden etkin olarak yararlanılmaktadır.
- Su havzalarının yönetiminde, baraj konfigürasyonunun yapılmasında, güç istasyonlarının oluşturulmasında, sulama sistemlerinin tasarlanmasında vb. gibi birçok alanda benzetim teknolojileri çözümler önerebilmektedir.

5.3. Benzetimin Avantaj ve Dezavantajları

Gerçek sistemle deney yapmak oldukça maliyetli bir iştir. Yeni fikirleri denemek için günlük operasyonlara ara vermek de maliyetlidir. Değişiklik yapmanın maliyeti dışında, değişiklikler yapılırken sistemin bir süre kapatılması gerekebilir. Buna ek olarak eğer değişiklikler operasyon performansının kötüleşmesine neden olursa bu müşteri kaybı ve müşteri memnuniyetsizliği açısından maliyetli olabilir. Bununla birlikte, bir benzetimle, modelin değiştirilmesi için gereken sürede ve gerçek dünya sistemlerinin işleyişinde herhangi bir kesinti olmadan değişiklikler yapılabilir. (Robinson, 2004: 8)

Benzetimin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir: (Hançerlioğulları, 2006)

- Esnek bir çözüm yöntemidir.
- Diğer modellere kıyasla anlaşılması daha kolaydır.
- Aşamalı uygulayabilme imkânı vardır.
- Klasik çözüm yöntemlerinin kullanılmadığı büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde oldukça etkilidir.
- Bir başka yöntemde incelenmesi olanaksız olan koşullar ve kısıtlar benzetim ile rahatça modellenenebilir.
- Sonuçları ancak aylar, yıllar sonra alınabilecek durumlar, benzetim ile çok kısa sürede analiz edilebilir.
- Modellenen sistemi değiştirmeden yeni fikir ve politikaların model üzerinde rahatça uygulanmasına olanak verir.
- Kullanıcı, benzetimi istenen zamanda durdurup yeniden başlatabildiğinden, deney koşulları üzerinde tam bir kontrole sahiptir.

Benzetimin dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Vakit alıcı ve pahalı olabilir.
- Bir çeşit deneme yanılma yöntemi olup optimum çözüm vermesi kesin değildir.
- Her model kendine özgüdür ve modelleme ya da bulgular sırasında hata yapılırsa yanlış sonuçlar ortaya çıkabilir.

5.4. Benzetim Süreci

“Bir benzetim çalışması yapılırken genel anlamda aşağıdaki süreci izlemek gerekmektedir. Sürecin her adımında yapılması gereken çalışmalar ve bilimsel yaklaşımlar oluşturulmuştur”: (Eyler & Öztemel, 2016: 357-364)

Adım 1: Davranışı gözlemlenecek sistemin tanımlanması

Adım 2: Benzetimi yapılacak olan sistemin kavramsal modelinin oluşturulması ve ilgili verilerin toplanması

Adım 3: Benzetimi yapılacak olan sistemin modelinin oluşturulması

Adım 4: Geliştirilmiş olan modelin çalıştırılması

Adım 5: Modelin ürettiği sonuçların analiz edilmesi ve alternatiflerinin belirlenmesi

Adım 6: Sonuçların belgeleri

5.4.1. Benzetim Sisteminin Tanımlanması

Benzetimi yapılacak olan sistemin ve bu sistem üzerindeki karar verilmesi gerekli noktaların belirlenmesi aşamasıdır. İlgili olayın modellenmesinde sezgisel yöntemlerin kullanılması yani matematik modelle çözülemez olması gerekmektedir.

5.4.2. Kavramsal Modelin Oluşturulması

İlgili problemin nasıl modellenmesi gerektiğine dair bir çalışma yapılarak sistemin öğelerinin, bu öğelerin birbiriyle ilişkilerinin dikkate alındığı bir kavramsal modelin geliştirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada sisteme ait parametreler ile verilerin nereden ve nasıl toplanacağı belirlenir. İleride sistem performansında olumsuz etkiler olmaması açısından bu aşamadan dikkatli geçilmesi gerekmektedir.

5.4.2.1. Modelleme ve Veri Toplama

“Modelin oluşturulması ve verilerin toplanıp modelin doğrulanması aşamasıdır. Model oluşturulurken aşağıdaki açıklamaların dikkate alınması sistematik bir yaklaşımı kolaylaştırır”: (Eyer & Öztemel, 2016: 357-364)

Model; ilgili olayların bilgisayar ortamında gösterimidir. Modeller olmadan benzetim çalışmalarını gerçekleştirmek mümkün değildir. İlgili verileri kullanarak geliştirilmiş olan modeller çalıştırılır ve farklı durumlar için sistem davranışı izlenerek karar vericiye bilgi ve destek üretilir. Etkin kararlar verebilmek için problem uzayını temsil eden bir modelin kullanılması kaçınılmazdır. Olayın çok fazla ayrıntıları ile uğraşmak yerine karar vericiye gerekli olan bilgilere odaklanarak modelleme çalışmaları gerçekleştirmek daha yararlı olur. Her model farklı açılardan bakıldığında farklı şekillerde geliştirilebilir. Genel anlamda aşağıdaki türde modellerin kullanımı söz konusu olabilmektedir:

Statik Model: Zamanın her hangi bir anındaki sistemin durumunu gösterir. Monte Carlo Benzetim yönteminde yaygın kullanılmaktadır.

Dinamik Model: Zaman içerisinde değişen, belirli süreler arasındaki sistemin davranışını gösteren modellerdir. Bir bankanın mesai saatleri arasındaki işleyişi buna örnek gösterilebilir.

Deterministik Model: Herhangi bir rastsal değişken bulundurmeyen, bilinen girdilerden bir çıktı seti oluşturan modellerdir.

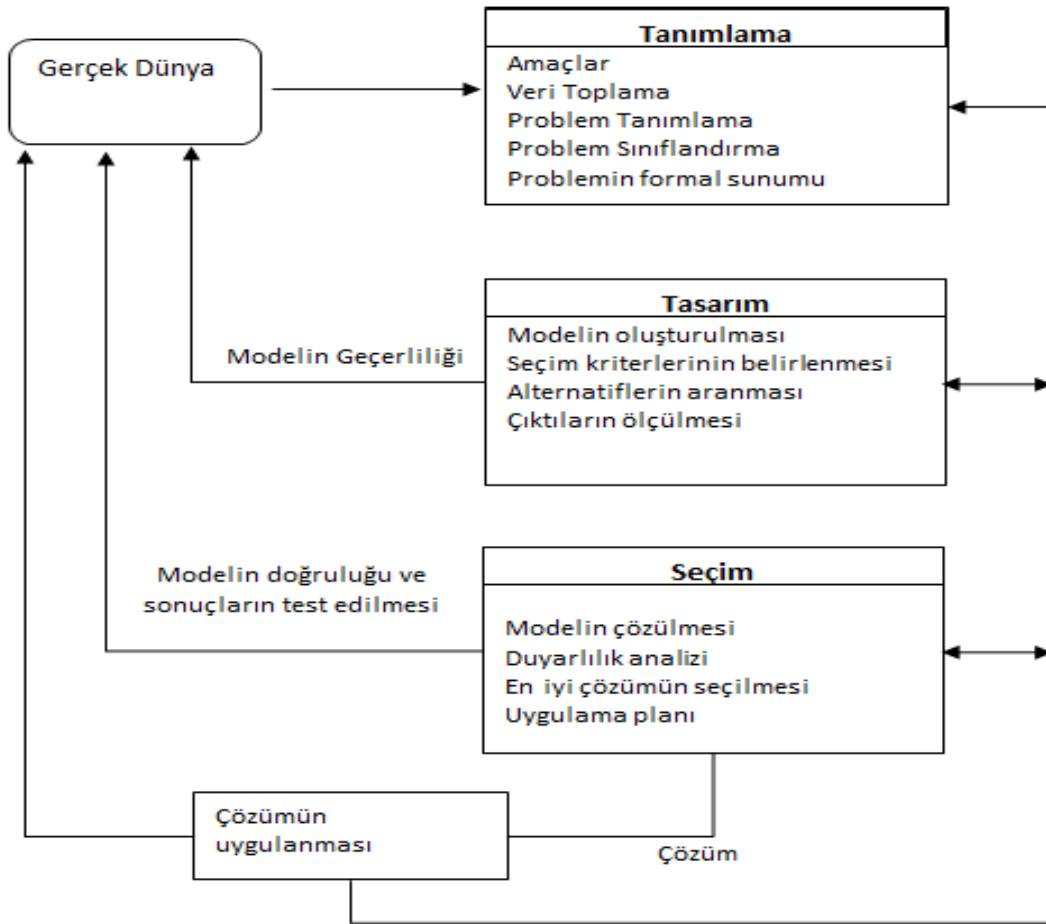
Stokastik Model: Tesadüfi değişkenler içeren modellerdir. İnsanların bir bankaya ne zaman gelecekleri belirli değildir ve ne kadar süre servis alacakları da yine belirsizdir. Böyle bir sistemin modellenmesi stokastik bir modelle mümkündür.

Kesikli Model: Bu modelde sistem davranışları belirli zaman aralıklarında değişkenlik gösterir.

Sürekli model: Sistemin davranışlarının zaman içinde devamlı değişmesi durumunu gösteren modellerdir.

5.4.2.2. Modelleme Süreci

Modelin kurulmasında önemli olan modelin ilgili sistemi mümkün olduğunca iyi temsil etmesidir. Modelin içerisinde yürütülmesi gereken işlemler dikkatlice incelenmeli ve modele dahil edilmelidir. Genel anlamda modelleme süreci Şekil 5.1.' de gösterildiği gibidir:



Şekil 5.1. Modelleme süreci

5.4.3. Model Geliştirme

İlgili olayın kavramsal olarak temsil edecek modelinin oluşturulması aşamasıdır. Bu aşamada özellikle görsel model oluşturmada model geliştirme araçları ve modelleme

yazılımlarından faydalanılabilir. Geliştirilen modellerin kullanıma alınmadan önce bazı testlerle doğrulanması faydalı olacaktır.

5.4.4. Modelin Çalıştırılması

Oluşturulmuş modelin çalıştırıldığı aşama olup burada farklı parametre değerleri ile sistem davranışları gözlemlenebilir. Bu aşamada başlangıç noktası tanımlanmalıdır ve çok sayıda deneme yapılması önerilir.

5.4.5. Sonuçların Analiz Edilmesi

Oluşturulan modelin çalıştırılması sonucu oluşan bilgilerin kaydedilmesi ve analizlerinin yapılmasıdır. Sonuçların kayıt altına alınması tekrar durumlarında ve farklı koşullar altında sistemin değerlendirilmesinde fayda sağlayacaktır. İyi bir belgeleme programların hatalarının bulunmasına ve düzeltilmesini sağlar.

5.5. Benzetim için Geliştirilmiş Diller

Kesikli olay benzetimi normal olarak muazzam miktarda hesaplama içerir. Sonuç olarak, bu hesaplamaları yapmak için bilgisayarların kullanılması esastır. Hesaplamalara ek olarak problem karmaşık bir mantıksal yapı da içermektedir. Benzetim modelini sıfırdan genel amaçlı bir dilde, Fortran, Visual Basic, C /C++ veya Java gibi bir uygulamaya koymaya çalışmak, ortalamanın üstünde bir programlama becerisi gerektirecektir. Bilgisayarların işlem gücü ve depolama kapasitesi, özel benzetim dillerinin geliştirilmesine yön vermiştir. (Rossetti, 2010: 9). Böylece programcılık bilgisine ihtiyaç duymayan model elemanlarını ve bunlar arasındaki ilişkileri otomatik olarak hazır yapılar içerisinde sunan özel amaçlı benzetim paket programları ortaya çıkmıştır. Bugün kullanılmakta olan bazı paket programlar:

GPSS, GASP, SIMAN, SIMSCRIPT, Arena, Automod, ACSL, APROS, ARTIFEX, , C++SIM, CSIM, FluidFlow, Gepasi, JavSim, MJX, MedModel, Mesquite, Multiverse, NETWORK, OPNET, Modeler, POSES++, Simulat8, Powersim, QUEST, REAL, SHIFT, SIMPLE++, , SLAM, SMPL, SimBank, SimPlusPlus, TIERRA.

Tüm bu benzetim dilleri belirli standart programlama olanakları sağlar ve kullanıcının bu olanaklardan nasıl yararlanacağı konusunda farklılıklar gösterir.



6. UYGULAMA

6.1. Firma Tanıtımı

Montaj Hat Dengeleme uygulama çalışmasının yapılmış olduğu Termikel A.Ş.' nin temelleri 1957 yılında Kayseri' de atılmıştır. Elektrikli ev aletleri üretimi yapan firma 2009 yılı itibariyle Ankara Sincan Organize Sanayi Bölgesi' nde 60.000 m² açık alan üzerine inşa edilen 45.000m²'lik tesisinde faaliyetlerini sürdürmektedir. Termikel; yıllık 1.500.000 ankastre ve solo fırın üretim kapasitesi ile sadece Türkiye'ye değil, tüm dünyaya hizmet vermeyi sürdürürken kendi markasının yanı sıra 100'den fazla markaya da üretim yapmaktadır. Yan sanayi hizmeti veren, Termikel' in ikinci fabrikası ise Yozgat Şefaati'de üretimine devam etmektedir.



Resim 6.1. Firma Görseli

Solo- ankastre fırın, ocak ve davlumbaz üretimi yapan firmada ana üretim süreci; preshane, emaye, boyahane, montaj hazırlık ve montaj bölümlerinden oluşmaktadır. Ek-1' de Fabrika Yerleşim planı sunulmuştur.

İşletmede 2 adet ankastre montaj hattı, 2 adet solo fırın montaj hattı, 1 adet ocak ve 1 adet davlumbaz montaj hattı olmak üzere toplam 6 adet montaj hattı mevcuttur. Montaj hatları aynı ürünün farklı modellerini üreten karma modellenli hatlar olup işlemler çok büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Çalışma ankastre montaj hattında yürütülmüş, kullanılan veriler Termikel fabrikasında ölçülen gerçek verileri yansıtmaktadır.

6.2. Ürün Bilgisi ve Bileşenleri

Ankastre Fırın, mutfak mobilyası içerisine gömülen fırındır. Firmanın ürettiği ankastre fırın modelleri arasında kulp, düğme, renk, kontrol paneli gibi görsel farklılıklar bulunmaktadır.

Bu farklılıkların yanı sıra fırın kapağının düz/ yan açılır olması, iç gövdenin fanlı/ fansız oluşu, iç gövdenin kaburgalı/ tel raflı oluşu gibi fonksiyonel farklılıklar da model çeşidini etkilemektedir.

Ürün ana bileşenleri cam kapak, kumanda paneli ve iç gövde/ kazandan meydana gelmektedir. Ek-2 de ankastre fırın patlatılmış teknik resmi sunulmuştur. Ürünün diğer bileşenleri ve işlevleri aşağıda açıklanmıştır. Bu bileşenler fabrikanın farklı bölümlerinde montaja hazır hale getirilmektedir. Üretim Hat Şeması Ek-3 te sunulmuştur.

İç Gövde /Kazan: Fırının içinde bulunan gövde olup ayrı bir bantta montajı gerçekleştirilmektedir. Preshane bölümünde sac kullanılarak basılan, bükülen ve punta kaynak işlemi ile birleştirilen ana gövde buradan sırasıyla boya ve emaye işleminden geçer. Daha sonra konveyör ile taşınarak gövde montaj hattına getirilir. Burada gövde üzerine aydınlatma lambası, cam kapak contası, havalandırma borusu, turbo fan, rezistans, izocam, motor ve pervane parçaları montaj edilir.

Alt taban ve yan duvarlar: Preslerde basılarak montaj hattına sevk edilir. Fırının dış gövdesini oluştururlar.

Arka ve üst kapak: Preslerde basılarak montaj hattına sevk edilir.

Menteşe ve şase direk: Preslerde basılarak montaj hattına sevk edilir.

Dekor: Preste basıldıktan sonra boyahaneye giderek uygun renklerde yüzey kaplama işlemi yapılır, buradan montaj hattına sevk edilir.

Buharlık: Preste basıldıktan sonra boyahaneye giderek uygun renklerde yüzey kaplama işlemi yapılır, buradan montaj hattına sevk edilir.

İç panel: Fırının elektronik aksamlarının bulunduğu bölümüdür. Preshanede şekillendirme işlemi yapıldıktan sonra montaj hazırlık bölümüne gider. Burada şalter, zaman saati, termostat gibi komponentlerin bağlantısı yapılarak montaj hattına sevk edilir.

Dış panel/ kumanda paneli: Fırında düğme ve göstergelerin bulunduğu ve kontrolün sağlandığı kısımdır. Preste şekillendirme işlemi yapıldıktan sonra boyahane bölümünde uygun renkte yüzey kaplama işlemi yapılır. Buradan montaj hazırlık bölümüne giderek camlı model ise üzerine cam yapıştırılır, değil ise üzerine serigrafı metodu ile baskı yapılarak montaj hattına sevk edilir.

Tepsi: Preshanede basıldıktan sonra emaye bölümünde uygun renkte yüzey kaplaması yapıldıktan sonra montaj hattına sevk edilir.

Izgara: Tedarikçi firmadan temin edilir, depodan montaj hattına sevk edilir.

Cam Kapak Kompleksi: Ankastre fırının açılıp kapanan kapak kısmıdır. Preshanede şekillendirilen cam kapak profil sacı ve kulp profili boyahane bölümüne giderek uygun

renkte yüzey kaplama işlemi yapılır. Daha sonra tedarikçi firmadan temin edilen iç ve dış cam uygun metotlar kullanılarak cam kapak profiline yapıştırılır. Kulp ve menteşe de vidalanarak montaj hattına sevk edilir.

6.3. Problem ve Yöntem

Montaj hattında kayıp zamanlar ve darboğazların oluşması nedeniyle ve mevcut talep ile üretimin uyumlandırılması amacıyla Termikel A.Ş. ankastre fırın montaj hattı seçilmiştir. Montaj hattının dengelenerek hattın verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir.

Termikel Ankastre Montaj hattında üretilen 4 farklı model ele alınmış bu modellerin üretimi sırasında hattın nasıl düzenlenmesinin uygun olacağı bulunmaya çalışılmıştır. Bu modeller aşağıdaki gibidir:

1. Model 1: 13550 -Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın
2. Model 2: 13530 -Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın
3. Model 3: 13551 - Düz açılır fansız ankastre fırın
4. Model 4: 13555 - Yan açılır fansız ankastre fırın

Montaj hattında iş elemanlarının süreleri belirli olmadığı için öncelikle zaman etüdü yapılmış, standart süreler hesaplanmıştır.

Uygulamada öncelikle aylık talep miktarları göz önüne alınarak model sıralama problemi çözülecek, sonrasında öncelik ilişkileri ve işlem süreleri dikkate alınarak 4 model için ayrı ayrı hat dengeleme çalışması gerçekleştirilecektir.

