



ÇOK KATLI ÜRÜNLERİN ÜRETİLDİĞİ KARIŞIK-MODELLİ ÇİFT-TARAFLI MONTAJ HATTININ DENGELENMESİ: BİR UYGULAMA

Gizem MERİÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Gizem MERİÇ tarafından hazırlanan “ÇOK KATLI ÜRÜNLERİN ÜRETİLDİĞİ KARIŞIK-MODELLİ ÇİFT-TARAFLI MONTAJ HATTININ DENGELENMESİ: BİR UYGULAMA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Talip KELLEGÖZ

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Başkan: Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Adnan AKTEPE

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 17/07/2019

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

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri 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.

Gizem MERİÇ
17/07/2019

ÇOK KATLI ÜRÜNLERİN ÜRETİLDİĞİ KARIŞIK-MODELLİ ÇİFT-TARAFLI
MONTAJ HATTININ DENGELENMESİ: BİR UYGULAMA

(Yüksek Lisans Tezi)

Gizem MERİÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Günümüzün rekabeti yüksek pazarlarında değişen, çeşitlenen ve hacmi artan müşteri taleplerine en etkin ve verimli cevap verebilmek için montaj hatları yaygın olarak kullanılmaktadır. Etkin bir montaj hattı kurmanın ön şartlarından birisi montaj hattı dengeleme çalışması gerçekleştirilmesidir. Bu tez çalışması, siparişe göre karışık model üretimi yapan bir montaj hattının yeniden tasarımı üzerinedir. Uygulama çalışmasının yapıldığı montaj hattında ürün modellerinin katlı yapısından dolayı hat etkinliği düşüktür. Dolayısıyla hat etkinliğini yükseltmek için ilk aşama olarak, ürün modellerinin birbirine benzetilmesi amacıyla sanal ürün tasarımı çalışması yapılmıştır. Bu aşamada, mümkün bütün ürün kombinasyonları arasından sanal ürünleri belirlemek amacıyla kesinti kaybı problemi formülasyonunu temel alan bir matematiksel model önerilmiştir. Bu yolla, daha etkin bir hat dengesi elde etme potansiyeli arttırılmıştır. İkinci aşamada hat dengeleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Sanal ürünlerin yapısı gereği montaj hattı mevcut durumdaki basit yapısının tersine çift taraflı olarak dikkate alınmıştır. Dengeleme işleminde birincil amaç belirli çevrim zamanı için toplam işçi sayısının en küçüklenmesi olup ikincil amaç ise çift istasyon sayısını bir diğer deyişle hat uzunluğunu en küçüklemektir. Literatürdeki formülasyonlara dayanarak geliştirilen matematiksel modelin gerçek hayat dengeleme problemini çözme yeteneğine sahip olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, vaka problemini çözmek için tavlama benzetimi algoritması önerilmiştir. Uygulama çalışmasının yapıldığı montaj hattının mevcut dengesi ile tavlama benzetiminden elde edilen yeni çözüm kıyaslanmış ve sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca, işletme yönetiminin kapasite artışı talebi olmasından dolayı, montaj hattının yeni üretim oranını sağlayacak duruma göre dengeleme çalışmasına yönelik sonuçlar da sunulmuştur.

Bilim Kodu : 90617

Anahtar Kelimeler : Karışık-Modelli Çift-Taraflı Montaj Hattı, Çok Katlı Ürün, Hat Dengeleme, Matematiksel Model, Tavlama Benzetimi Algoritması

Sayfa Adedi : 121

Danışman : Doç. Dr. Talip KELLEĞÖZ

BALANCING OF A MIX-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINE WHERE MULTI-LAYERED PRODUCTS ARE PRODUCED: A CASE STUDY

(M. Sc. Thesis)