Hat dengeleme yapılırken Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi ve ayrıca POM for Windows programı kullanılacaktır. Görevlerin işlem yönü dikkate alınarak hattın çift taraflı ve düz (tek taraflı) istasyon yerleşimi yapılacak ve bunun getireceği sonuçlar üzerinde durulacaktır. Son olarak hat dengeleme çalışması bulgularının ARENA benzetim programında sınaması gerçekleştirilecektir.

6.3.1.Varsayımlar

1. Montaj hattında bir ana ürünün değişik modellerinin üretimi yapılmaktadır.
2. Montaj hattı düz, ancak operatörlerin iki tarafta da bulunup görevleri yerine getirdiği çift taraflı bir hattır.
3. Bazı görevler hattın sadece tek tarafında, bazıları da her iki tarafında yapılmayı gerektirirler.

4. Öncelik ilişkilerine göre paralel eş zamanlı görevlere izin verilmiştir.
5. Bir görev ancak kendisinden önceki görevler bittikten sonra başlayabilmektedir.
6. Çözümün uygun çözüm olabilmesi için her bir istasyon belirlenen çevrim süresini aşmamalıdır.
7. Aylık üretim programında yer alan sipariş miktarını karşılamak için gerekli olan fazla mesailer ve ilave vardiyalar dikkate alınmayacaktır.
8. Üretimin, malzeme yokluğu, tamir bakım faaliyetleri, işçilerin işe gelmemesi vs. gibi nedenlerden dolayı kesintiye uğramadığı farz edilecektir.
9. İşlem süreleri deterministik kabul edilecektir.
10. Modeller üzerindeki işlemler büyük ölçüde benzerlik gösterdiğinden montaj hattında model geçişleri arasındaki hazırlık süreleri dikkate alınmayacaktır.

6.4. Montaj Hat Dengeleme Uygulaması

6.4.1. Model Sıralama Problemi

Modellerin aylık talepleri Çizelge 6.1.' de sunulduğu gibidir:

Çizelge 6.1. Ürün talepleri

Model	d_j	Miktar
A1	d_1	2400
A2	d_2	800
A3	d_3	4000
A4	d_4	1600
Toplam	D	9800

Bu çalışmada, Bard (1992) tarafından da kullanılan minimum parça set prensibi temel alınmış hattın model çizelgelemesi değerlendirilmiştir. q_h ($h=1, \dots, H$), D_{ij} ($j=1, \dots, M_h$) in en büyük ortak katıdır. D_h vektörü, ($d_h=d_{1h}, \dots, d_{M_h}$) $h=1, \dots, H$, $d_h = D_{jh} / q_h$ ($j=1, \dots, M_h$), ($h=1, \dots, H_h$) hattına ait model karışımı MPS_h olarak isimlendirilir. Bir A modelinin h hattındaki sırası (MS_h) diğer modellerin sıralarından bağımsızdır. Bir MPS_h için bir h hattında üretilen toplam ürün miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$S_h = \sum_{j=1}^{M_h} D_{jh} \quad (6.1)$$

Fabrika, haftanın 5 günü, mola saatleri haricinde günde 9 saat faaliyet göstermektedir. Bu doğrultuda 1 aylık planlama periyodu; 11.880 dk. olarak hesaplanmıştır. Bu durumda aylık talep miktarına göre 4 model için ortak çevrim zamanı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\bar{C} = T / \bar{ÜS}$$

$$\bar{C} = 11.880 / 9.800 = 1,21 \text{ dk.} = 72,73 \text{ sn. /adet}$$

Dj' nin en büyük ortak böleni: q1 =800 olur.

Bu durumda; MPS = model parti sayıları (3,1,5,2),

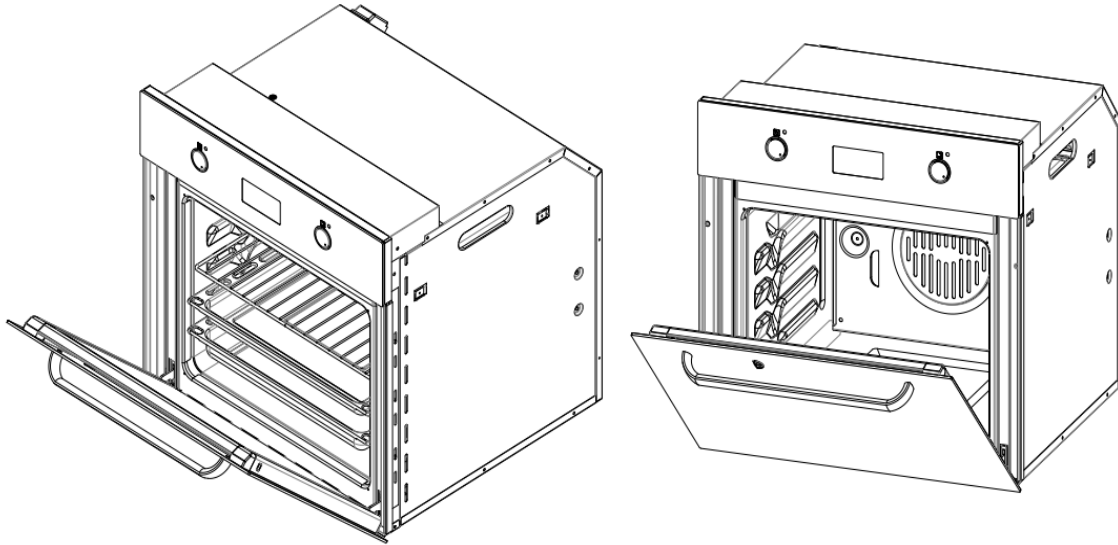
Varsayılan model sıralaması: A3, A3, A1, A3, A3, A1, A4, A4, A3, A2, A1 olmaktadır.

6.5. Hat Dengeleme Sonuçları

6.5.1. Model 1: 13550 -Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları

6.5.1.1. Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi sonuçları

Şekil 6.1.' de teknik resmi verilmiş olan düz açılır turbo fanlı ankastre fırın 21 iş ögesine sahiptir. Model 1'e ait görevler, öncelik ilişkileri ve çalışma yönü Çizelge 6.2.' de, zaman etüdü sonuçları ise Çizelge 6.3. ' te sunulmuştur.

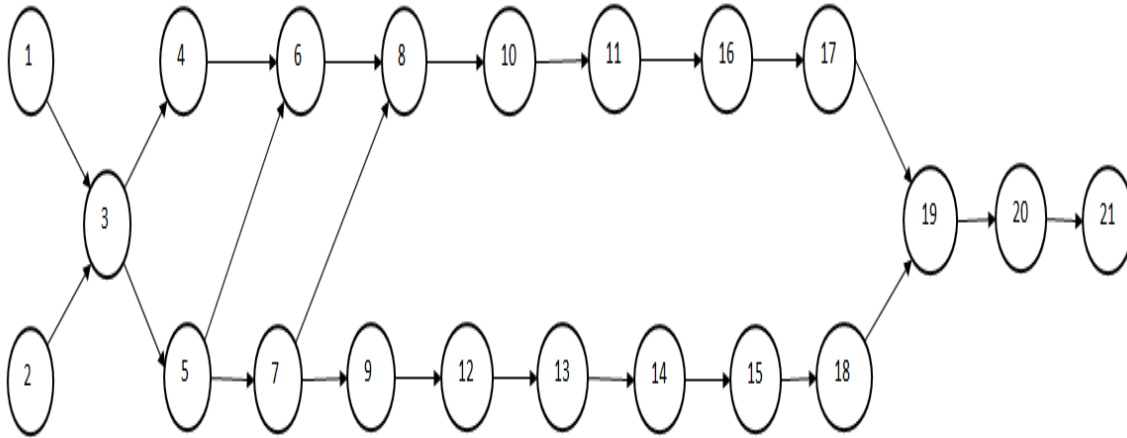


Şekil 6.1. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın

Çizelge 6.2. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın montaj hattı görevleri ve öncelik ilişkileri

İş Elemanı No	Görev Tanımı	Öncelik İlişkisi	Çalışma Yönü
1	Alt Taban- Arasacı montajı	-	R
2	Menteşe- şase direk montajı	-	R
3	Yan Duvar montajı	1,2	R, L
4	Buharlık ve dekor montajı	3	R
5	Limit kulak montajı	3	L
6	İç Panel montajı	4,5	R
7	Elektrik bağlantısı	5	L
8	Dış Panel Montajı	6,7	R
9	Bağlantı Kablosu Toplama	7	L
10	Dekor Montajı ve Ayarı	8	R
11	Cam kapak takma	10	R
12	Arka Kapak Montajı	9	L
13	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	12	L
14	Üst Kapak Montajı	13	R
15	Kademe Kapak Montajı	14	L
16	Tepsi, Izgara Yerleştirme	11	R
17	Fiziksel Kontrol	16	R
18	Elektriksel Kontrol	15	L
19	Kılavuz, karton ve kapak köpüğü yerleştirme	17,18	R
20	Kablo Bağlama ve Etiketleme	19	L
21	Temizlik	20	R

Görevler ve öncelik ilişkileri belirlendikten sonra modelin öncelik diyagramı oluşturulmuştur. Modele ait öncelik diyagramı Şekil 6.2. ' de görülmektedir.



Şekil 6.2. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın öncelik diyagramı

Çizelge 6.3. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın zaman etütleri

ZAMAN ETÜDÜ ÖLÇÜM FORMU

ÜRÜN : 13550-ETV6360-TDG		ÖLÇÜMLER (SN)					TOPLAM SÜRE	ORTALAMA SÜRE	TEMPO	NORMAL ZAMAN	PAYLAR TOPLAMI	STANDART ZAMAN	STANDART SAPMA
NO	OPERASYON ADI	1	2	3	4	5							
1	Alt Taban- Arasacı montajı	36	33	35	32	36	172	34	0,9	30,6	3,4	34	1,62
2	Menteşe- şase direk montajı	38	38	33	36	34	179	36	0,95	34,2	3,6	37,8	2,04
3	Yan Duvar montajı	70	65	78	80	69	362	72	0,9	64,8	7,2	72	5,68
4	Buharlık ve dekor montajı	53	52	55	55	52	267	53	1	53	5,3	58,3	1,36
5	Limit kulak montajı	68	73	69	70	72	352	70	0,9	63	7	70	1,85
6	İç Panel montajı	65	62	59	69	66	321	64	0,9	57,6	6,4	64	3,43
7	Elektrik bağlantısı	34	31	38	42	40	185	37	0,9	33,3	3,7	37	4
8	Dış Panel Montajı	72	65	71	74	72	354	71	0,9	63,9	7,1	71	3,06
9	Bağlantı Kablosu Toplama	74	69	75	73	70	361	72	0,9	64,8	7,2	72	2,32
10	Dekor Montajı ve Ayarı	74	70	71	82	76	373	75	0,85	63,75	7,5	71,25	4,27
11	Cam kapak takma	32	34	31	30	31	158	32	1	32	3,2	35,2	1,36
12	Arka Kapak Montajı	44	40	48	52	45	229	46	0,95	43,7	4,6	48,3	4,02
13	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	68	57	59	63	69	316	63	0,8	50,4	6,3	56,7	4,75
14	Üst Kapak Montajı	68	74	65	75	70	352	70	0,9	63	7	70	3,72
15	Kademe Kapak Montajı	76	70	71	72	70	359	72	0,9	64,8	7,2	72	2,23
16	Tepsi , Izgara Yerleştirme	40	43	35	38	46	202	40	0,9	36	4	40	3,83
17	Fiziksel Kontrol	35	34	30	38	29	166	33	0,9	29,7	3,3	33	3,31
18	Elektriksel Kontrol	53	65	56	60	62	296	59	0,9	53,1	5,9	59	4,26
19	Kılavuz, karton ve kapak kopüğü yerleştirme	62	53	56	65	52	288	58	0,8	46,4	5,8	52,2	5,08
20	Kablo Bağlama ve Etiketleme	26	28	31	24	26	135	27	0,9	24,3	2,7	27	2,37
21	Temizlik	25	24	20	22	24	115	23	0,9	20,7	2,3	23	1,79

Zaman etüdü çalışmasında her bir görev için kronometre ile 5 adet ölçüm alınmış, bu ölçümlerin ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Ortalama değerlere çalışma temposu ve tolerans yüzdesi de eklenerek standart süreler bulunmuştur.

Konum ağırlıkları hesaplandıktan sonra konum ağırlıkları azalan şekilde sıralanır. Çizelge 6.5.' te konum ağırlıklarının sıralaması sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Düz açılır turbo fanlı ankastre modeli için sıralanmış konum ağırlıkları

İş Ögesi	Std. Süre	Konum Ağırlığı	İş Tanımı	Çalışma Yönü	Öncülü
2	37,8	1069,75	Menteşe- şase direk montajı	R	-
1	34	1065,95	Alt Taban- Arasacı montajı	R	-
3	72	1031,95	Yan Duvar montajı	R, L	1,2
5	70	901,65	Limit kulak montajı	L	3
7	37	767,65	Elektrik bağlantısı	L	5
9	72	480,2	Bağlantı Kablosu Toplama	L	7
4	58,3	474,95	Buharlık ve dekor montajı	R	3
6	64	416,65	İç Panel montajı	R	4,5
12	48,3	408,2	Arka Kapak Montajı	L	9
13	56,7	359,9	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	L	12
8	71	352,65	Dış Panel Montajı	R	6,7
14	70	303,2	Üst Kapak Montajı	R	13
10	71,25	281,65	Dekor Montajı ve Ayarı	R	8
15	72	233,2	Kademe Kapak Montajı	L	14
11	35,2	210,4	Cam kapak takma	R	10
16	40	175,2	Tepsi, Izgara Yerleştirme	R	11
18	59	161,2	Elektriksel Kontrol	L	15
17	33	135,2	Fiziksel Kontrol	R	16
19	52,2	102,2	Kılavuz, karton ve kapak köpüğü yerleştirme	R	17,18
20	27	50	Kablo Bağlama ve Etiketleme	L	19
21	23	23	Temizlik	R	20

Montaj hattı çift taraflı olduğu için çalışma yönü kısıtı da göz önünde bulundurularak görevlerin istasyonlara ataması yapılmıştır. Öncelik kısıtları doğrultusunda aynı istasyona atanan karşılıklı yapılan işlemler olmuştur. Bu paralel işlemlerde görev süreleri toplanmamış, işlem süresi büyük olanın süresi dikkate alınmıştır. Bunun nedeni işlemler aynı anda karşılıklı işçiler tarafından yapıldığı için uzun işlem süreli görev bittiğinde, daha kısa işlem süreli görevin zaten tamamlanmış olmasıdır. Çizelge 6.6.' da düz açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları

İstasyon	İş Ögesi	Konum Ağırlığı	Öncül	İşlem süresi	Birikimli İşlem süresi	Atıl Süre	Çalışma Yönü
1	2	1071,55	-	37,8			R
	1	1065,95	-	34	71,8	0,93	R
2	3	1031,95	1,2	72	72	0,73	R,L
3	5	901,65	3	70			L
	4	474,95	3	58,3	70	2,73	R
4	7	767,65	5	37			L
	6	416,65	4,5	64	64	8,73	R
5	9	480,2	7	72			L
	8	352,65	6,7	71	72	0,73	R
6	12	408,2	9	48,3			L
	10	281,65	8	71,25	71,25	1,48	R
7	13	359,9	12	56,7			L
	11	210,4	10	35,2	56,7	16,03	R
8	14	303,2	13	70	70	2,73	R
9	15	233,2	14	72			L
	16	175,2	11	40	72	0,73	R
10	18	161,2	15	59			L
	17	135,2	16	33	59	13,73	R
11	19	102,2	17,18	52,2	52,2	20,53	R
12	20	50	19	27			L
	21	23	20	23	50	22,73	R

1. istasyona konum ağırlığı en büyük olan 2 numaralı iş ögesinden başlanarak atama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında çevrim süresinden kalan zamana göre sıradaki en büyük konum ağırlığına sahip olan 1 numaralı iş ögesi de ilk istasyona atanmıştır. Bundan sonraki istasyonlarda çalışma yönü dikkate alınarak çevrim süresini aşmayacak şekilde iş ögeleri istasyonlara atanmıştır.

Montaj hattı n =12 istasyonda dengelenmiştir. Daha önce minimum istasyon sayısı 17 olarak hesaplanmıştı, ancak bu hattın tek taraflı olması durumunda geçerli olmaktadır. Çift taraflı montaj hatlarında aynı iş parçasının iki operatör tarafından eş zamanlı montaj operasyonlarının yapılması ortaya çıkan boş zamanları azaltmakta ve dolayısıyla istasyon sayısının düşmesine neden olmaktadır.

Hattın denge kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D(\%) = \left[\frac{(n * C - \sum t_i)}{(n * C)} \right] * 100$$

$$D(\%) = (12 * 72,73 - 780,95) / 12 * 72,73 = 10,5$$

Burada $\sum t_i$ hattın çift taraflı dengelenmesi sonrası istasyon süreleri toplamı olarak alınmıştır.

Bu montaj hattı için hat etkinliği ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$HE (\%) = \left[\sum t_i / (n * C) \right] * 100$$

$$HE (\%) = 780,95 / (12 * 72,73) * 100 = 89,5$$

İstasyonların paralel konumlandırılarak hattın dengelenmesi, hattın boyunu kısaltarak istasyon sayısını azaltmış olsa da paralel konumlu istasyonlarda işlem süresi kısa olan işçilerin uzun olan işlem bitene kadar boş beklemeleri fazladan işçilik maliyeti yaratabilmektedir. Bu durumda montaj hattında bir ürün için gerekli olan işçilik ve maliyeti hesapları Çizelge 6.7.' de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın işçilik hesabı

İstasyon	İş ögesi	İstasyon Süresi	Çalışma yönü	İşçi sayısı	İşçilik	İşçilik maliyeti
1	2, 1	71,8	R,R	2	71,8	0,352
2	3	72,0	R,L	2	144,0	0,706
3	5, 4	70,0	L,R	2	140,0	0,686
4	7, 6	64,0	L,R	2	128,0	0,627
5	9, 8	72,0	L,R	2	144,0	0,706
6	12, 10	71,3	L,R	2	142,5	0,698
7	13, 11	56,7	L,R	2	113,4	0,556
8	14	70,0	R	1	70,0	0,343
9	15, 16	72,0	L,R	2	144,0	0,706
10	18, 17	59,0	L,R	2	118,0	0,578
11	19	52,2	R	1	52,2	0,256
12	20, 21	50,0	L,R	2	50,0	0,245
TOPLAM		781,0	-	22	1317,9	6,458

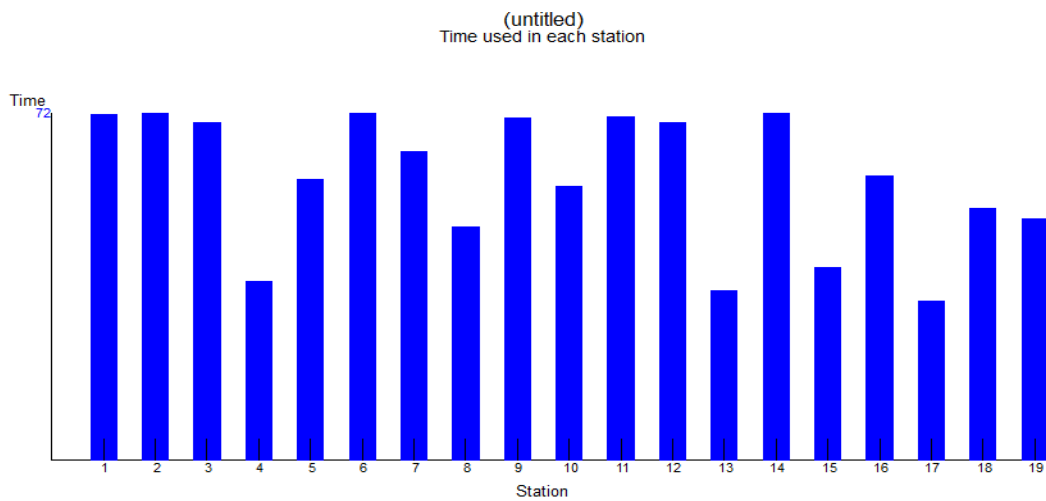
* Aylık çalışan gideri 3500 TL alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

6.5.1.2. Model 1 için hattın düz yerleşime göre dengelenmesi

Düz açılır fanlı ankastre modeli için, görevlerin, hat boyunca dönen tamburlar vasıtasıyla tek tarafta yapıldığı durum için POM for Windows programı yardımıyla hat dengeleme yapılmıştır. Sonuçlar Resim 6.2.' de sunulmuştur.