Gizem MERİÇ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

In today's highly competitive markets, assembly lines are extensively used to respond to changing, diversifying and increasing customer demands in the most effective and efficient manner. One of the prerequisites for installing an effective assembly line is the balancing of the line. This thesis study is about the redesign of an assembly line that produces mixed models according to customer orders. In the assembly line where the case study is done, the line efficiency is low due to the layered structure of the product models. Therefore, in order to increase the efficiency of the line, as a first phase, a virtual product design study is applied to make the product models more similar. In this phase, a mathematical model based on the well-known formulation of cutting stock problem has been proposed to determine virtual products from all possible product combinations. In this way, the potential to achieve a more efficient line balance is increased. In the second phase, a line balancing study is performed. Due to the properties of virtual products, the structure of new line is considered two-sided as opposed to its current simple form. The primary objective in the line balancing process is the minimization of the total number of workers for a given cycle time; the secondary objective is to minimize the number of two-sided stations, i.e. the length of the line. It has been seen that the mathematical model that is developed based on the formulations in the literature is not capable to solve the real life balancing problem instance. Therefore, a heuristic method based on simulated annealing algorithm is proposed to solve the case problem. The current balance of the assembly line where the case study is carried out is compared with the new solution obtained from the proposed heuristic and the results are presented. In addition, due to the demand for capacity increase by the company management, the results of balancing study to provide the new production rate are given.

Science Code : 90917

Key Words : Mixed-Model Two-Sided Assembly Line, Multi-Layed Product, Line Balancing, Mathematical Model, Simulated Annealing Algorithm

Page Number : 121

Supervisor : Assoc. Prof. Talip KELLEĞÖZ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca beni her konuda destekleyen, yüreklendiren, rehberlik eden, tavsiye ve olumlu eleştirilerini sunan danışmanım Sayın Doç. Dr. Talip KELLEĞÖZ'e minnettarlığımı belirtmek isterim. Tezimin araştırma aşamasından uygulama aşamasına kadar bana yol gösteren, yoğunluğuna rağmen bana zaman ayırıp destek olan ve her zaman yolumu aydınlatan Sayın Doğukan ŞİMŞEK'e, bu günlere gelmemde sonsuz emekleri geçen ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışma boyunca yoğun iş temposuna rağmen tatil günlerini, değerli zamanını gece gündüz demeden bana ayıran ve destek veren Savaş ERTUĞRUL'a teşekkürlerimi sunarım. Son olarak üniversite hayatım boyunca beni hep bir adım öne taşımak için değerli tavsiyelerini sunan, beni yüksek lisans eğitimine teşvik ederek bugün bu çalışmanın ortaya çıkmasını vesile olan Sayın Prof. Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na teşekkürlerimle.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. MONTAJ HATTI Dengeleme	5
2.1. Montaj Hattı	5
2.2. Montaj Hattı Dengelemede Kullanılan Temel Kavramlar.....	6
2.3. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması	9
2.4. Çift Taraflı Montaj Hatları	14
2.5. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemleri	16
3. TAVLAMA BENZETİMİ ALGORİTMASI.....	21
3.1. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Tarihçesi.....	21
3.2. Tavlama Benzetimi Algoritması ile İlgili Temel Kavramlar.....	22
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	27
4.1. Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Literatür Taraması	27
4.2. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Literatür Taraması.....	37
4.3. Karışık Modelli Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Literatür Taraması	42
5. PROBLEMİN TANIMI	45
6. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMI.....	49

	Sayfa
6.1. Sanal Ürün Tasarımı.....	49
6.1.1. Sanal ürün kombinasyonlarının oluşturulması.....	50
6.1.2. Sanal ürün kombinasyonlarının benzerlik skorlarının hesaplanması	50
6.1.3. Kombinasyonların seçilmesi	52
6.2. Montaj Hattının Dengelenmesi.....	55
6.2.1. Matematiksel formülasyon	55
6.2.2. Önerilen tavlama benzetim algoritması	69
7. UYGULAMA ÇALIŞMASI.....	75
7.1. Sanal Ürün Tasarımı.....	77
7.1.1. Sanal ürün kombinasyonlarının oluşturulması.....	77
7.1.2. Benzerlik skorlarının hesaplanması	78
7.1.3. Sanal ürün seçimi	80
7.2. Montaj Hattının Dengelenmesi.....	82
7.3. Mevcut Durumla Karşılaştırma	83
7.4. Yeni İhtiyaçlara Yönelik Montaj Hattı Dengelemesi.....	85
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR	89
EKLER.....	99
EK-1. Tek katlı ürün modellerinin görev süreleri.....	100
EK-2. Tek katlı ürün modellerinin ortak görev tablosu.....	101
EK-3. Üç katlı ürün modellerinin görev tarafları.....	103
EK-4. Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu.....	105
EK-5. Üç katlı ürün modellerinin görev süreleri	114
EK-6. Üç katlı ürün modellerinin görev tarafları.....	117