Line Balancing Results				
(untitled) Solution				
Station	Work element	Time ()	Time left ()	Ready work elements
				1(19), 2(19)
1	1	34	38	2(19)
	2	37,8	,2	3(18)
2	3	72	0	4(9), 5(16)
3	5	70	2	4(9), 7(14)
4	7	37	35	4(9), 9(8)
5	4	58,3	13,7	9(8), 6(8)
6	9	72	0	6(8), 12(7)
7	6	64	8	12(7), 8(7)
8	12	48,3	23,7	8(7), 13(6)
9	8	71	1	13(6), 10(6)
10	13	56,7	15,3	10(6), 14(5)
11	10	71,25	,75	14(5), 11(5)
12	14	70	2	11(5), 15(4)
13	11	35,2	36,8	15(4), 16(4)
14	15	72	0	16(4), 18(3)
15	16	40	32	18(3), 17(3)
16	18	59	13	17(3)
17	17	33	39	19(2)
18	19	52,2	19,8	20(1)
19	20	27	45	21(0)
	21	23	22	
Summary Statistics				
Cycle time	72			
Min (theoretical) # of stations	16			
Actual # of stations	19			
Time allocated (cycle time * # stations)	1368	/cycle		
Time needed (sum of task times)	1103,75	/unit		
Idle time (allocated-needed)	264,25	/cycle		
Efficiency (needed/allocated)	80,68%			
Balance Delay (1-efficiency)	19,32%			

Resim 6.2. Model 1 için düz yerleşime göre POM for Windows hat dengeleme sonuçları



Şekil 6.3. Model 1 için düz yerleşimli hat dengesinde istasyonların iş yükü dağılımı

Sonuçlara bakıldığında, hat 19 istasyonda dengelenmiş olup hattın verimliliği % 80,68 çıkmıştır. Bu sonuçlara göre yapılan işçilik ve maliyet hesaplaması Çizelge 6.8.’ de sunulmuştur.

Çizelge 6.8. Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın için düz yerleşimli hat dengeleme işçilik maliyetleri

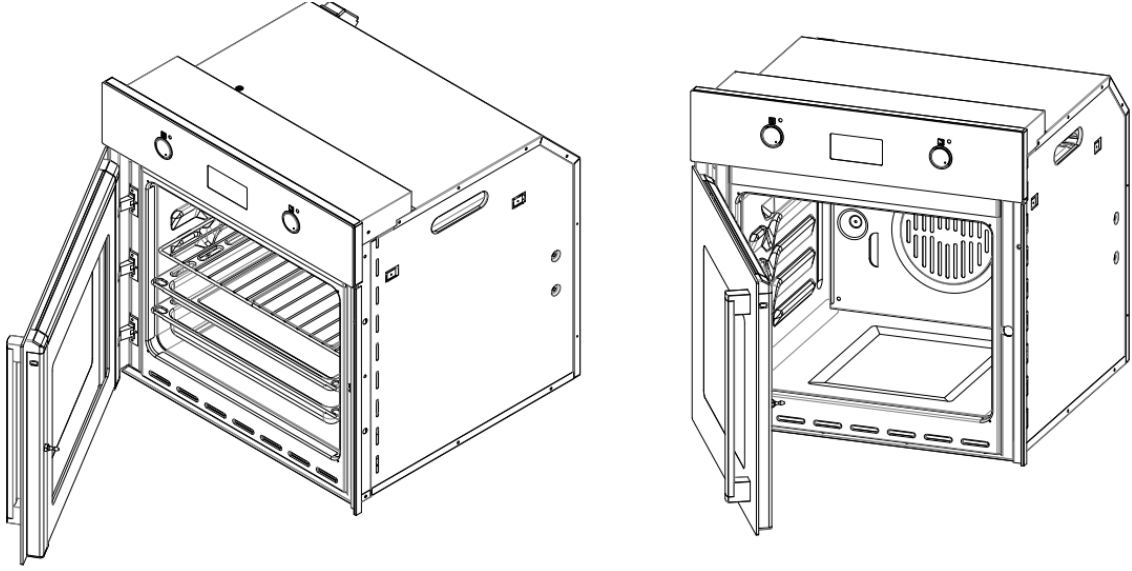
İstasyon	İş ögesi	İstasyon Süresi	İşçi sayısı	İşçilik	İşçilik maliyeti
1	1,2	71,8	2	71,8	0,352
2	3	72,0	2	144,0	0,706
3	5	70,0	1	70,0	0,343
4	7	37,0	1	37,0	0,181
5	4	58,3	1	58,3	0,286
6	9	72,0	1	72,0	0,353
7	6	64,0	1	64,0	0,314
8	12	48,3	1	48,3	0,237
9	8	71,0	1	71,0	0,348
10	13	56,7	1	56,7	0,278
11	10	71,3	1	71,3	0,349
12	14	70,0	1	70,0	0,343
13	11	35,2	1	35,2	0,172
14	15	72,0	1	72,0	0,353
15	16	40,0	1	40,0	0,196
16	18	59,0	1	59,0	0,289
17	17	33,0	1	33,0	0,162
18	19	52,2	1	52,2	0,256
19	20,21	50,0	2	50,0	0,245
TOPLAM		1103,8	22	1175,8	5,761

İki yöntemin sonuçları karşılaştırıldığında; her iki durumda da ihtiyaç duyulan çalışan sayısı eşit olup 22’ dir. Montaj hattının çift yönlü denge durumunda ürün başına 6,46 TL olan işçilik maliyeti, tek yönlü dengelenmesi sonucunda 5,76 TL’ ye düşmüştür. Ancak ilk yöntemde % 89,5 olan hat verimliliği ikinci yöntemde %80,68’ e düşmüştür. Ayrıca istasyon sayısının 12 iken 19’ a yükselmiştir, hattın boyu uzamıştır. Bu da bir ürünün hatta girişi ve çıkışı arasında geçen toplam süreyi uzatmıştır.

6.5.2. Model 2: 13530 –Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları

6.5.2.1. Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi sonuçları

Şekil 6.4.’ te teknik resmi verilmiş olan yana açılır turbo fanlı ankastre fırın 21 iş ögesine sahiptir. Bu modele ait görev ve öncelik ilişkileri Çizelge 6.9.’ da, zaman etütleri Ek-4’ te sunulmuştur.



Şekil 6.4. Yana açılır turbo fanlı ankastré fırın

Çizelge 6.9. Yana açılır turbo fanlı ankastré fırın montaj hattı görevleri ve öncelik ilişkileri

İş Elemanı No	Görev Tanımı	Öncelik İlişkisi	Çalışma Yönü
1	Alt Taban- Arasacı montajı	-	R
2	Yan duvar elektrik bağlantı	-	R
3	Yan duvar montajı	1,2	R, L
4	Dekor/ buharlık montajı	3	R
5	Limit kulak montajı	2	L
6	İç Panel montajı	4	R
7	Elektrik bağlantısı	5	L
8	Kablo termostat montajı	6,7	R
9	Cam takma	4	R
10	Bağlantı Kablosu Toplama	8	L
11	Panel / cam ayarı	6, 9	R
12	Arka Kapak Montajı	10	L
13	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	12	L
14	Üst Kapak Montajı	13	R
15	Kademe Kapak Montajı	14	L
16	Dekor Montajı ve Ayarı	11	R
17	Tepsi, Izgara Yerleştirme	16	R
18	Elektriksel Kontrol	15	L
19	Fiziksel Kontrol	17	R
20	Temizlik	18,19	R
21	Kablo Bağlama ve Etiketleme	20	L

Görevler ve öncelik ilişkileri belirlendikten sonra modelin öncelik diyagramı oluşturulmuştur. Modele ait öncelik diyagramı Şekil 6.5.' te görülmektedir.

Konum ağırlıkları hesaplandıktan sonra konum ağırlıkları azalan şekilde sıralanır. Çizelge 6.11.' de konum ağırlıklarının sıralaması sunulmuştur.

Çizelge 6.11. Yana açılır turbo fanlı ankastre modeli için sıralanmış konum ağırlıkları

İş Ögesi	Std. Süre	Konum Ağırlığı	İş Tanımı	Çalışma yönü	Öncülü
2	57	1143,2	Yan duvar elektrik bağlantı	R	-
1	42,75	1017,35	Alt Taban- Arasacı montajı	R	-
3	68	974,6	Yan duvar montajı	R, L	1,2
4	57,2	906,6	Dekor/ buharlık montajı	R	3
6	70,2	777,4	İç Panel montajı	R	4
5	72	619,2	Limit kulak montajı	L	2
7	39,6	547,2	Elektrik bağlantısı	L	5
8	70	507,6	Kablo termostat montajı	R	6,7
9	72	469,85	Cam takma	R	4
10	71,25	437,6	Bağlantı Kablosu Toplama	L	8
12	56,7	366,35	Arka Kapak Montajı	L	10
13	55,65	309,65	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	L	12
11	71,4	269,6	Panel / cam ayarı	R	6,9
14	72	254	Üst Kapak Montajı	R	13
16	62,7	198,2	Dekor Montajı ve Ayarı	R	11
15	52	182	Kademe Kapak Montajı	L	14
17	34	135,5	Tepsi, Izgara Yerleştirme	R	16
18	60	130	Elektriksel Kontrol	L	15
19	31,5	101,5	Fiziksel Kontrol	R	17
20	49	70	Temizlik	R	18,19
21	21	21	Kablo Bağlama ve Etiketleme	L	20

Çalışma yönü kısıtı da göz önünde bulundurularak görevlerin istasyonlara ataması yapılmıştır. Çizelge 6.12 ' de yana açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 6.12. Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları

İstasyon	İş Ögesi	Konum Ağırlığı	Öncül	İşlem süresi	Birikimli İşlem süresi	Atıl Süre	Çalışma Yönü
1	2	1143,2	-	57	57	15,73	R
2	1	1017,35	-	42,75			R
	5	619,2	2	72	72	0,73	L
3	3	974,6	1,2	68	68	4,73	R,L
4	4	906,6	3	57,2			R
	7	547,2	5	39,6	57,2	15,53	L
5	6	777,4	4	70,2	70,2	2,53	R
6	8	507,6	6,7	70	70	2,73	R
7	9	469,85	4	72			R
	10	437,6	8	71,25	72	0,73	L
8	12	366,35	10	56,7			L
	11	269,6	6,9	71,4	71,4	1,33	R
9	13	309,65	12	55,65			L
	16	198,2	11	62,7	62,7	10,03	R
10	14	254	13	72	72	0,73	R
11	15	182	14	52			L
	17	135,5	16	34			R
	19	101,5	17	31,5	65,5	7,23	R
12	18	130	15	60	60	12,73	L
13	20	70	18,19	49			R
	21	21	20	21	70	2,73	L

Montaj hattı n =13 istasyonda dengelenmiştir. Hattın denge kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D(\%) = \left[\frac{(n * C - \sum t_i)}{(n * C)} \right] * 100$$

$$D(\%) = (13 * 72,73 - 868) / 13 * 72,73 = 8,2$$

Burada $\sum t_i$ hattın çift taraflı dengelenmesi sonrası istasyon süreleri toplamı olarak alınmıştır.

Bu montaj hattı için hat etkinliği ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$HE (\%) = \left[\sum t_i / (n * C) \right] * 100$$

$$HE (\%) = 868 / (13 * 72,73) * 100 = 91,8$$

Görevlerin istasyonlara paralel atandığı hat dengesinde bir ürün için gerekli olan işçilik ve maliyeti hesapları Çizelge 6.13. 'te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın işçilik hesabı

İstasyon	İş ögesi	İstasyon Süresi	Çalışma Yönü	İşçi sayısı	İşçilik	İşçilik maliyeti
1	2	57,0	R	1	57,0	0,279
2	1, 5	72,0	R, L	2	144,0	0,706
3	3	68,0	R, L	2	136,0	0,666
4	4, 7	57,2	R, L	2	114,4	0,561
5	6	70,2	R	1	70,2	0,344
6	8	70,0	R	1	70,0	0,343
7	9, 10	72,0	R, L	2	144,0	0,706
8	12, 11	71,4	L, R	2	142,8	0,700
9	13, 16	62,7	L, R	2	125,4	0,614
10	14	72,0	R	1	72,0	0,353
11	15, 17, 19	65,5	L, R, R	2	131,0	0,642
12	18	60,0	L	1	60,0	0,294
13	20, 21	70,0	R, L	2	140,0	0,686
TOPLAM		868,0	-	21	1406,8	6,207

6.5.2.2. Model 2 için hattın düz yerleşime göre dengelenmesi

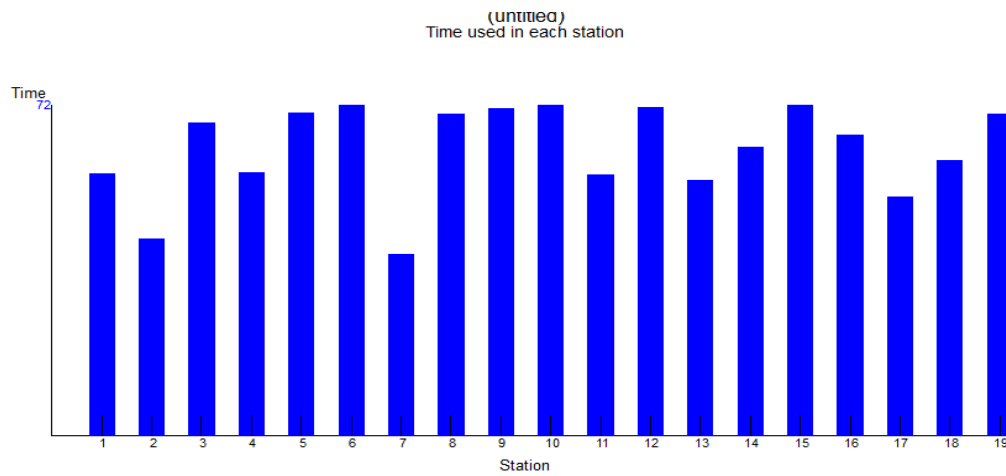
Yana açılır fanlı ankastre modeli için, görevlerin, hat boyunca dönen tamburlar vasıtasıyla tek tarafta yapıldığı durum için POM for Windows programı yardımıyla hat dengeleme yapılmıştır. Sonuçlar Resim 6.3. ' te sunulmuştur.

Station	Work element	Time (seconds)	Time left (seconds)	Ready work elements
				1(17), 2(19)
1	2	57	15	1(17), 5(10)
2	1	42,75	29,25	5(10), 3(16)
3	3	68	4	5(10), 4(15)
4	4	57,2	14,8	5(10), 6(13), 9(6)
5	6	70,2	1,8	5(10), 9(6)
6	5	72	0	9(6), 7(9)
7	7	39,6	32,4	9(6), 8(8)
8	8	70	2	9(6), 10(7)
9	10	71,25	,75	9(6), 12(6)
10	9	72	0	12(6), 11(5)
11	12	56,7	15,3	11(5), 13(5)
12	11	71,4	,6	13(5), 16(4)
13	13	55,65	16,35	16(4), 14(4)
14	16	62,7	9,3	14(4), 17(3)
15	14	72	0	17(3), 15(3)
16	17	34	38	15(3), 19(2)
	19	31,5	6,5	15(3)
17	15	52	20	18(2)
18	18	60	12	20(1)
19	20	49	23	21(0)
	21	21	2	

Summary Statistics

Cycle time	72	seconds	
Min (theoretical) # of stations	17		
Actual # of stations	19		
Time allocated (cycle time * # stations)	1368	seconds/cycle	
Time needed (sum of task times)	1185,95	seconds/unit	
Idle time (allocated-needed)	182,05	seconds/cycle	
Efficiency (needed/allocated)	86,69%		
Balance Delay (1-efficiency)	13,31%		

Resim 6.3. Model 2 için düz yerleşime göre POM for Windows hat dengeleme sonuçları



Şekil 6.6. Model 2 için düz yerleşimli hat dengesinde istasyonların iş yükü dağılımı

Sonuçlar değerlendirildiğinde, hat 19 istasyonda dengelenmiş olup hattın verimliliği % 86,69 çıkmıştır. Bu sonuçlara göre yapılan işçilik ve maliyet hesaplaması Çizelge 6.14.' te sunulmuştur.

Çizelge 6.14. Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın için düz yerleşimli hat dengeleme işçilik maliyetleri

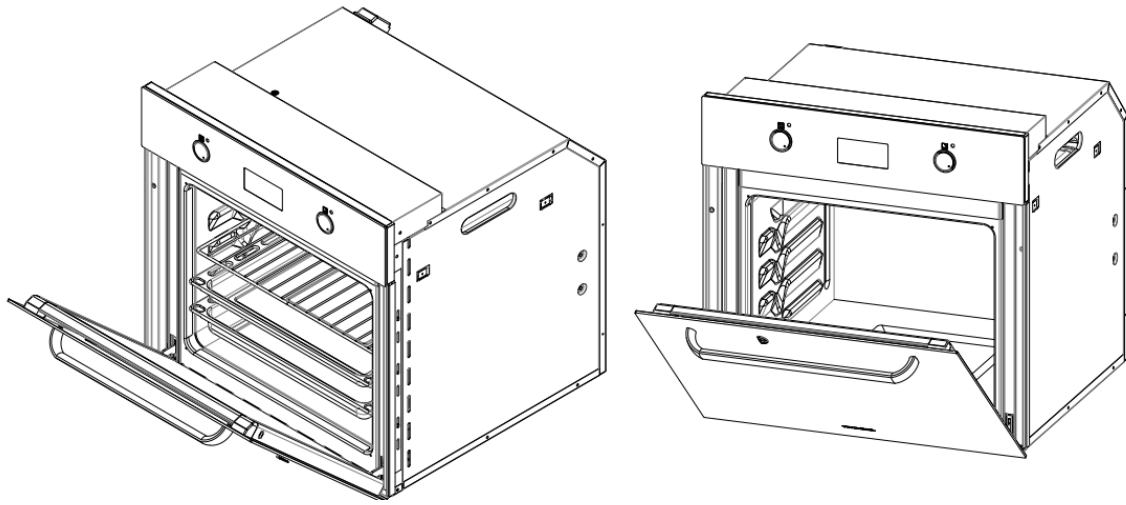
İstasyon	İş ögesi	İstasyon Süresi	İşçi sayısı	İşçilik	İşçilik maliyeti
1	2	57,0	1	57,0	0,279
2	1	42,8	1	42,8	0,209
3	3	68,0	2	136,0	0,666
4	4	57,2	1	57,2	0,280
5	6	70,2	1	70,2	0,344
6	5	72,0	1	72,0	0,353
7	7	39,6	1	39,6	0,194
8	8	70,0	1	70,0	0,343
9	10	71,3	1	71,3	0,349
10	9	72,0	1	72,0	0,353
11	12	56,7	1	56,7	0,278
12	11	71,4	1	71,4	0,350
13	13	55,7	1	55,7	0,273
14	16	62,7	1	62,7	0,307
15	14	72,0	1	72,0	0,353
16	17, 19	65,5	2	131,0	0,642
17	15	52,0	1	52,0	0,255
18	18	60,0	1	60,0	0,294
19	20, 21	70,0	2	140,0	0,686
TOPLAM		1186,0	22	1389,5	6,808

İki yöntemin sonuçları karşılaştırıldığında; görevlerin tamamlanması için paralel yerleşimde 21 çalışan gerekli iken düz yerleşimde 22 çalışan gerekmektedir. Bu da doğal olarak işçilik maliyetini artırmıştır. Montaj hattının çift yönlü dengesi durumunda ürün başına 6,2 TL olan işçilik maliyeti, tek yönlü dengelenmesi sonucunda 6,8 TL' ye yükselmiştir. Ayrıca ilk yöntemde % 91,8 olan hat verimliliği ikinci yöntemde %86,7' ye düşmüştür. Gerekli istasyon sayısı 13 iken 19' a yükselmiştir, hattın boyu uzamıştır. Bu da bir ürünün montaj hattına girişi ve çıkışı arasında geçen toplam süreyi uzatmıştır.

6.5.3. Model 3: 13551 - Düz açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları

6.5.3.1. Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi sonuçları

Şekil 6.7.' de teknik resmi verilmiş olan düz açılır fansız ankastre fırın 22 iş ögesine sahiptir. Bu modele ait görev ve öncelik ilişkileri Çizelge 6.15. 'te, zaman etütleri Ek- 5' te sunulmuştur.



Şekil 6.7. Düz açılır fansız ankastre fırın

Çizelge 6.15. Düz açılır fansız ankastre modeli için görevler ve öncelik ilişkileri

İş Elemanı No	Görev Tanımı	Öncelik İlişkisi	Çalışma Yönü
1	Alt Taban- Arasacı montajı	-	R
2	Menteşe-şase direk montajı	-	R
3	Yan duvar montajı	1,2	R, L
4	Dekor/ buharlık montajı	3	R
5	Limit kulak montajı	3	L
6	İç panel hazırlık	-	R
7	İç Panel montajı	4,5,6	R
8	Elektrik bağlantısı	5	L
9	Dış panel montajı	7,8	R
10	Bağlantı Kablosu Toplama	8	L
11	Cam kapak takma	7	R
12	Cam panel ayarı	11	R
13	Arka Kapak Montajı	10	L
14	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	13	L
15	Üst Kapak Montajı	14	R
16	Kademe Kapak Montajı	15	L
17	Dekor Montajı ve Ayarı	9,12	R
18	Tepsi, Izgara Yerleştirme	17	R
19	Elektriksel Kontrol	16	L
20	Fiziksel Kontrol	18	R
21	Temizlik	19,20	R
22	Kablo Bağlama ve Etiketleme	21	L

Görevler ve öncelik ilişkileri belirlendikten sonra modelin öncelik diyagramı oluşturulmuştur. Modele ait öncelik diyagramı Şekil 6.8.' de görülmektedir.

Konum ağırlıkları hesaplandıktan sonra konum ağırlıkları azalan şekilde sıralanır. Çizelge 6.17.' de konum ağırlıklarının sıralaması sunulmuştur.

Çizelge 6.17. Düz açılır fansız ankastre modeli için sıralanmış konum ağırlıkları

İş Ögesi	Std. Süre	Konum Ağırlığı	İş Tanımı	Çalışma Yönü	Öncülü
1	42,75	939,35	Alt Taban- Arasacı montajı	R	-
2	29	925,6	Menteşe-şase direk montajı	R	
3	46,55	896,6	Yan duvar montajı	R, L	1, 2
8	72	570,45	Elektrik bağlantısı	L	5
5	58	496,6	Limit kulak montajı	L	3
4	54,6	441,2	Dekor/ buharlık montajı	R	3
6	23,1	409,7	İç panel hazırlık	R	-
7	36	386,6	İç Panel montajı	R	4, 5, 6
10	42	322,95	Bağlantı Kablosu Toplama	L	8
11	72	283,6	Cam kapak takma	R	7
13	59,4	280,95	Arka Kapak Montajı	L	10
14	39	221,55	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	L	13
9	67	219,6	Dış panel montajı	R	7, 8
12	59	211,6	Cam panel ayarı	R	11
15	45	182,55	Üst Kapak Montajı	R	14
17	47,5	152,6	Dekor Montajı ve Ayarı	R	9, 12
16	59,85	137,55	Kademe Kapak Montajı	L	15
18	26	105,1	Tepsi, Izgara Yerleştirme	R	17
20	35	79,1	Fiziksel Kontrol	R	18
19	33,6	77,7	Elektriksel Kontrol	L	16
21	25,2	44,1	Temizlik	R	19, 20
22	18,9	18,9	Kablo Bağlama ve Etiketleme	L	21

Çalışma yönü kısıtı da göz önünde bulundurularak konum ağırlıklarına göre görevlerin istasyonlara ataması yapılmıştır. Çizelge 6.18 ' de düz açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 6.18. Düz açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları

İstasyon	İş Ögesi	Konum Ağırlığı	Öncül	İşlem süresi	Birikimli İşlem süresi	Atıl Süre	Çalışma Yönü
1	1	939,35	-	42,75			R
	2	925,6	-	29	71,75	0,98	R
2	3	896,6	1, 2	46,55	46,55	26,18	R, L
3	8	570,45	5	72			L
	4	441,2	3	54,6	72	0,73	R
4	5	496,6	3	58			L
	6	409,7	-	23,1	58	14,73	R
5	7	386,6	4, 5, 6	36			R
	10	322,95	8	42	42	30,73	L
6	11	283,6	7	72			R
	13	280,95	10	59,4	72	0,73	L
7	14	221,55	13	39			L
	9	219,6	7, 8	67	67	5,73	R
8	12	211,6	11	59	59	13,73	R
9	15	182,55	14	45	45	27,73	R
10	17	152,6	9, 12	47,5			R
	16	137,55	15	59,85	59,85	12,88	L
11	18	105,1	17	26			R
	20	79,1	18	35			R
	19	77,7	16	33,6	61	11,73	L
12	21	44,1	19, 20	25,2			R
	22	18,9	21	18,9	44,1	28,63	L

Montaj hattı n =12 istasyonda dengelenmiştir. Hattın denge kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D(\%) = \left[\frac{(n * C - \sum t_i)}{(n * C)} \right] * 100$$

$$D(\%) = (12 * 72,73 - 698,25) / 12 * 72,73 = 20$$

Burada $\sum t_i$ hattın çift taraflı dengelenmesi sonrası istasyon süreleri toplamı olarak alınmıştır.

Bu montaj hattı için hat etkinliği ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$HE (\%) = \left[\sum t_i / (n * C) \right] * 100$$

$$HE (\%) = 698,25 / (12 * 72,73) * 100 = 80$$

Bu durumda montaj hattında bir ürün için gerekli olan işçilik ve maliyeti hesapları Çizelge 6.19. 'da verilmiştir.

Çizelge 6.19. Düz açılır fansız ankastre fırın işçilik hesabı

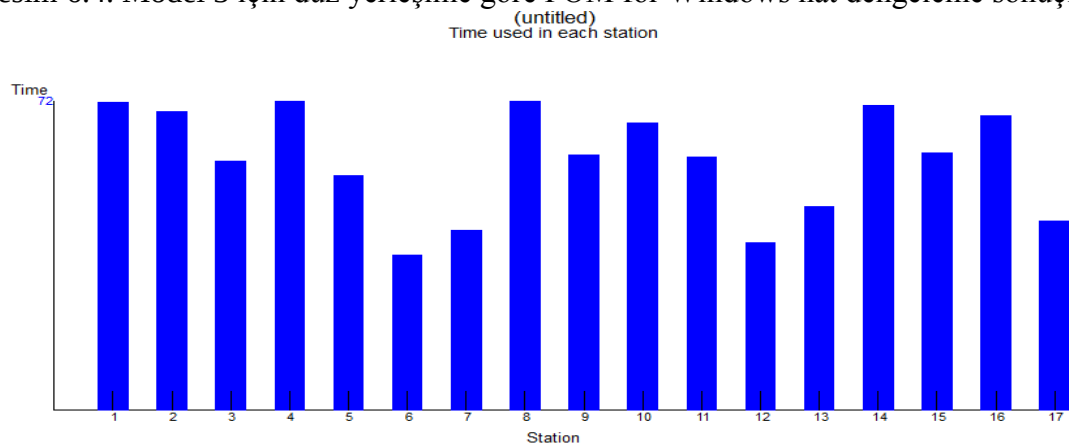
İstasyon	İş ögesi	İstasyon Süresi	Çalışma Yönü	İşçi sayısı	İşçilik	İşçilik maliyeti
1	1,2	71,8	R,R	2	143,5	0,703
2	3	46,6	R,L	2	93,1	0,456
3	8,4	72,0	L,R	2	144,0	0,706
4	5,6	58,0	L,R	2	116,0	0,568
5	7, 10	42,0	R,L	2	84,0	0,412
6	11, 13	72,0	R,L	2	144,0	0,706
7	14, 9	67,0	L,R	2	134,0	0,657
8	12	59,0	R	1	59,0	0,289
9	15	45,0	R	1	45,0	0,221
10	17,16	59,9	R,L	2	119,7	0,587
11	18, 20, 19	61,0	R,R,L	2	122,0	0,598
12	21,22	44,0	R,L	2	88,0	0,431
TOPLAM		698,2	-	22	1292,3	6,332

6.5.3.2. Model 3 için hattın düz yerleşime göre dengelenmesi

Düz açılır fansız ankastre modeli için, görevlerin, hat boyunca dönen tamburlar vasıtasıyla tek tarafta yapıldığı durum için POM for Windows programı yardımıyla hat dengeleme yapılmıştır. Sonuçlar Resim 6.4.' te sunulmuştur.

Line Balancing Results				
(untitled) Solution				
Station	Work element	Time (seconds)	Time left (seconds)	Ready work elements
				1(19), 2(19),
1	1	42,75	29,25	2(19), 6(9)
	2	29	,25	6(9), 3(18)
2	3	46,55	25,45	6(9), 4(9),
	6	23,1	2,35	4(9), 5(16)
3	5	58	14	4(9), 8(12)
4	8	72	0	4(9), 10(7)
5	4	54,6	17,4	10(7), 7(8)
6	7	36	36	10(7), 9(5),
7	10	42	30	9(5), 11(6),
8	11	72	0	9(5), 13(6),
9	13	59,4	12,6	9(5), 12(5),
10	9	67	5	12(5), 14(5)
11	12	59	13	14(5), 17(4)
12	14	39	33	17(4), 15(4)
13	17	47,5	24,5	15(4), 18(3)
14	15	45	27	18(3), 16(3)
	18	26	1	16(3), 20(2)
15	16	59,85	12,15	20(2), 19(2)
16	20	35	37	19(2)
	19	33,6	3,4	21(1)
17	21	25,2	46,8	22(0)
	22	18,9	27,9	
Summary Statistics				
Cycle time	72	seconds		
Min (theoretical) # of stations	14			
Actual # of stations	17			
Time allocated (cycle time * # stations)	1224	seconds/cycle		
Time needed (sum of task times)	991,45	seconds/unit		
Idle time (allocated-needed)	232,55	seconds/cycle		
Efficiency (needed/allocated)	81%			
Balance Delay (1-efficiency)	19%			

Resim 6.4. Model 3 için düz yerleşime göre POM for Windows hat dengeleme sonuçları



Şekil 6.9. Model 3 için düz yerleşimli hat dengesinde istasyonların iş yükü dağılımı

Sonuçlar değerlendirildiğinde, hat 17 istasyonda dengelenmiş olup hattın verimliliği % 81 çıkmıştır. Bu sonuçlara göre yapılan işçilik ve maliyet hesaplaması Çizelge 6.20.' de sunulmuştur.

Çizelge 6.20. Düz açılır fansız ankastre fırın için düz yerleşimli hat dengeleme işçilik maliyetleri

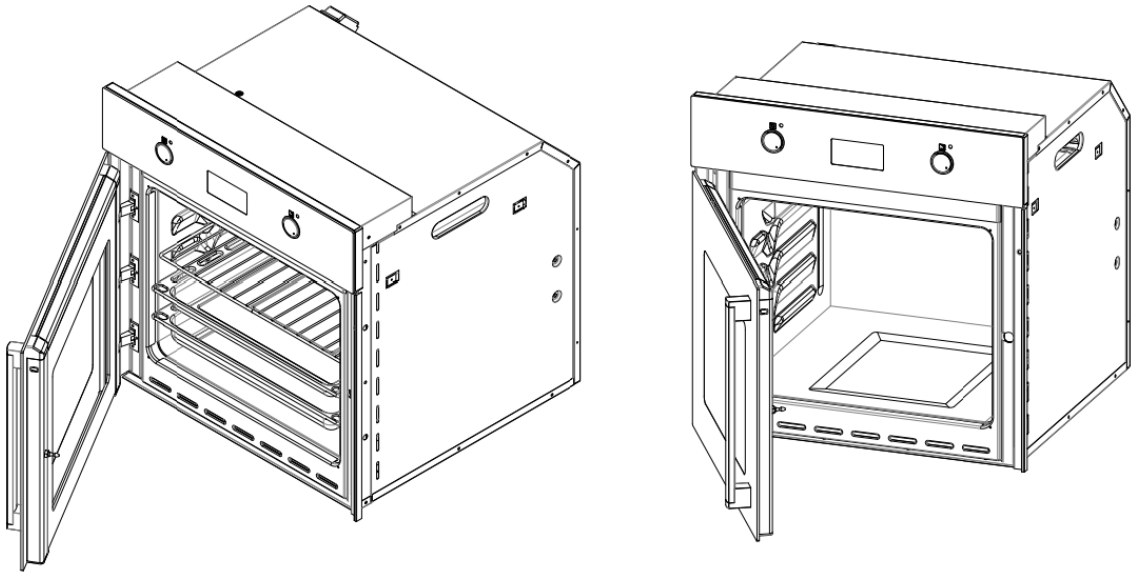
İstasyon	İş ögesi	İstasyon Süresi	İşçi sayısı	İşçilik	İşçilik maliyeti
1	1,2	71,8	2	143,5	0,703
2	3,6	69,7	2	139,3	0,683
3	5	58,0	1	58,0	0,284
4	8	72,0	1	72,0	0,353
5	4	54,6	1	54,6	0,268
6	7	36,0	1	36,0	0,176
7	10	42,0	1	42,0	0,206
8	11	72,0	1	72,0	0,353
9	13	59,4	1	59,4	0,291
10	9	67,0	1	67,0	0,328
11	12	59,0	1	59,0	0,289
12	14	39,0	1	39,0	0,191
13	17	47,5	1	47,5	0,233
14	15,18	71,0	2	142,0	0,696
15	16	59,9	1	59,9	0,293
16	20,19	68,6	2	137,2	0,672
17	21,22	44,1	2	88,2	0,432
TOPLAM		991,5	22	1316,6	6,451

İki yöntemin sonuçları karşılaştırıldığında; görevlerin tamamlanması için her iki yerleşimde de 22 çalışan gerekmektedir. Montaj hattının çift yönlü dengesi durumunda ürün başına 6,33 TL olan işçilik maliyeti, tek yönlü dengelenmesi sonucunda 6,45 TL' ye yükselmiştir. İlk yöntemde % 80 olan hat verimliliği ikinci yöntemde %81'e çıkmıştır. Gerekli İstasyon sayısı ise 12 iken 17' ye yükselmiştir, hattın boyu uzamıştır. Bu da bir ürünün montaj hattına girişi ve çıkışı arasında geçen toplam süreyi uzatmıştır.

6.5.4. Model 4: 13555 - Yan açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları

6.5.4.1. Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi sonuçları

Şekil 6.10.' da teknik resmi verilmiş olan yan açılır fansız ankastre fırın 20 iş ögesine sahiptir. Bu modele ait görev ve öncelik ilişkileri Çizelge 6.21. 'de, zaman etütleri ise Ek-6' da sunulmuştur.

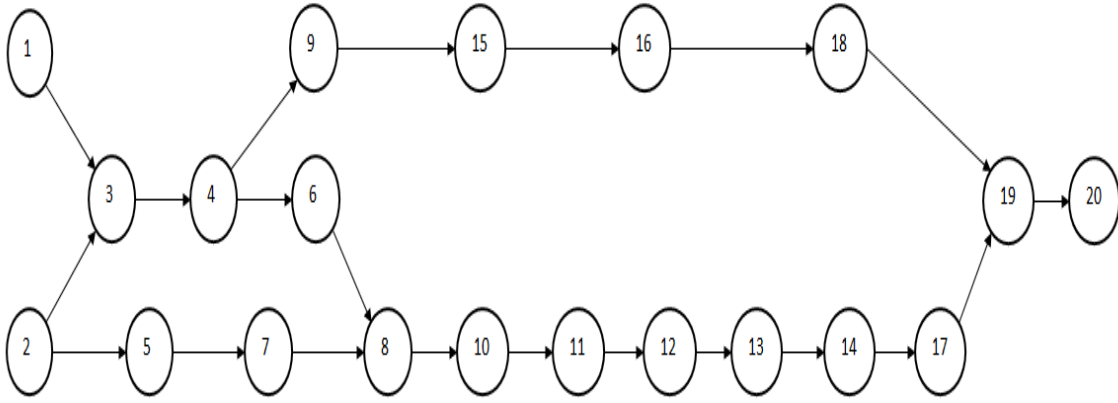


Şekil 6.10. Yan açılır fansız ankastré fırın

Çizelge 6.21. Düz açılır fansız ankastré modeli için görevler ve öncelik ilişkileri

İş Elemanı No	Görev Tanımı	Öncelik İlişkisi	Çalışma Yönü
1	Alt Taban- Arasacı montajı	-	R
2	Yan duvar elektrik bağlantı	-	R
3	Yan duvar montajı	1,2	R, L
4	Dekor/ buharlık montajı	3	R
5	Limit kulak montajı	2	L
6	İç Panel montajı	4	R
7	Elektrik bağlantısı	5	L
8	Kablo, termostat montajı	6,7	R
9	Cam kapak takma	4	R
10	Bağlantı Kablosu Toplama	8	L
11	Arka Kapak Montajı	10	L
12	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	11	L
13	Üst Kapak Montajı	12	R
14	Kademe Kapak Montajı	13	L
15	Dekor Montajı ve Ayarı	9	R
16	Tepsi, Izgara Yerleştirme	15	R
17	Elektriksel Kontrol	14	L
18	Fiziksel Kontrol	16	R
19	Temizlik	17,18	R
20	Kablo Bağlama ve Etiketleme	19	L

Görevler ve öncelik ilişkileri belirlendikten sonra modelin öncelik diyagramı oluşturulmuştur. Modele ait öncelik diyagramı Şekil 6.11. ' de görülmektedir.