Sayfa

EK-7. Çevrim zamanı 54 dakikaya göre görevlerin istasyonlara atanması.....	119
EK-8. Çevrim zamanı 36 dakikaya göre görevlerin istasyonlara atanması.....	120
ÖZGEÇMİŞ	121



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Tavlama ve optimizasyon süreci arasındaki ilişki	22
Çizelge 6.1. 4 modelin görev süreleri	63
Çizelge 6.2. Parametre seçim tablosu	73
Çizelge 7.1. Yıllara göre ürün modellerinin talep oranları	76
Çizelge 7.2. Ürün modellerinin toplam görev süresi ve sayıları.....	76
Çizelge 7.3. Oluşturulan sanal ürün kombinasyonları	77
Çizelge 7.4. Tek katlı ürün model çiftleri arasındaki ortak-farklı görev sayıları.....	78
Çizelge 7.5. Tek katlı ürün modelleri arasındaki benzerlik skorları	79
Çizelge 7.6. Her kombinasyonun ana ürün BBC'ye benzerlik oranı.....	80
Çizelge 7.7. Mevcut ve önerilen durum dengeleme sonuçlarının değerlendirilmesi.....	85

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Montaj hattı görseli.....	5
Şekil 2.2. 11 görevli bir teknolojik öncelik diyagramı	7
Şekil 2.3. Teknolojik öncelik diyagramına ilişkin öncelik matrisi	8
Şekil 2.4. Montaj hatlarının sınıflandırılması	10
Şekil 2.5. Düz/Geleneksel Montaj Hattı	10
Şekil 2.6. U-tipi montaj hattı.....	11
Şekil 2.7. Tek modellenli montaj hattı.....	12
Şekil 2.8. Çok modellenli montaj hattı	12
Şekil 2.9. Karışık modellenli montaj hattı	13
Şekil 2.10. Paralel Montaj Hattı.....	13
Şekil 2.11. Çift taraflı montaj hattı	14
Şekil 2.12. Çift taraflı montaj hatlarında istasyon içi öncelik ilişkilerinin sağlanması ..	15
Şekil 2.13. Bir öncelik şeması.....	16
Şekil 2.14. İki farklı çözüm: (a) dört istasyona ihtiyaç var (b) üç istasyona ihtiyaç var	17
Şekil 2.15. 16 görevli problemin öncelik şeması, görev süreleri ve operasyon tarafları	18
Şekil 2.16. Çevrim zamanı 15 için görev atamaları; (a) tek, (b) çift taraflı montaj hattı	19
Şekil 3.1. Tavlama benzetimi algoritması.....	24
Şekil 5.1. Montaj hattının betimlemesi	46
Şekil 5.2. Tek katlı ve çok katlı ürün modellerinin betimleyici görseli.....	46
Şekil 6.1. Çözüm yaklaşımı	49
Şekil 6.2. Aralarındaki benzerliği hesaplamak için verilen iki küme	51
Şekil 6.3. Öncelik diyagramı, görev operasyon yönü; model-1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) ...	62