Şekil 6.11. Yan açılır fansız ankastre fırın öncelik diyagramı

Yan açılır fansız model için hesaplanan konum ağırlıkları Çizelge 6.22' de görülmektedir.

Çizelge 6.22. Yan açılır fansız ankastre modeli için konum ağırlıkları

İş Ögesi	Std. Süre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Konum Ağırlığı
1	65,55	-		1	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	915,5
2	61,75		-	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1040,7
3	70			-	3		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	849,95
4	64				-		4		+	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	779,95
5	59					-		5	+		+	+	+	+	+			+		+	+	579,45
6	72						-		6		+	+	+	+	+			+		+	+	522,45
7	70							-	7		+	+	+	+	+			+		+	+	520,45
8	59,4								-		8	+	+	+	+			+		+	+	450,45
9	32,4									-						9	+		+	+	+	263,5
10	36										-	10	+	+	+			+		+	+	391,05
11	52											-	11	+	+			+		+	+	355,05
12	53,1												-	12	+			+		+	+	303,05
13	67													-	13			+		+	+	249,95
14	55														-			14		+	+	182,95
15	71,1															-	15		+	+	+	231,1
16	58																-		16	+	+	160
17	57,95																	-		17	+	127,95
18	32																		-	18	+	102
19	51																			-	19	70
20	19																				-	19

Konum ağırlıkları hesaplandıktan sonra konum ağırlıkları azalan şekilde sıralanır. Çizelge 6.23.' te konum ağırlıklarının sıralaması sunulmuştur.

Çizelge 6.23. Yana açılır turbo fanlı ankastre modeli için sıralanmış konum ağırlıkları

İş Ögesi	Std. Süre	Konum Ağırlığı	İş Tanımı	Çalışma Yönü	Öncülü
2	61,75	1040,7	Yan duvar elektrik bağlantı	R	-
1	65,55	915,5	Alt Taban- Arasacı montajı	R	-
3	70	849,95	Yan duvar montajı	R, L	1,2
4	64	779,95	Dekor/ buharlık montajı	R	3
5	59	579,45	Limit kulak montajı	L	2
6	72	522,45	İç Panel montajı	R	4
7	70	520,45	Elektrik bağlantısı	L	5
8	59,4	450,45	Kablo, termostat montajı	R	6,7
10	36	391,05	Bağlantı Kablosu Toplama	R	4
11	52	355,05	Arka Kapak Montajı	L	8
12	53,1	303,05	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	L	10
9	32,4	263,5	Cam kapak takma	L	11
13	67	249,95	Üst Kapak Montajı	R	12
15	71,1	231,1	Dekor Montajı ve Ayarı	L	13
14	55	182,95	Kademe Kapak Montajı	R	9
16	58	160	Tepsi, Izgara Yerleştirme	R	15
17	57,95	127,95	Elektriksel Kontrol	L	14
18	32	102	Fiziksel Kontrol	R	16
19	51	70	Temizlik	R	17,18
20	19	19	Kablo Bağlama ve Etiketleme	L	19

Çalışma yönü kısıtı da göz önünde bulundurularak konum ağırlıklarına göre görevlerin istasyonlara ataması yapılmıştır. Çizelge 6.24 ' te yan açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları sunulmuştur.

Montaj hattı $n = 13$ istasyonda dengelenmiştir. Hattın denge kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D(\%) = (13 \cdot 72,73 - 801,9) / 13 \cdot 72,73 = 15,2$$

Burada $\sum t_i$ hattın çift taraflı dengelenmesi sonrası istasyon süreleri toplamı olarak alınmıştır.

Bu montaj hattı için hat etkinliği ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$HE(\%) = \left[\sum t_i / (n \cdot C) \right] \cdot 100$$

$$HE(\%) = 801,9 / (13 \cdot 72,73) \cdot 100 = 84,8$$

Çizelge 6.24. Yan açılır fansız ankastre fırın hat dengeleme sonuçları

İstasyon	İş Ögesi	Konum Ağırlığı	Öncül	İşlem süresi	Birikimli İşlem süresi	Atıl Süre	Çalışma Yönü
1	2	1040,7	-	61,75	61,75	10,98	R
2	1	915,5	-	65,55			R
	5	579,45	2	59	65,55	7,18	L
3	3	849,95	1,2	70	70	2,73	R,L
4	4	779,95	3	64			R
	7	520,45	5	70	70	2,73	L
5	6	522,45	4	72	72	0,73	R
6	8	450,45	6,7	59,4	59,4	13,33	R
7	10	391,05	4	36			R
	11	355,05	8	52	52	20,73	L
8	12	303,05	10	53,1	53,1	19,63	L
9	9	263,5	11	32,4			L
	13	249,95	12	67	67	5,73	R
10	15	231,1	13	71,1			L
	14	182,95	9	55	71,1	1,63	R
11	16	160	15	58			R
	17	127,95	14	57,95	58	14,73	L
12	18	102	16	32	32	40,73	R
13	19	70	17,18	51			R
	20	19	19	19	70	2,73	L

Bu durumda montaj hattında bir ürün için gerekli olan işçilik ve maliyeti hesapları Çizelge 6.25. 'te verilmiştir.

Çizelge 6.25. Yan açılır fansız ankastre fırın işçilik hesabı

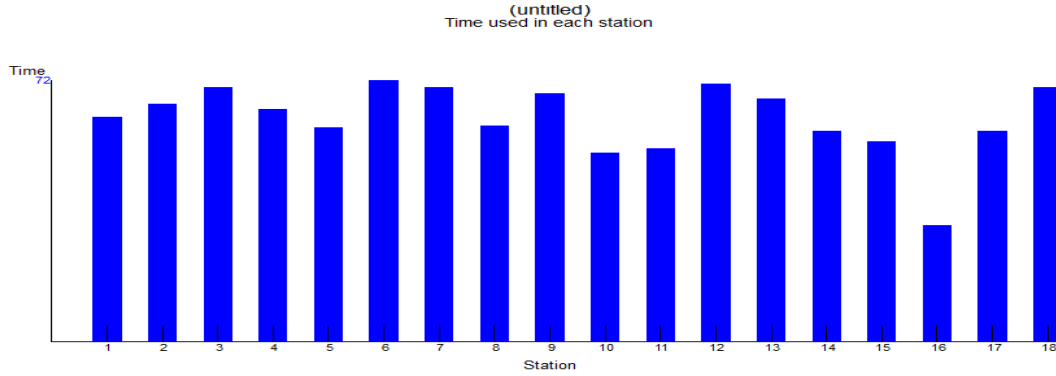
İstasyon	İş ögesi	İstasyon Süresi	Çalışma Yönü	İşçi sayısı	İşçilik	İşçilik maliyeti
1	2	61,8	R	1	61,8	0,303
2	1,5	65,6	R,L	2	131,1	0,642
3	3	70,0	R,L	2	140,0	0,686
4	4,7	70,0	R,L	2	140,0	0,686
5	6	72,0	R	1	72,0	0,353
6	8	59,4	R	1	59,4	0,291
7	10,11	52,0	R,L	2	104,0	0,510
8	12	53,1	L	1	53,1	0,260
9	9,13	67,0	L,R	2	134,0	0,657
10	15,14	71,1	L,R	2	142,2	0,697
11	16,17	58,0	R,L	2	116,0	0,568
12	18	32,0	R	1	32,0	0,157
13	19, 20	70,0	R,L	2	140,0	0,686
TOPLAM		801,9	-	21	1325,6	6,495

6.5.4.2. Model 4 için hattın düz yerleşime göre dengelenmesi

Yan açılır fansız ankastre modeli için, görevlerin, hat boyunca dönen tamburlar vasıtasıyla tek tarafta yapıldığı durum için POM for Windows programı yardımıyla hat dengeleme yapılmıştır. Sonuçlar Resim 6.5.' te sunulmuştur.

Line Balancing Results				
(untitled) Solution				
Station	Work element	Time (seconds)	Time left (seconds)	Ready work elements
				1(16), 2(18)
1	2	61,75	10,25	1(16), 5(10)
2	1	65,55	6,45	5(10), 3(15)
3	3	70	2	5(10), 4(14)
4	4	64	8	5(10), 6(9),
5	5	59	13	6(9), 9(5),
6	6	72	0	9(5), 7(9)
7	7	70	2	9(5), 8(8)
8	8	59,4	12,6	9(5), 10(7)
9	10	36	36	9(5), 11(6)
	9	32,4	3,6	11(6), 15(4)
10	11	52	20	15(4), 12(5)
11	12	53,1	18,9	15(4), 13(4)
12	15	71,1	,9	13(4), 16(3)
13	13	67	5	16(3), 14(3)
14	16	58	14	14(3), 18(2)
15	14	55	17	18(2), 17(2)
16	18	32	40	17(2)
17	17	57,95	14,05	19(1)
18	19	51	21	20(0)
	20	19	2	
Summary Statistics				
Cycle time	72	seconds		
Min (theoretical) # of stations	16			
Actual # of stations	18			
Time allocated (cycle time * # stations)	1296	seconds/cycle		
Time needed (sum of task times)	1106,25	seconds/unit		
Idle time (allocated-needed)	189,75	seconds/cycle		
Efficiency (needed/allocated)	85,36%			
Balance Delay (1-efficiency)	14,64%			

Resim 6.5. Model 4 için düz yerleşime göre POM for Windows hat dengeleme sonuçları



Şekil 6.12. Model 4 için düz yerleşimli hat dengesinde istasyonların iş yükü dağılımı

Sonuçlar değerlendirildiğinde, hat 18 istasyonda dengelenmiş olup hattın verimliliği % 85,36 çıkmıştır. Bu sonuçlara göre yapılan işçilik ve maliyet hesaplaması Çizelge 6.26.' da sunulmuştur.

Çizelge 6.26. Yan açılır fansız ankastre fırın için düz yerleşimli hat dengeleme işçilik maliyetleri

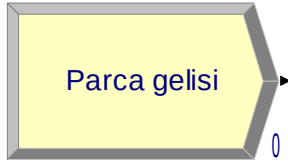
İstasyon	İş ögesi	İstasyon Süresi	İşçi sayısı	İşçilik	İşçilik maliyeti
1	2	61,8	1	61,8	0,303
2	1	65,6	1	65,6	0,321
3	3	70,0	2	140,0	0,686
4	4	64,0	1	64,0	0,314
5	5	59,0	1	59,0	0,289
6	6	72,0	1	72,0	0,353
7	7	70,0	1	70,0	0,343
8	8	59,4	1	59,4	0,291
9	10,9	68,4	2	136,8	0,670
10	11	52,0	1	52,0	0,255
11	12	53,1	1	53,1	0,260
12	15	71,1	1	71,1	0,348
13	13	67,0	1	67,0	0,328
14	16	58,0	1	58,0	0,284
15	14	55,0	1	55,0	0,270
16	18	32,0	1	32,0	0,157
17	17	58,0	1	58,0	0,284
18	19, 20	70,0	2	140,0	0,686
TOPLAM		1106,3	21	1314,7	6,442

İki yöntemin sonuçları karşılaştırıldığında; görevlerin tamamlanması için her iki yerleşimde de 21 çalışan gerekmektedir. Montaj hattının çift yönlü dengesi durumunda ürün başına 6,49 TL olan işçilik maliyeti, tek yönlü dengelenmesi sonucunda 6,44 TL'ye düşmüştür. Ayrıca ilk yöntemde % 84,8 olan hat verimliliği ikinci yöntemde %85,36' ya yükselmiştir. Gerekli istasyon sayısı 13 iken 18' e yükselmiştir, hattın boyu uzamıştır. Bu da bir ürünün montaj hattına girişi ve çıkışı arasında geçen toplam süreyi uzatmıştır.

6.6. Montaj Hattı Benzetimi

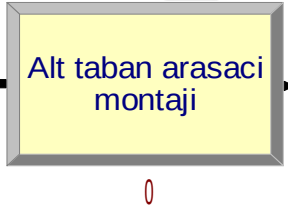
Bu aşamada öncelikle ankastre montaj hattının işletmedeki mevcut durumunun benzetim modeli oluşturulmuştur. Modelin hazırlanması için ARENA 15.1 paket programından yararlanılmıştır. Daha sonra önerilen montaj hattı dengesi için benzetim modeli oluşturulmuş sonuçlar karşılaştırılmıştır. Oluşturulan benzetim modelinde sırasıyla aşağıdaki modüller kullanılmıştır.

1.Create (giriş) modülü: Sisteme girişi göstermekte olup sisteme gelen parça bu modül kullanılarak ifade edilmiştir. Şekil 6.13’ te parça gelişi modülü gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Parça gelişi giriş modülü

2. Process (İşlem) modülü: Parça üzerinde yapılan işlemleri tanımlamaktadır. Alt taban montajı, menteşe- şase montajı, yan duvar montajı, dekor buharlık montajı, içi panel montajı gibi operasyonlar bu modül ile gösterilmiştir. Şekil 6.14.’ te Alt taban- arasacı montajı operasyonu process modülü gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Alt taban arasacı montajı işlem modülü

3. Decide (Karar) modülü: Elektriksel ve fiziksel kontrolden sonra parçanın kaliteye uygun olup olmadığının kararının verildiği modüldür. Kaliteye uygun parçalar sonraki operasyona geçerken uygunsuz olanlar tamir bandına girerek tekrar kontrole tabi olmaktadır. Şekil 6.15.’ te decide modülü örneği gösterilmiştir.



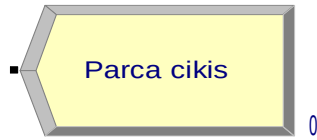
Şekil 6.15. Kalite uygunluk karar modülü

4.Record (Kayıt) modülü: İşlemlere ilişkin kayıtları tutan modüldür. Tamir bandına giren parçaların sayılması için kullanılmıştır. Şekil 6. 16’ da hatalı ürün kayıt record modülü gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Hatalı ürün kayıt modülü

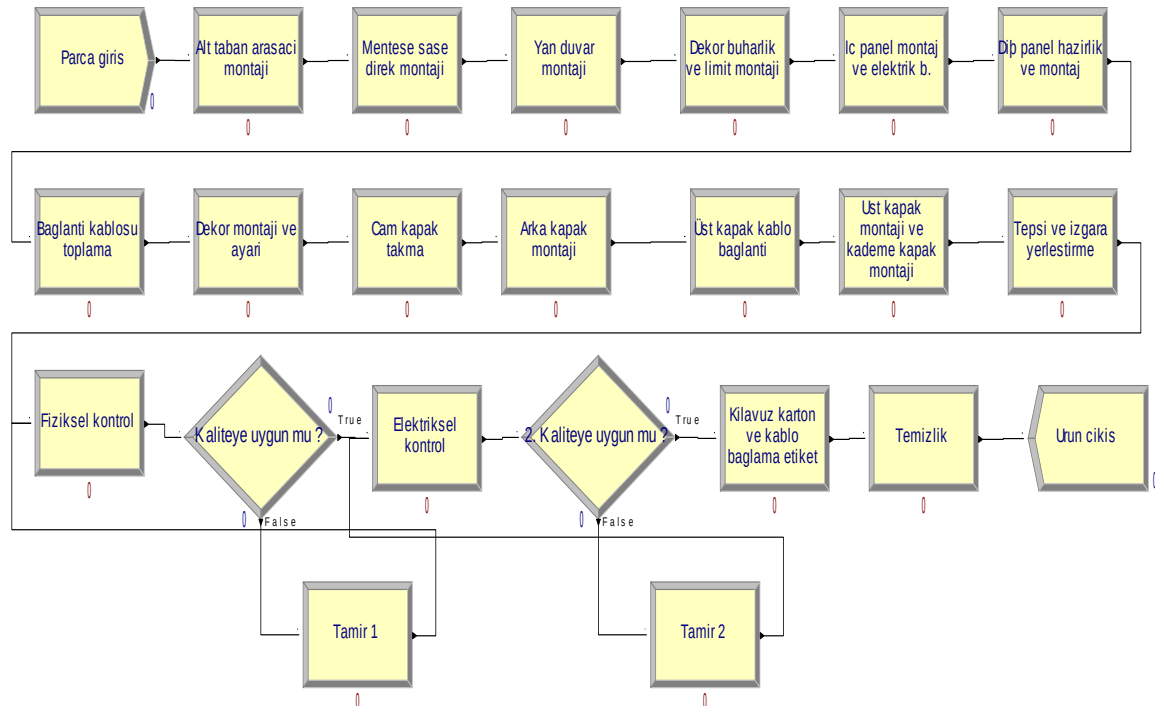
5. Dispose (Çıkış) modülü: Sistemden parça çıkışını sağlamak için kullanılan modüldür. Montajı tamamlanan ankastrelerin hattan çıkışı bu modülle sağlanmıştır. Şekil 6.17’ de parça çıkış dispose modülü gösterimi verilmiştir.



Şekil 6.17. Parça çıkış modülü

6.6.1. Mevcut Durum

İşlem süreleri daha önce hesaplanan standart süreler deterministik olarak modele girilmiştir. Parça geliş süresi en uzun işlem süresi olan 82 sn. olarak tanımlanmıştır. Modele işlemler, işlem süreleri, kaynaklar ve iş akışları gibi veriler tanımlandıktan sonra, model 60 dakikası ısınma periyodu olmak üzere 10 saat çalıştırılmış 10 tekrar gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.18’ de mevcut durum benzetim modeli sunulmuştur.



Şekil 6.18. Mevcut durum ankastre montaj hattı benzetim modeli

Mevcut durum montaj hattı benzetim modelinin çalıştırılması sonucunda elde edilen sonuç raporları Ek-7 'de sunulmuştur.

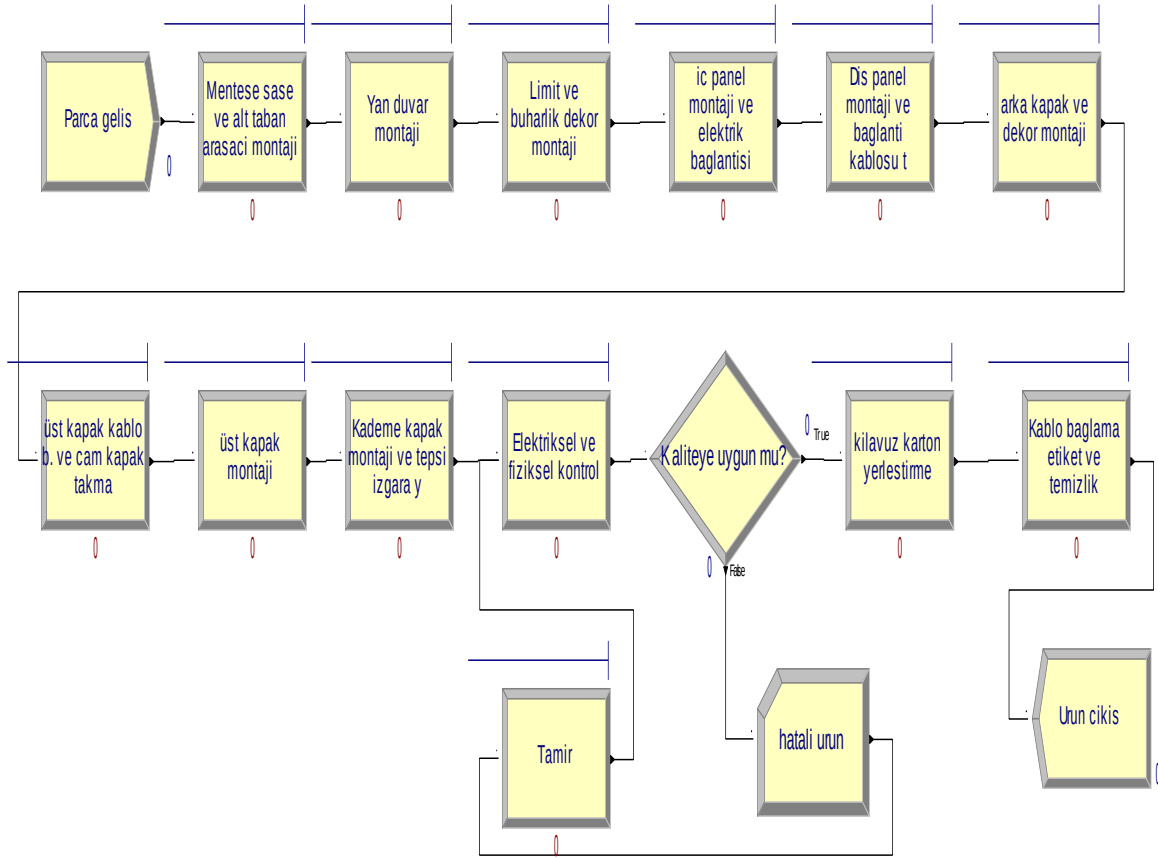
Mevcut montaj akışında birtakım sorunlar tespit edilmiştir. Gözlemlenen başlıca sorunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Görevler yeterince dengeli dağılmadığı için bazı istasyonlarda darboğazlar meydana gelmektedir. Bu durum zaman kayıplarına neden olmaktadır ve ürünün hattan çıkış hızını etkilemektedir.
- İstasyonların işlem süreleri arasında bulunan farklar atıl sürelerin fazla olmasına sebebiyet vermektedir. Bu da kaynakların yeterince verimli kullanılmadığını göstermektedir.
- Montaj hattından daha az ürün çıktığında işletme termin sürelerine uyamama sorunu ile karşı karşıya gelmektedir. Termin sürelerine uymak için yapılan fazla mesailer işletme için ek maliyet getirmektedir.

6.6.2. Önerilen Durum

Mevcut durumdaki görevler öncelik ilişkileri göz önünde bulundurularak incelenmiş ve Konum Ağırlıklı Hat Dengeleme yöntemiyle yeniden istasyonlara tayin edilmiştir. Görevlerin ürün üzerindeki yapılış yönü dikkate alınarak operatörlerin montaj hattı üzerindeki yerleşimleri yeniden düzenlenmiştir. Önerilen modelde 12 iş istasyonu açılmıştır. Mevcut durumda darboğaz oluşturan dış panel hazırlık ve montajı operasyonu ile kılavuz, karton koyma ve kablo bağlama operasyonu parçalanmış istasyon yükü azaltılmıştır. Bazı işlemler çevrim süresini geçmeyecek şekilde birleştirilmiştir.

İşlem süreleri daha önce hesaplanan standart süreler deterministik olarak modele girilmiştir. Parça geliş süresi en uzun işlem süresi olan 72 sn. olarak tanımlanmıştır. Modele işlemler, işlem süreleri, kaynaklar ve iş akışları gibi veriler tanımlandıktan sonra, model 60 dakikası ısınma periyodu olmak üzere 10 saat çalıştırılmış 10 tekrar gerçekleştirilmiştir. Önerilen duruma ait benzetim modeli şekil 6. 19.' da gösterilmiştir.



Şekil 6.19. Önerilen ankastre montaj hattı benzetim modeli

Önerilen montaj hattı benzetim modelinin çalıştırılması sonucunda elde edilen sonuç raporları Ek-8 'de sunulmuştur.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde ürün çeşitliliğinin artmasıyla birlikte karışık/ çok modelli montaj hatları imalat endüstrisinde en yaygın rastlanan üretim türlerinden biri haline gelmiştir. Bu çalışmada farklı modellerin üretildiği bu tür hatların dengelenmesine yönelik bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. İstasyon sayısı, hat etkinliği, işçilik maliyeti ve üretim miktarı performans ölçütleri olarak dikkate alınmıştır.

Literatüre bakıldığında, montaj hattı dengeleme çalışmalarının çoğunun matematiksel ve ya sezgisel yöntemler kullanılarak tek modelli hatların dengelenmesi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. 1967 yılı itibarıyla karışık modelli montaj hattı dengeleme konusunda da çalışmalar yapılmaya başlanmıştır ancak hat dengelemede benzetim tekniğini kullanan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır.

Bu tez çalışmasında, işletmenin ankastre fırın montaj hattında ürettiği 4 farklı model incelenmiş, görev ve öncelik ilişkileri analiz edildikten sonra bu modellerin her biri için hattın çift yönlü ve düz (tek yönlü) yerleşim durumları için hat dengelemeleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular Çizelge 7.1. ' de sunulmuştur.

Çizelge 7.1. Modellerin hat dengeleme sonucu performans değerlendirmesi

Performans Ölçütleri	İstasyon Sayısı		Hat Etkinliği		İşçilik Maliyeti	
Hat dengesi	Çift yönlü	Tek yönlü	Çift yönlü	Tek yönlü	Çift yönlü	Tek yönlü
Model 1-13550	12	19	89,50%	80,68%	6,46 ₺	5,76 ₺
Model 2-13530	13	19	91,80%	86,69%	6,21 ₺	6,81 ₺
Model 3-13551	12	17	80,00%	81,00%	6,33 ₺	6,45 ₺
Model 4-13555	13	18	84,80%	85,36%	6,50 ₺	6,44 ₺
ORTALAMA	12.5	18.2	86,53%	83,43%	6,38 ₺	6,37 ₺

Bu sonuçlar doğrultusunda modellere tek tek bakıldığında, farklı yerleşim tiplerinin farklı avantajları olduğu görülmüştür.

- Model 1 için, çift yönlü istasyon yerleşimli hat dengesi hat etkinliği açısından daha avantajlı iken, tek yönlü istasyon yerleşimli hat dengesi de işçilik maliyetleri açısından daha avantajlı çıkmıştır.

- Model 2 için, istasyonların hat boyunca çift yönlü yerleştirildiği denge durumu hat etkinliği ve işçilik maliyetleri açısından daha avantajlıdır.
- Model 3 için, tek yönlü istasyon yerleşimli hat dengesi hat etkinliği açısından daha avantajlı iken, çift yönlü istasyon yerleşimli hat dengesi de işçilik maliyetleri açısından daha avantajlı çıkmıştır.
- Model 4 için istasyonların hat boyunca tek yönlü yerleştirildiği denge durumu hat etkinliği ve işçilik maliyetleri açısından daha avantajlıdır.

Sonuçlar incelendiğinde, montaj hattının istasyonların çift yönlü yerleşimine göre dengede olduğu durumda, istasyon sayısının azaldığı ve hat etkinliği ortalamasının daha fazla olduğu söylenebilmektedir. Her iki yerleşim tipi için de 4 modelin işçilik maliyeti ortalaması yaklaşık aynı çıkmıştır. Buradan yola çıkarak hattaki atıl sürelerin azaltılması, hat etkinliği ve işçilik maliyetleri açısından hep birlikte değerlendirildiğinde, karma model ankastre montaj hattında istasyonların çift yönlü yerleştirildiği durumun işletme açısından daha yararlı olacağına karar verilmiştir.

Ankastre montaj hattının işletmedeki mevcut durumunun ve yapılan hat dengeleme çalışması sonucunda geliştirilen hat önerisinin karşılaştırılması adına oluşturulan benzetim modelleriyle yapılan 10 deneyde elde edilen sonuçlara göre hesaplanan üretim miktarları Çizelge 7.2.' de sunulmuştur.

Çizelge 7.2. Mevcut ve önerilen durum üretim miktarları

Deney No	Mevcut Durum	Önerilen Durum
1	382	440
2	383	440
3	381	440
4	383	440
5	383	440
6	383	440
7	382	440
8	383	440
9	384	440
10	383	439

Mevcut durum	Önerilen durum
➤ Bir günlük çalışma süresinde işletmenin üretebileceği ortalama ankastre fırın miktarı 383 adettir. ➤ En uzun işlem süresine sahip olan dış panel hazırlık ve montajı işlemi darboğaz yaratmakta ve çevrim süresi olan 82 sn. yi belirlemektedir. ➤ Montaj hattında toplamda 22 operatör ve 17 iş istasyonu bulunmaktadır. ➤ Montaj hattının etkinliği %68,16'dır.	➤ Bir günlük çalışma süresinde işletmenin üretebileceği ortalama ankastre fırın miktarı 440 adete yükselmiştir. ➤ Çevrim süresi 72 saniyeye düşmüştür. ➤ Montaj hattında yine 22 operatör bulunmaktadır, istasyon sayısı ise 12'ye düşmüştür. ➤ Montaj hattının etkinliği %21,34 artarak, %89,5 olmuştur.

Yapılan hat dengeleme çalışmasıyla üretim miktarı ve hat etkinliği artırılmış, atıl süreler ve istasyon sayısı azaltılmış bunun sonucu olarak da işletmeye zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmıştır.

Montaj hattı dengeleme problemlerinde optimal metotlarla çözüm aramak, özellikle problem boyutu büyüdüğünde birtakım zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanımı daha anlamlı ve gerçekçi olabilmektedir. Montaj hattı dengeleme çalışması ile elde edilen sonuçların üretim miktarına etkisini görebilmek adına benzetim tekniği kullanılmıştır, böylece uygulama yapmadan, zaman ve maliyet harcamadan montaj hattında yapılması planlanan değişiklikleri izleyebilme olanağı sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar hat dengeleme çalışmalarının, benzetim tekniği ile desteklenmesinin iyi bir yaklaşım olabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma doğrultusunda:

- ✓ Sistem parametrelerden dolayı farklı uygulamalara açıktır. İstenen operatör sayısı, hat uzunluğu, hattın U tipi tasarımı gibi faktörler uygulanarak daha iyi çözümlere ulaşmak mümkündür.
- ✓ Daha karmaşık problemler ele alınabilir, işgücü-makina çizelgeleme problemi de çalışmaya dahil edilebilir.
- ✓ Çalışma farklı işletmelere, farklı montaj hat tiplerine göre uyarlanabilir.
- ✓ Ara stok düzeylerinin belirlendiği çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Acar, N. ve Estaş, Ş. (1986). *Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları*. Ankara: MPM Endüstri Şubesi, 110,309
- Acar, N. ve Eştaş, S. (1991). *Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları*. (üçüncü baskı). Ankara: Milli Prodaktivite Yayınları, 9-13
- Ağpak, K., Gökçen, H., Saray, N. ve Özel, S. (2002). " Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Bir Sezgisel". *Gazi Üni. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), 115-124.
- Ağpak, K. ve Gökçen, H. (2002). "Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı". *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(2), 29-40.
- Ağpak, K. ve Gökçen, H. (2005). "Assembly Line balancing: Two Resource Constrained Cases". *Internal Journal of Production Economics*, 96, 129-140.
- Akpınar S., Bayhan G.M. ve Baysakoğlu A. (2013)." Hybridizing Ant Colony Optimization via Genetic Algorithm for Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem with Sequence Dependent Setup Times between Tasks". *Applied Soft Computing*, 13(1), 574-589.
- Akpınar, S. ve Bayhan, G. M. (2011). "A Hybrid Genetic Algorithm for Mixed Model Assembly Line Balancing Problem with Parallel Workstations and Zoning Constraints". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(3), 449-457.
- Akpınar, Ş. ve Baykasoğlu, A. (2014). "Modeling and Solving Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem with Setups. Part I: A Mixed Integer Linear Programming Model". *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1), 177-187.
- Akpınar, Ş. ve Baykasoğlu, A. (2014). " Modeling and Solving Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem with Setups. Part II: A Multiple Colony Hybrid Bees Algorithm. " *Journal of Manufacturing Systems*, 33(4), 445-461.
- Alağuş, H., Pınarbaşı, M., Toklu, B. ve Yüzükırmızı, M. (2015). "Analysis of Bowl Effects on Stochastic Assembly Line". *International Journal of Engineering Research and Development*, 7(2), 41-49.
- Alağuş, H. (2012). *Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Kuyruk Ağı Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 17-18.
- Arcus, A. L. (1966). "COMSOAL: A Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines". *International Journal of Production Research*, 4(4), 259-277.
- Askin, R. G. and Zhou, M. (1997). "A Parallel Station Heuristic for The Mixed-Model Production Line Balancing Problem". *International Journal of Production Research*, 35(11), 3095-3106.

- Battala, O. D., and Dolgui, A. (2012). "Reduction Approaches for a Generalized Line Balancing Problem". *Computers & Operations Research*(39), 2337–2345.
- Baybars, İ. (1986). "A Survey of Exact Algorithms for The Simple Assembly Line Balancing Problem". *Management Science*, 32(8), 909-932.
- Becker, C. and Scholl, A. (2006). "A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing". *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694-715.
- Bowman, E. H. (1960). "Assembly Line Balancing by Linear Programming". *Operations Research*, 8(3), 385-389.
- Bryton, B. (1954). *Balancing of a Continous Production Line*, M.S Thesis, ILL: Northwestern University, Evanston.
- Bukchin, Y. and Rabinowitch, I. (2006). "A Branch-and-Bound Based Solution Approach for The Mixed-Model Assembly Line-Balancing Problem for Minimizing Stations and Task Duplication Costs". *European Journal of Operational Research*, 174, 492-508.
- Carlson, J. G. (1962). "Production Standarts for Small Lot Manufacturing". *Journal of Industrial Engineering*, 13(3), 496-502.
- Carnahan, B.J., Norman, B. and Redfern, M. (2001). "Incorporating Physical Demand Criteria into Assembly Line Balancing". *IEE Transactions*, 33, 875-887.
- Chakravarty, A. K. and Shtub, A. (1985). "Balancing Mixed Model Lines with in-Process Inventories". *Management Science*, 31(9), 1055-1198.
- Chakravarty, A. K. and Shtub, A. (1992). "The Effect Of Learning On The Operation Of Mixed-Model Assembly Lines". *Production and Operations Management*, 1(2), 198-211.
- Chen, W., Lin, C. and Yang, B. (2017). "The Algorithm and Simulation of Multi-Objective Sequence and Balancing Problem for Mixed Mode Assembly Line". *International Journal of Simulation Modelling*, 16(2), 357-367.
- Çakır, B. (2006). *Stokastik İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeme için Tavlama Benzetimi Algoritması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 105.
- Çelikçapa, F. O. (2000). *Üretim Yönetimi ve Teknikleri*. İstanbul: Alfa Basım Dağıtım Ltd. Şti, 73-76
- Çınar, M. (1990). *Yönetmel Kararlara İlişkin Sayısal Yöntemler (8. baskı)*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi Yayınları, : 255-257.
- Dar-El, E. M. (1973). "MALB-A Heuristic Technique for Balancing Large Single Model Assembly Lines". *AIIE Transactions*, 5(4), 343-356.
- Dar-el, E. M. and Rubinowitch, M. (1979). "MUST-A Multiple Solutions Technique for Balancing Single Model Assembly Line". *Management Science*, 25(11), 1105-1114.

- Dervitsiotis, K. N. (1981). **Operations Management**. McGraw- Hill Book Company, 18.
- Doğan, A. (2015). *Savunma Sanayiinde Bulanık İşlem Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Çalışması*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 11.
- El Sayed, E. A., Boucher, T. O. (1985). **Analysis and Control of Production Systems**. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Eryürük, S. H. (2005). *Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 22-23.
- Eryürük, S. H. (2012). "Clothing Assembly Line Design Using Simulation and Heuristic Line Balancing Techniques". **Journal of Textile & Apparel**, 22(4), 360-368.
- Eyler, M. A., Öztemel, E. (2016). **Endüstri Mühendisliğine Giriş (4. baskı)**. İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim, : 357-364.
- Fan, W., Gao, Z., Xu, W. and Xiao, T. (2010). "Balancing and Simulating of Assembly Line with Overlapped and Stopped Operation". **Simulation Modelling Practice and Theory**, 18(8), 1069-1079.
- Fleszar, K. and Hindi, K. S. (2003). "An Enumerative Heuristic and Reduction Methods for the Assembly Line Balancing problem". **European Journal of Operational Research**, 145(3), 606-620.
- Foroughi, A. ve Gökçen, H. (2014). "Maliyet Tabanlı Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi". **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 29(3), 469-476.
- Ghosh, S. and Gagnon, R. J. (1989). "A Comprehensive Literature Review and Analysis of The Design, Balancing and Scheduling of Balancing Systems". **International Journal of Production Research**, 27(4), 637-670.
- Gökçen, H. (1989). *Tek Model Montaj Hattı Dengeleme Metotları ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Gökçen, H. (1994). *Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Yeni Modeller*, Doktora Tezi ,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Gökçen, H. ve Erel, E. (1995). "Karışık Ürünlü Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Bir Sezgisel Yöntem". **Verimlilik Dergisi**, 2, 131-140.
- Gökçen, H. Ve Erel, E. (1997). "A Goal Programming Approach to Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem". **Int. J. Production Economics**, 48(2), 177-185.
- Gökçen, H. ve Baykoç, Ö. F., (1997), "Stokastik Görev Zamanlı Dengelenmiş Gecikmesiz Montaj Hatlarının İyileştirilmesi için Bir Model", **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, 8(1), 3-8
- Gökçen, H. ve Erel, E. (1998). "Binary Integer Formulation For Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem". **Computers & Industrial Engineering**, 34(2), 451-461.