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. 4 modelin birleştirilmiş öncelik diyagramı ve görev operasyon yönü	62
Şekil 6.5. Dengeleme sonucu modellere göre istasyon dolulukları	64
Şekil 6.6. Model-1 görev atması; (a) 1., (b) 2., (c) 3. istasyon görevleri.....	65
Şekil 6.7. Model-2 görev atması; (a) 1., (b) 2., (c) 3. istasyon görevleri.....	66
Şekil 6.8. Model-3 görev atması; (a) 1., (b) 2., (c) 3. istasyon görevleri.....	67
Şekil 6.9. Model-4 görev atması; (a) 1., (b) 2., (c) 3. istasyon görevleri.....	68
Şekil 6.10. Rassal olarak üretilmiş görev ve istasyon dizilimi	69
Şekil 6.11. Amaç fonksiyonu hesaplama prosedürü.....	70
Şekil 6.12. Komşu Üretme Algoritması.....	71
Şekil 6.13. Komşu üretmede çözümün Görev Parçasının kullanılması.....	72
Şekil 6.14. Komşu üretmede çözümün İstasyon Parçasının kullanılması	72
Şekil 7.1. Montaj hattında üretilen ürün modelleri.....	75
Şekil 7.2. Uygulama çalışmasının yapıldığı montaj hattının mevcut durumu.....	75
Şekil 7.3. Tek katlı ürün modellerinin kıyaslama sonucu görev kümeleri	78
Şekil 7.4. Seçilen ürün kombinasyonlarından üretilecek olan miktarlar	81
Şekil 7.5. Seçilen ürün kombinasyonlarının görselleri	82
Şekil 7.6. Seçilen ürünlerin birbirleriyle olan yön ilişkiler.....	82
Şekil 7.7. Mevcut durum montaj dengelemesi.....	83
Şekil 7.8. Önerilen çözümdeki dengeleme sonuçları.....	84
Şekil 7.9. Gelecek ihtiyaçlara göre montaj hattı dengesine yönelik özet bilgiler.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A_E	Hattın iki tarafında yapılan görevler kümesi $A_E \subset I$
A_{ij}	i kombinasyonundaki j ürünü miktarı
A_L	Hattın sol tarafında yapılan görevler kümesi $A_L \subset I$
A_R	Hattın sağ tarafında yapılan görevler kümesi $A_R \subset I$
C	Çevrim zamanı
$C_{(i)}$	Görev i 'nin operasyon tarafı karşındaki görevler
D_j	J malzemesinin talebi
D_j	j ürünü için talep miktarı
E_C	Mevcut çözümün amaç fonksiyon değeri
E_N	Komşu çözümün amaç fonksiyon değeri
E_0	İlk çözümün amaç fonksiyon değeri
F_j	j 'nin her iki tarafı kullanılıyor ise 1; değilse 0
G_j	j 'nin tek tarafı kullanılıyor ise 1; değilse 0
I	Görev kümesi; $I: \{1,2, \dots, i, \dots, nt\}$
i	Sanal ürün kombinasyonu
i, h, p, r	Görev
J	Çift istasyon kümesi; $J: \{1,2, \dots, j, \dots, nms\}$
JI	Jaccard indeksi
j	Ürün
j, g	Çift istasyon
(j, k)	Çift istasyon j ve onun operasyon tarafı k
$K_{(i)}$	Görev i 'nin tercih edilen operasyon tarafı kümesi;

$$K_{(i)} = \begin{cases} \{1\} & i \in A_R \\ \{2\} & i \in A_L \\ \{1,2\} & i \in A_E \end{cases}$$

Simgeler**Açıklamalar**

k, f	Hattın operasyon tarafı $k, f = \begin{cases} 1, & \text{sol taraf} \\ 0, & \text{sağ taraf} \end{cases}$
L_j	J malzemesinin uzunluğu
M	Yeterince büyük sabit
m	Ürün modeli
M	Ürün modeli kümesi; $M: \{1, 2, \dots, m, \dots, npm\}$
$\ M\ $	Model sayısı
$P_{(i)}$	Görev i 'nin hemen öncülleri kümesi
$P_{a(i)}$	Görev i 'nin bütün öncülleri kümesi
P_0	Hiç öncülü olmayan görevler; $P_0 = \{i \in I \mid P_{(i)} = \emptyset\}$
$S_{(i)}$	Görev i 'nin hemen ardılları kümesi
$S_{a(i)}$	Görev i 'nin bütün ardılları kümesi
S_0	İlk çözüm
S_B	En iyi çözüm
S_C	Mevcut çözüm
S_i	i ürün kombinasyonunun benzerlik skoru
S_N	Komşu çözüm
T	Sıcaklık değeri
T_{min}	Son sıcaklık
t_{im}	Görev i 'nin, m modeli için operasyon zamanı
t_{im}^f	m modeli için görev i 'nin bitiş zamanı
T_0	Başlangıç sıcaklığı
V_{jkm}	istasyon (j, k) m modeli için açılmış ise 1; değilse 0
x_{ijk}	i görevi istasyon (j, k) 'ya atanmış ise 1; değilse 0
x_i	Üretilecek olan i kombinasyonu miktarı
y_i	1, eğer i kombinasyonu üretim için seçilirse; değilse 0
Z_{ip}	i aynı istasyonda p 'den önce yapılıyorsa 1; değilse 0
ΔE	Amaç fonksiyonundaki değişim miktarı
α	Soğuma oranı
α	Kombinasyon dizilimindeki sol taraf
β	Kombinasyon dizilimindeki orta taraf

Simgeler**Açıklamalar** γ

Kombinasyon dizilimindeki sağ taraf

 φ

Çok büyük pozitif bir sayı

 ε Çok küçük pozitif bir sayı, $0 < \varepsilon \leq \left(\frac{1}{nms+1}\right)$ **Kısaltmalar****Açıklamalar****1D-CSP**