- Gökçen, H. ve Erel, E. (1999). "Shortest-Route Formulation of Mixed Model Assembly Balancing Problem". *European Journal of Operations Research*, 116, 194-204.
- Hançerlioğulları, A. (2006). "Monte Carlo Simülasyonu Metodu ve MCNP Kod Sistemi". *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 14(2), 545-556.
- Held, M., Karp, R. M. and Sheresian, R. (1963). "Assembly Line Balancing Dynamic Programming with Predence Constraints". *Operation Research*, 11(3), 442-459.
- Helgeson, W. P. and Birnie, D. P. (1961). "Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique". *Journal of Endustrial Engineering*, 12(6), 384-398.
- Hoffmann, T. R. (1963). "Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix". *Management Science*, 9(4), 551-563.
- Hoffmann, T. R. (1992). "EUREKA: A Hybrid System for Assembly Line Balancing". *Management Science*, 38, 39-47.
- İşlier, A. (2007). *Üretim Sistemleri Kavramlar, Değerlendirme, Tasarım*. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi, : 45-46.
- Jackson, J. R. (1956). "A Computing Procedure for Line Balancing Problem". *Management Science*, 2(3), 261-271.
- Jin, M., Wu, S. D. (2003). "A New Heuristic Method for Mixed Model Assembly Line Balancing Problem". *Computers and Industrial Engineering*, 44(1), 159-169.
- Johnson, R. V. (1988). "Optimally Balancing Large Assembly Lines with 'Fable'". *Management Science*, 34(1), 240-253.
- Kao, E. (1976). "A Preference Order Dynamic Program for Stochastic Assembly Line Balancing". *Managemenet Science*, 22(10), 1097-1104.
- Kao, E. (1979). "Computational Experience with Stochastic Assembly Line Balancing Algorithm". *Computers and Operations Research*, 6(2), 79-86.
- Kayar, M. (2012). *Üretim ve Verimlilik- Temel Esaslar ve Uygulama (1. baskı)*. Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım, 213.
- Kilbridge, M. D. and Wester, L. (1961). "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing". *Journal of Industrial Engineering*, 12(4), 292-298.
- Kim, Y. K., Kim, Y. and Kim, Y. J. (2000). "Two-Sided Assembly Line Balancing: A Genetic Algorithm Approach". *Production Planning and Control*, 11(1), 44-53.
- Kitaw, D., Matebu, A. and Tadesse, S. (2010). "Assembly Line Balancing Using Simulation Technique in a Garment Manufacturing Firm". *Journal of EEA*, 27, 69-80.
- Klein, M. (1963). "On Assembly Line Balancing". *Operations Research*, 11(2), 55-62.
- Lee, T., Kim, Y. and Kim, Y. K. (2001). "Two-Sided Assembly Line Balancing to Maximize Work Relatedness and Slackness". *Computers & Industrial Engineering*, 40(3), 273-292.

- Liu, S. B., Ong, H. L. and Huang, H. C. (2005). "A Bidirectional Heuristic For Stochastic Assembly Line Balancing Type II Problem". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, 71-77.
- Macaskill, J. (1972). "Production-Line Balances for Mixed-Model Lines". *Management Science*, 19(4), 357-463.
- McMullen, P. R. and Frazier, G. V. (1999). "Using Simulation and Data Envelopment Analysis to Compare Assembly Line Balancing Solutions". *Journal of Productivity Analysis*, 11(2), 149-168.
- McMullen, P. R. and Tarasewich, P. (2003). "Using Ant Techniques to Solve the Assembly Line Balancing Problem". *IEE Transactions*, 35(7), 605-617.
- Mendes, A. R., Ramos, A. L., Simaria, A. S. and Vilarinho, P. M. (2005). "Combining Heuristic Procedures and Simulation Models for Balancing a PC Camera Assembly Line". *Computers & Industrial Engineering*, 49(3), 413-431.
- Mevlütöğlu, A. (2010). "Modelleme ve Simülasyon Teknolojilerinin Tedarik Süreç Yönetiminde Kullanılması ve Simülasyon Tabanlı Tedarik Yöntemi". *Savunma Sanayi Gündemi*, 11, 22-26.
- Moodie, C. L. and 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(1), 23-29.
- Nasab, H., Asl, V. M. and Nezhad M. S. F.(2012). "A Heuristic Method for Analysis of Assembly Line Based on Simulation and DOE". *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 23(2), 199-209.
- Özkan, R. (2003). *Tek Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Genetik Algoritma ile Çözüm Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 25
- Pastor, R. and Ferrer, L. (2009). "An Improved Mathematical Program to Solve The Simple Assembly Line Balancing Problem". *International Journal of Production Research*, 47, 2943-2956.
- Patterson, J. H. and Albracht, J. J. (1975). "Assembly Line Balancing: Zero-One Programming with Fibonacci Search". *Operations Research*, 23(1), 166-172.
- Rajamani, D. and Singh, N. (1991). "A Simulation Approach to the Design of an Assembly Line: A Case Study". *International Journal of Operations & Production Management*, 11(6), 66-75.
- Ramezani, R. and Ezzatpanah, A. (2015). "Modeling and Solving Multi-Objective Mixed-Model Assembly Line Balancing and Worker Assignment Problem". *Computers and Industrial Engineering*, 87, 74-80.
- Robinson, S. (2004). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. England: John Wiley & Sons Ltd, 8.

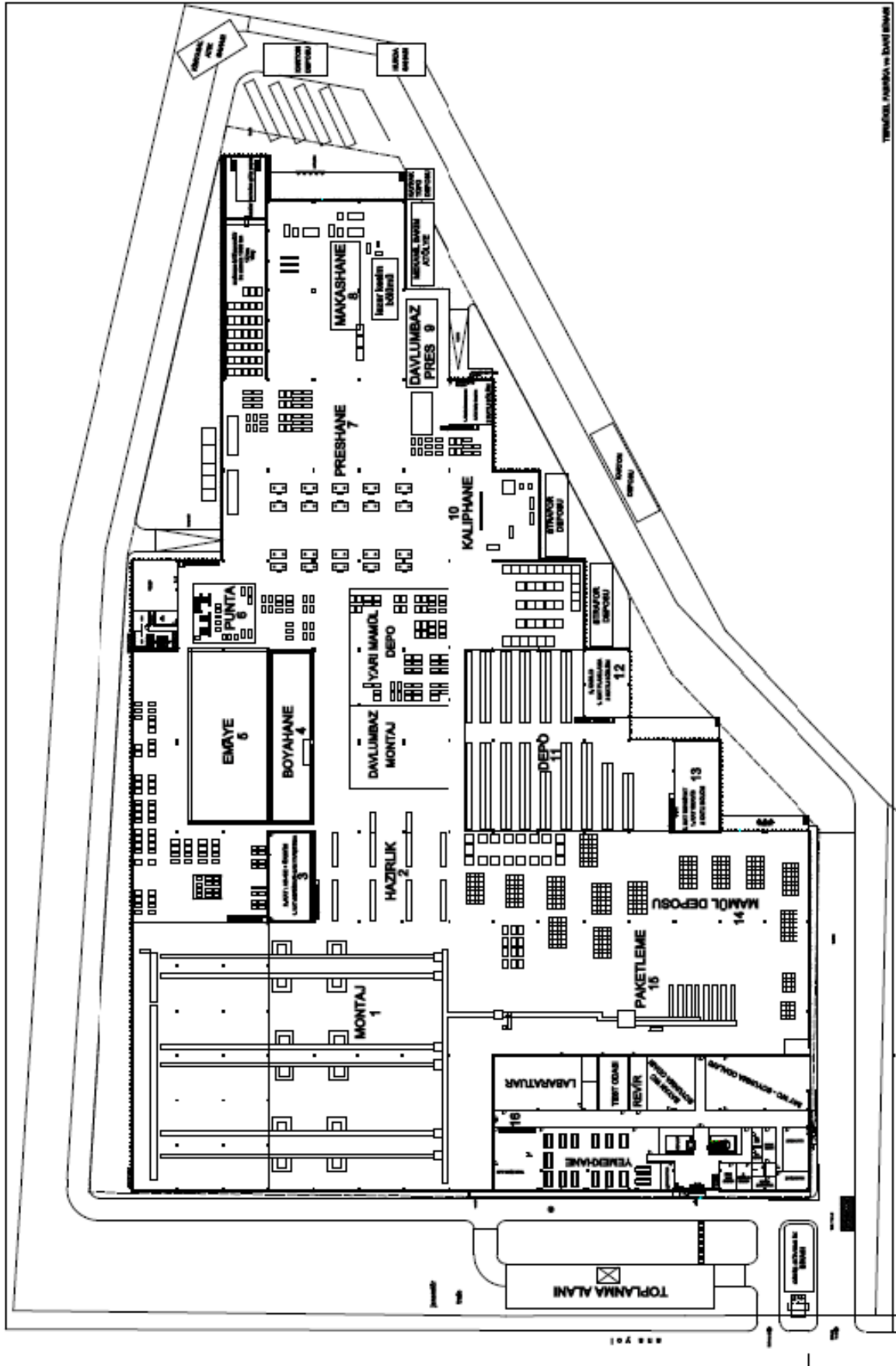
- Roshani, A. and Nezami, F. G. (2017). "Mixed-Model Multi-Manned Assembly Line Balancing Problem: A Mathematical Model and a Simulated Annealing Approach". *Assembly Automation*, 37(1), 34-50.
- Rossetti, M. D. (2010). *Simulation Modelling and Arena*. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 9.
- Sabuncuoglu, I., Erel, E. ve Tanyer, M. (2000). "Assembly Line Balancing using Genetic Algorithms". *Journal Of Intelligent Manufacturing*, 295-310.
- Salveson, M. E. (1955). "The Assembly Line Balancing Problem. *Journal of Endustrial Engineering*, 6(3), 18-25.
- Scholl, A., Klein, R. (1997). "SALOME: A Bidirectional Branch and Bound Procedure for Assembly Line Balancing". *Journal on Computing*, 9, 319-334.
- Scholl, A. (1999). *Balancing and Sequencing of Assembly Lines*. New York: Physica-Verlag Heidelberg, 65.
- Schrage, L. and Baker, K. R. (1978). "Dynamic Programming Solution of Sequencing Problems with Precedence Constraints". *Operations Research*, 26, 444-459.
- Sculli, D. (1979). "Dynamic Aspects of the Line Balancing OMEGA". *International Journal Management Sciences*, 7, 557-562,.
- Shin, D. and Min, H. (1991). "Uniform Assembly Line Balancing with Stochastic Task Times". *Management*, 11(8), 23-24.
- 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(4), 391-407.
- Star, M. K. (1989). *Managing Production and Operations*. United Stated of America: Prentice Hall, 134.
- Stohton, D. J., Quinn, L. and Khalil, R.A. (2004). "Use of Genetic Algorithms in Operations Management: Part 1: Applications". *Sage Journals*, 218(3), 315-327.
- Suresh, G. and Sahu, S. (1994). "Stochastic Assembly Line Balancing Using Simulated Annealing". *International Journal of Production Research*, 8, 1801-1810.
- Şahin, M. (2016). *U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinde Üretim Oranının Artırılmasına Yönelik Yeni Çözüm Yaklaşımları*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 12.
- Talbot, F. B. and Patterson, J. H. (1984). "An Integer Programming with Network Cuts for Solving The Assembly Line Balancing Problem". *Management Science*, 30(4), 85-99.
- Thangavelu, S. R. and Shetty, C. M. (1971). "Assembly Line Balancing by Zero-One Integer Programming". *AIIE Transactions*, 3(1), 61-68.
- Thomopoulos, N. T. (1967). "Line Balancing-Sequencing for Mixed-Model Assembly". *Management Science*, 14(2), 59-75.

- Tonge, F. M. (1961). *A Heuristic Program for Assembly Line Balancing*. New York: Prentice Hall Inc., 15-24
- Uğurdağ, H. F., Rachamadugu, R. and Papachristou, C. (1997). “Designing Paced Assembly Lines with Fixed Number of Stations”. *European Journal of Operational Research*, 102, 488-501.
- Vilarinho, P. M. and 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.
- Villarreal, B. and Alanis, M. (2011). “A Simulation Approach to Improve Assembly Line Performance”. *International Journal of Industrial Engineering*, 18(6), 283-290.
- Wee, T. and Magazine, M. J. (1982). “Assembly Line Balancing as Generalised Bin Packing”. *Operations Research Letters*, 1(2), 56-58.
- Wild, R. (1971). *Techniques of Production Management*. Great Britain: Rinehard and Wiston Ltd., 239-243, 270-271.
- Wild, R. (1972). *The Design and Operation of Production Flow Line Systems*. London: John Wiley and Sons.
- Yeroğlu, C. (2001). *Üretim ve Servis Sistemlerinde Pratik Simülasyon Teknikleri*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım, 6-7.
- Yılmaz, M. M. (2006). *Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

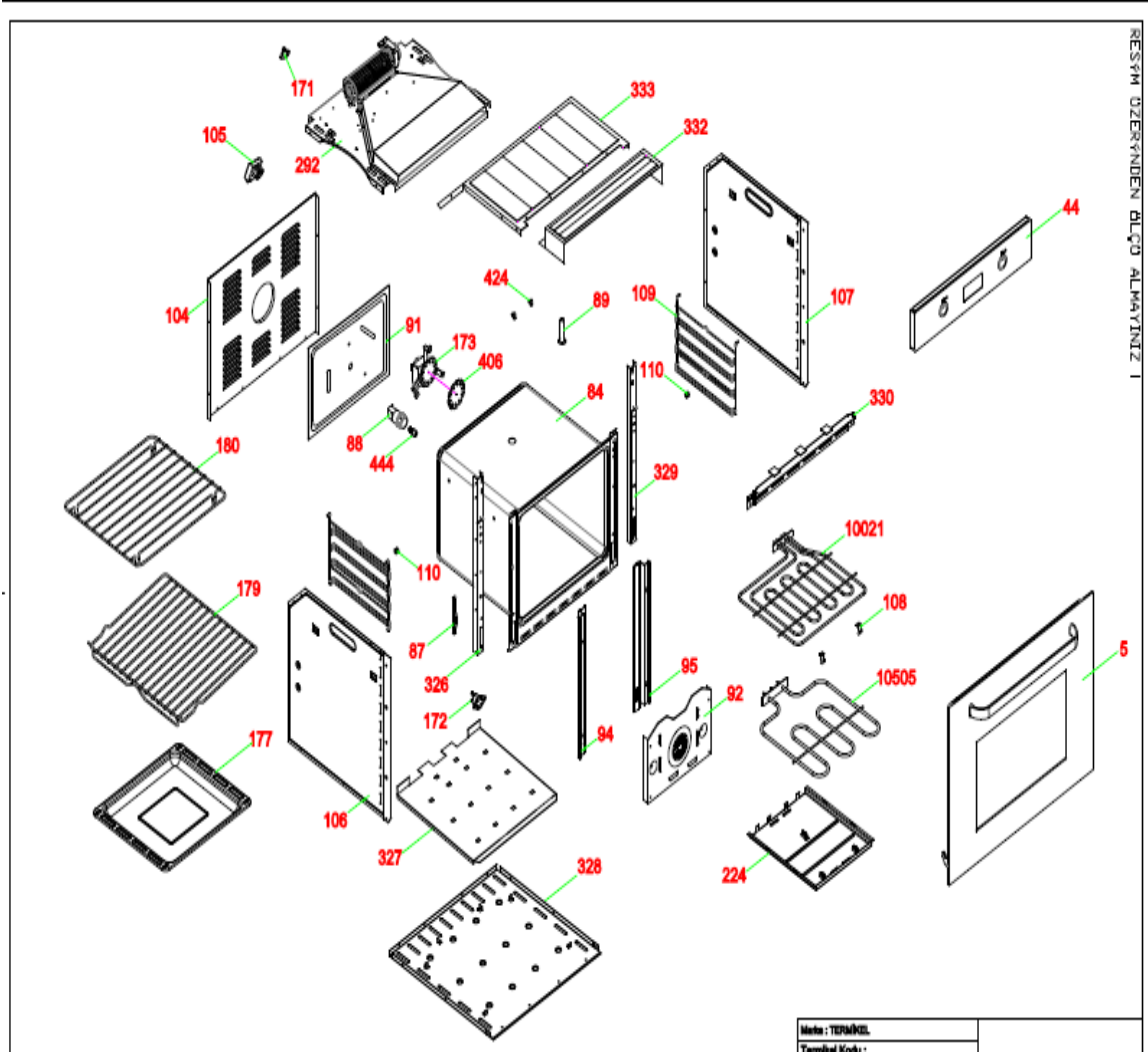


EKLER

EK-1. Fabrika Yerleşim Planı

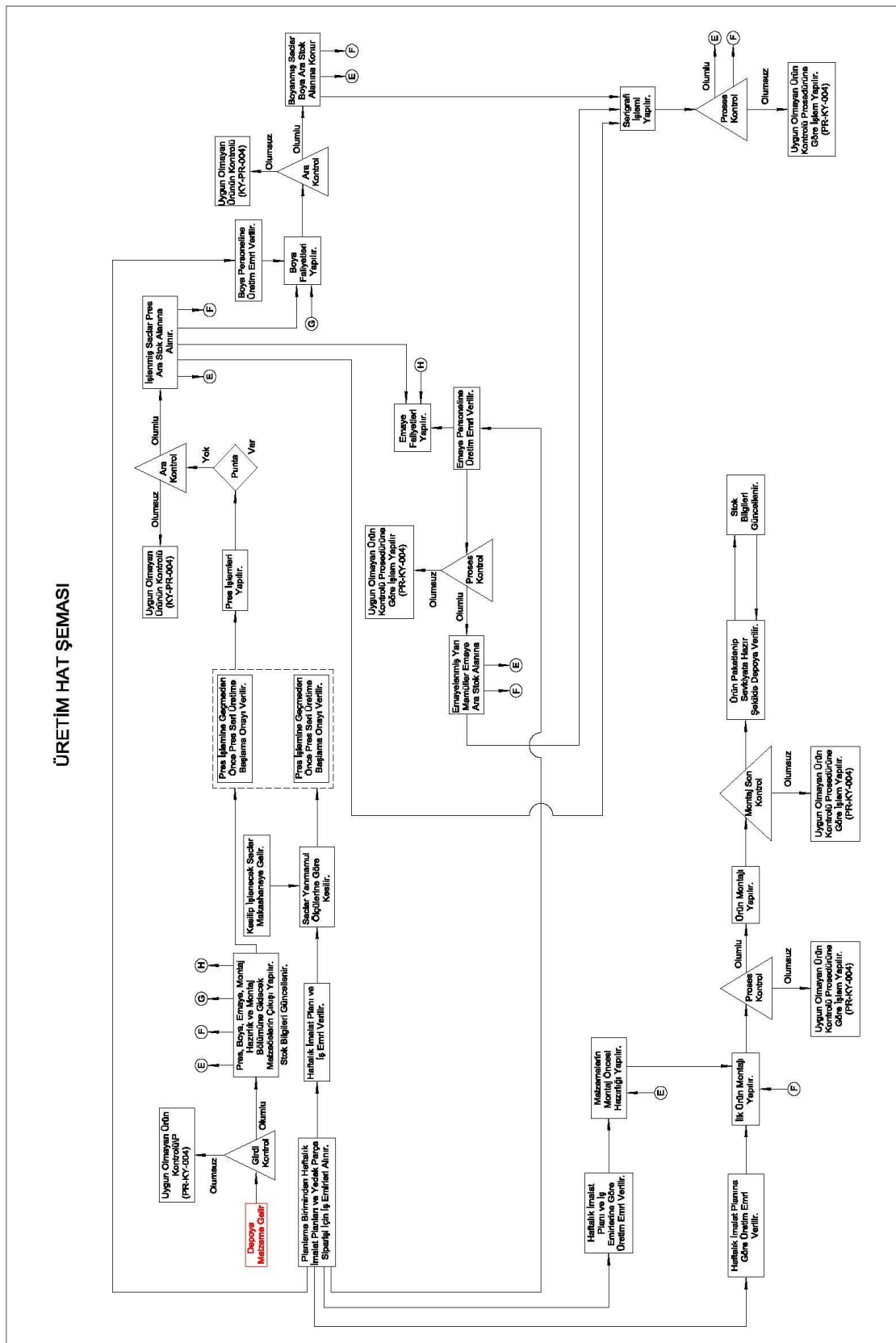


EK-2. Ankastre Fırın Patlak Resmi



Kod	Açıklama	Kod	Açıklama
5	CAM KAPAK KOMPLESİ	172	TERMOSTAT,(LİMİT),250 V 16 A
44	KUMANDA PANELİ	173	MOTORU,FIRIN FAN,22 WATT A CLASS
84	İÇ GÖVDE KOMPLESİ	177	TEPSİ SACI,(SIĞ),RAYLI MODEL
87	MENTEŞESİ,KARŞILIĞI	224	İÇ GÖVDE SACI,(ALT),
88	LAMBASI,İÇ AYDINLATMA,(YUVARLAK)	292	SOĞUTUCU FAN ALT SACI
89	BORUSU,(HAVALANDIRMA) 13 X 1	326	ŞASE SACI,ÖN SOL
91	FANI, DIŞ MUHAFAZA SACI	327	DIŞ GÖVDE TABAN ARA SACI
92	FANI,İÇ MUHAFAZA SACI	328	ALT TABAN SACI
94	DEKORU SOL	329	ŞASE SACI,ÖN SAĞ
95	DEKORU SAĞ	330	HAVALANDIRMA SACI KOMPLESİ
104	ARKA SACI	332	DIŞ GÖVDE KADEME KAPAK SACI
105	KLEMENS KUTUSU	333	ÜST KAPAK SACI
108	REZİSTANS TUTUCU SACI	406	TURBO FAN PERVANESİ
109	IZGARASI TEL RAF İÇ GÖVDE,(SAĞ+SOL)	424	M6 PERÇİN
110	MAKARASI,TEL RAF KATALİTİK,(M,6 VİDALI)	10021	REZİSTANSI,(ÜST+GRILL)
171	TERMOSTAT,(LİMİT TERS),250 V 10 A	10505	REZİSTANSI,ALT 1200-W,230-V,13550
172	TERMOSTAT,(LİMİT),250 V 16 A	106-107	YAN DUVAR,KOMPLESİ
173	MOTORU,FIRIN FAN,22 WATT A CLASS	179-180	IZGARASI TEL,(AYAKLI)

EK-3. Üretim Hat Şeması



EK-4. Model 2: 13530 -Yana Açılır Turbo Fanlı Ankastre Fırın Zaman Etüdü

ZAMAN ETÜDÜ ÖLÇÜM FORMU													
ÜRÜN : 13530-BO.6043.R		ÖLÇÜMLER (SN)					TOPLAM SÜRE	ORTALAMA SÜRE	TEMPO	NORMAL ZAMAN	PAYLAR TOPLAMI	STANDART ZAMAN	STANDART SAPMA
		1	2	3	4	5							
NO	OPERASYON ADI	46	48	42	41	47	224	45	0,85	38,25	4,5	42,75	2,79
1	Alt Taban- Arasacı montajı	54	56	58	60	57	285	57	0,9	51,3	5,7	57	2
2	Yan duvar elektrik bağlantı	60	72	70	65	71	338	68	0,9	61,2	6,8	68	4,5
3	Yan duvar montajı	51	52	53	54	52	262	52	1	52	5,2	57,2	1,02
4	Dekor/ buharlık montajı	69	73	75	71	70	358	72	0,9	64,8	7,2	72	2,15
5	Limit kulak montajı	69	85	80	82	72	388	78	0,8	62,4	7,8	70,2	6,09
6	İç Panel montajı	38	36	34	37	37	182	36	1	36	3,6	39,6	1,36
7	Elektrik bağlantısı	66	68	75	69	73	351	70	0,9	63	7	70	3,31
8	Kablo termostat montajı	72	76	75	71	68	362	72	0,9	64,8	7,2	72	2,87
9	Cam takma	74	70	71	82	76	373	75	0,85	63,75	7,5	71,25	4,27
10	Bağlantı Kablo Toplama	68	66	70	69	67	340	68	0,95	64,6	6,8	71,4	1,41
11	Panel / cam ayan	66	54	63	65	68	316	63	0,8	50,4	6,3	56,7	4,87
12	Arka Kapak Montajı	52	51	53	55	53	264	53	0,95	50,35	5,3	55,65	1,33
13	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	71	73	69	74	72	359	72	0,9	64,8	7,2	72	1,72
14	Üst Kapak Montajı	56	50	51	52	50	259	52	0,9	46,8	5,2	52	2,23
15	Kademe Kapak Montajı	60	62	73	65	70	330	66	0,85	56,1	6,6	62,7	4,86
16	Dekor Montajı ve Ayan	32	30	33	38	39	172	34	0,9	30,6	3,4	34	3,5
17	Tepsi, Izgara Yerleştirme	60	58	57	61	65	301	60	0,9	54	6	60	2,79
18	Elektriksel Kontrol	33	38	37	34	34	176	35	0,8	28	3,5	31,5	1,94
19	Fiziksel Kontrol	49	52	53	41	50	245	49	0,9	44,1	4,9	49	4,24
20	Temizlik	18	21	20	17	23	99	20	0,95	19	2	21	2,14
21	Kablo Bağlama ve Etiketleme												

EK-5. Model 3: 13551 - Düz Açılır Fansız Ankastre Fırın Zaman Etüdü

ZAMAN ETÜDÜ ÖLÇÜM FORMU

ÜRÜN : 13551-TAF301BL		ÖLÇÜMLER (SN)					TOPLAM SÜRE	ORTALAMA SÜRE	TEMPO	NORMAL ZAMAN	PAYLAR TOPLAMI	STANDART ZAMAN	STANDART SAPMA
NO	OPERASYON ADI	1	2	3	4	5							
1	Alt Taban- Arasacı montajı	44	42	46	45	47	224	45	0,85	38,25	4,5	42,75	1,72
2	Menteşe-şase direk montajı	31	27	28	30	28	144	29	0,9	26,1	2,9	29	1,47
3	Yan duvar montajı	49	54	47	45	52	247	49	0,85	41,65	4,9	46,55	3,26
4	Dekor/ buharlık montajı	54	53	52	49	51	259	52	0,95	49,4	5,2	54,6	1,72
5	Limit kulak montajı	54	62	55	60	57	288	58	0,9	52,2	5,8	58	3,01
6	İç panel hazırlık	20	25	22	21	22	110	22	0,95	20,9	2,2	23,1	1,67
7	İç Panel montajı	40	38	34	35	35	182	36	0,9	32,4	3,6	36	2,24
8	Elektrik bağlantısı	70	73	71	74	72	360	72	0,9	64,8	7,2	72	1,41
9	Dış panel montajı	70	65	68	63	70	336	67	0,9	60,3	6,7	67	2,79
10	Bağlantı Kablosu Toplama	43	45	39	42	40	209	42	0,9	37,8	4,2	42	2,14
11	Cam kapak takma	73	68	72	75	70	358	72	0,9	64,8	7,2	72	2,42
12	Cam panel ayarı	55	57	60	58	63	293	59	0,9	53,1	5,9	59	2,73
13	Arka Kapak Montajı	54	53	55	55	53	270	54	1	54	5,4	59,4	0,89
14	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	42	42	35	38	37	194	39	0,9	35,1	3,9	39	2,79
15	Üst Kapak Montajı	48	45	53	57	46	249	50	0,8	40	5	45	4,53
16	Kademe Kapak Montajı	59	62	66	69	60	316	63	0,85	53,55	6,3	59,85	3,76
17	Dekor Montajı ve Ayarı	48	51	50	49	53	251	50	0,85	42,5	5	47,5	1,72
18	Tepsi , Izgara Yerleştirme	20	26	29	28	25	128	26	0,9	23,4	2,6	26	3,14
19	Elektriksel Kontrol	32	31	29	33	33	158	32	0,95	30,4	3,2	33,6	1,5
20	Fiziksel Kontrol	34	38	35	38	32	177	35	0,9	31,5	3,5	35	2,33
21	Temizlik	24	26	22	24	23	119	24	0,95	22,8	2,4	25,2	1,33
22	Kablo Bağlama ve Etiketleme	21	17	20	18	16	92	18	0,95	17,1	1,8	18,9	1,85

EK-6. Model 4: 13555 - Yana Açılır Fansız Ankastre Fırın Zaman Etüdü

ZAMAN ETÜDÜ ÖLÇÜM FORMU												
ÜRÜN : 13555		ÖLÇÜMLER (SN)					ORTALAMA SÜRE	TEMPO	NORMAL ZAMAN	PAYLAR TOPLAMI	STANDART ZAMAN	STANDART SAPMA
NO	OPERASYON ADI	1	2	3	4	5						
1	Alt Taban- Arasacı montajı	71	69	72	70	65	69	0,85	58,65	6,9	65,55	2,42
2	Yan duvar elektrik bağlantı	68	61	65	63	66	65	0,85	55,25	6,5	61,75	2,42
3	Yan duvar montajı	70	72	69	71	67	70	0,9	63	7	70	1,72
4	Dekor/ buharlık montajı	64	66	62	63	66	64	0,9	57,6	6,4	64	1,6
5	Limit kulak montajı	58	61	56	60	62	59	0,9	53,1	5,9	59	2,15
6	İç Panel montajı	74	72	73	70	71	72	0,9	64,8	7,2	72	1,41
7	Elektrik bağlantısı	72	67	70	71	69	70	0,9	63	7	70	1,72
8	Kablo, termostat montajı	65	70	68	61	64	66	0,8	52,8	6,6	59,4	3,14
9	Cam kapak takma	35	40	39	31	37	36	0,8	28,8	3,6	32,4	3,2
10	Bağlantı Kablosu Toplama	36	37	35	33	38	36	0,9	32,4	3,6	36	1,72
11	Arka Kapak Montajı	49	52	53	54	51	52	0,9	46,8	5,2	52	1,72
12	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	58	65	60	55	59	59	0,8	47,2	5,9	53,1	3,26
13	Üst Kapak Montajı	66	72	68	66	65	67	0,9	60,3	6,7	67	2,5
14	Kademe Kapak Montajı	52	54	55	58	57	55	0,9	49,5	5,5	55	2,14
15	Dekor Montajı ve Ayarı	73	80	83	75	85	79	0,8	63,2	7,9	71,1	4,58
16	Tepsi, Izgara Yerleştirme	56	58	59	57	61	58	0,9	52,2	5,8	58	1,72
17	Elektriksel Kontrol	57	63	65	59	62	61	0,85	51,85	6,1	57,95	2,86
18	Fiziksel Kontrol	32	35	30	33	31	32	0,9	28,8	3,2	32	1,72
19	Temizlik	50	54	52	49	51	51	0,9	45,9	5,1	51	1,72
20	Kablo Bağlama ve Etiketleme	20	18	18	19	21	19	0,9	17,1	1,9	19	1,17

EK-7. Mevcut Durum Arena Program Raporu

13:15:31

Category Overview

Mart 22, 2019

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications:10

Time Units:Seconds

Key Performance Indicators

System

Average

Number Out383

13:15:31

Category Overview

Mart 22, 2019

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications:10

Time Units:Seconds

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
parca	954.94	0,88	953.32	956.84	950.15	1194.00
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
parca	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
parca	91.7070	33,83	51.5105	205.17	0.00	619.69
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
parca	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
parca	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
parca	1046.64	34,45	1005.56	1162.01	950.15	1713.27

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
parca	396.00	0,00	396.00	396.00		
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
parca	382.70	0,59	381.00	384.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
parca	12.5744	0,41	12.0882	13.9349	0.00	17.0000

EK-7 (devam)

13:15:31

Category Overview

Mart 22, 2019

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10Time Units: Seconds

Queue

Time

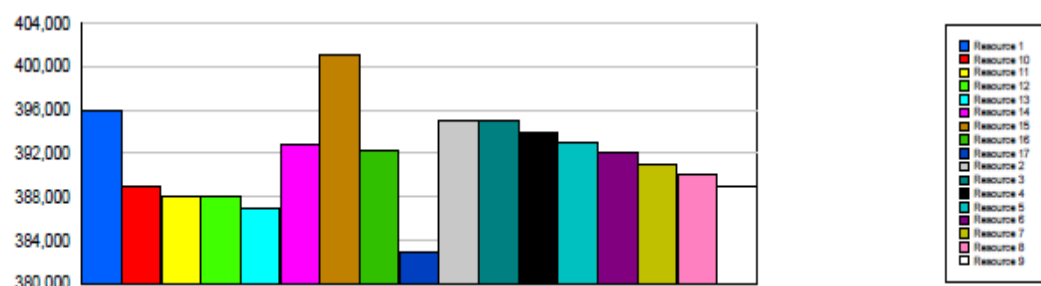
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Alt taban arasaci montaji.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arka kapak montaji.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Baglanti kablosu toplama.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cam kapak takma.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dekor buharlik ve limit montaji.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dekor montaji ve ayari.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dis panel hazirlik ve montaj.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Elektriksel kontrol.Queue	3.3388	0,86	2.0985	5.1269	0.00	95.0000
Fiziksel kontrol.Queue	0.1560	0,06	0.03885507	0.2769	0.00	32.9962
ic panel montaj ve elektrik b.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kilavuz karton ve kablo baglama etiket.Queue	86.5139	32,37	48.5289	195.20	0.00	346.82
Mentese sase direk montaji.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tamir 1.Queue	2.4244	2,90	0.00	11.3762	0.00	53.3729
Tamir 2.Queue	68.7863	20,12	34.2680	134.92	0.00	279.19
Temizlik.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tepsi ve izgara yerlestirme.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ust kapak montaji ve kademe kapak montaji.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Üst kapak kablo baglanti.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yan duvar montaji.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

EK-7 (devam)

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Resource 1	396.00	0,00	396.00	396.00
Resource 10	389.00	0,00	389.00	389.00
Resource 11	388.00	0,00	388.00	388.00
Resource 12	388.00	0,00	388.00	388.00
Resource 13	387.00	0,00	387.00	387.00
Resource 14	392.80	2,26	389.00	400.00
Resource 15	401.10	2,91	396.00	407.00
Resource 16	392.20	1,68	389.00	396.00
Resource 17	382.90	0,71	381.00	384.00
Resource 2	395.00	0,00	395.00	395.00
Resource 3	395.00	0,00	395.00	395.00
Resource 4	394.00	0,00	394.00	394.00
Resource 5	393.00	0,00	393.00	393.00
Resource 6	392.00	0,00	392.00	392.00
Resource 7	391.00	0,00	391.00	391.00
Resource 8	390.00	0,00	390.00	390.00
Resource 9	389.00	0,00	389.00	389.00



EK-8. Önerilen Durum ARENA Program Raporu

14:30:47

Category Overview

Mart 22, 2019

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10

Time Units: Seconds

Key Performance Indicators

System

Average

Number Out

440

14:30:47

Category Overview

Mart 22, 2019

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10

Time Units: Seconds

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
entity	783.57	0,50	782.50	784.63	780.95	836.96
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
entity	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
entity	2.6875	0,56	1.4917	3.9980	0.00	103.14
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
entity	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
entity	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
entity	786.26	1,05	783.99	788.57	780.95	1003.78

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
entity	451.00	0,00	451.00	451.00
parca	0.00	0,00	0.00	0.00
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
entity	439.90	0,23	439.00	440.00
parca	0.00	0,00	0.00	0.00

Ek-8 (devam)

14:30:47

Category Overview

Mart 22, 2019

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Seconds

Queue

Time

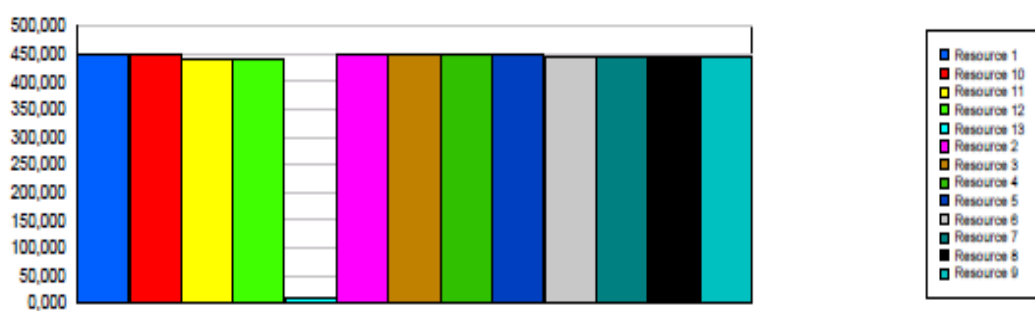
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
arka kapak ve dekor montaji.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dis panel montaji ve baglanti kablosu t.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Elektriksel ve fiziksel kontrol.Queue	2.6200	0,54	1.4684	3.8621	0.00	97.7361
ic panel montaji ve elektrik baglantisi.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kablo baglama etiket ve temizlik.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kademe kapak montaji ve tepsi izgara y.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kilavuz karton yerlestirme.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Limit ve buharlik dekor montaji.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mentese sase ve alt taban arasaci montaji.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tamir.Queue	0.04780067	0,11	0.00	0.4780	0.00	5.7361
üst kapak kablo b.ve cam kapak takma.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
üst kapak montaji.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yan duvar montaii.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ek-8 (devam)

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Resource 1	451.00	0,00	451.00	451.00
Resource 10	450.50	1,63	447.00	454.00
Resource 11	440.90	0,23	440.00	441.00
Resource 12	439.90	0,23	439.00	440.00
Resource 13	8.6000	1,62	5.0000	12.0000
Resource 2	450.00	0,00	450.00	450.00
Resource 3	449.00	0,00	449.00	449.00
Resource 4	448.00	0,00	448.00	448.00
Resource 5	447.00	0,00	447.00	447.00
Resource 6	446.00	0,00	446.00	446.00
Resource 7	445.00	0,00	445.00	445.00
Resource 8	444.00	0,00	444.00	444.00
Resource 9	443.00	0,00	443.00	443.00



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Gündoğdu, Gamze Gizem
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 17.06.1991- Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0541 678 29 49
Faks : -
e-mail : gamzegzmcoban@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/SBE	2019
Lisans	Osmangazi Üniversitesi /MMF	2013
Lise	Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-2018	Termikel Şirketler Grubu	Ürün Belgelendirme Sorumlusu- Kaizen Sorumlusu
2014-2016	MT Enerji A.Ş.	Kalite Yönetim Temsilcisi
2013-2014	İş Yazılım ve Donanım A.Ş	İş Geliştirme Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR..