Bir Boyutlu Stok Kesme Problemi

COR

Korelasyon Katsayısı

COS

Cosine Benzerliği

ÇMHD

Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme

ÇMHDP

Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi

KÇMHDP

Karışık Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi

KMHDP

Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Problemi

MHD

Montaj Hattı Dengeleme

MHDP

Montaj Hattı Dengeleme Problemi

MSD

Ortalama Kare Mesafesi

TB

Tavlama Benzetimi

TBA

Tavlama Benzetimi Algoritması

TBM

Sınırlı Pearson Korelasyonu

TZÜ

Tam Zamanında Üretim

WRMF

Ağırlıklandırılmış Matris Faktörlendirme Modeli

1. GİRİŞ

Son yıllarda, montaj hatları üretim sistemlerinin etkinliğini arttırmak için kullanılan başlıca mekanizmalardan biri haline gelmiştir. Montaj hatları ilk olarak 1915 yılında Henry Ford'un, Taylor'un bilimsel yönetim ilkelerini uygulayarak Ford Model T arabalarının üretilmesinde kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. Ford, otomobil üretiminde yapılması gereken bütün operasyonları çalışanlara bölüştürerek, her çalışanın sürekli aynı işlemleri yapmasını sağlamıştır. Bu ise çalışanların yaptıkları işlerde uzmanlaşmasını getirmiştir. Sonuç olarak çok sayıda aynı tip otomobili çok daha düşük maliyetlerde ve çok daha düşük sürelerde üretmek mümkün olmuştur. Akış tipi üretimin temelini oluşturan geleneksel düz montaj hatları zamanla müşteri beklentileri, rekabet faktörleri ve teknolojik ilerlemelere bağlı olarak tasarım açısından değişik şekillerde kullanılmıştır. Bunlar arasında; Toyota üretim sisteminin başarıya ulaşmasında önemli bir yeri olan U-tipi montaj hatları, benzer üretim karakteristikleri gösteren birden fazla ürün modelinin aynı montaj hattında üretilbildiği karışık modelli montaj hatları, birbirine paralel birden fazla montaj hattının birlikte kullanılmasına fırsat tanıyan paralel montaj hatları ve büyük boyutlu otomobil, otobüs, kamyon vb. ürünlerin montaj işlemlerinin montaj hattının her iki tarafından yapılabilmesine olanak tanıyan çift taraflı montaj hatları yer almaktadır.

Montaj hatlarının etkin olarak kullanılmasının ve tasarlanmasının önemi ekonomik ve rekabet faktörlerine dayalı olarak artmıştır. Üreticiler, müşteri istek ve gereksinimlerine kaliteli ve düşük fiyatlı ürünlerle hızlı cevap verebilmek için birçok üretim maliyetini dikkate almaktadırlar. Bunun yanı sıra beklenen taleplerin karşılanması ve giderek pazar payının artırılabilmesi için montaj hattının etkin kullanılması gerekmektedir. Montaj hattının etkin kullanımı ise montaj hattının dikkate alınan amaçlar ve kısıtlar doğrultusunda en iyi şekilde dengelenmesi ile mümkün olabilmektedir.

Montaj hatları akış tipi üretim sistemlerindedir. Bir montaj hattı birbirine malzeme taşıma sistemleri ile bağlanmış istasyonlardan oluşur. Her bir istasyonda iş parçalarına çevrim zamanı denilen sınırlı bir zaman dilimi içerisinde bir veya daha fazla montaj işlemi yapılır. Böylece sabit bir üretim hızı elde edilir. Bir montaj sürecinde iş parçaları üzerinde yapılan her bir montaj işlemine görev adı verilir. Bir görevin yerine getirilmesi için gerekli süreye ise görev süresi denir. Görevler öncelik ilişkileri dikkate alınarak sırasıyla yerine getirilirler.

Görevler arasındaki öncelik ilişkileri ve görev zamanları genel olarak bir öncelik şeması kullanılarak ifade edilir. Öncelik şemasında görevleri temsil eden düğümler, görev zamanları ve öncelik ilişkisini belirten oklar yer alır. Her çevrim zamanından sonra iş parçaları bir istasyondan diğerine hareket eder ve son istasyonda tamamlanan ürün montaj hattından ayrılır. Bazı kısıtlar altında bir veya daha fazla amaç gözetilerek görevlerin istasyonlara paylaştırılması problemine montaj hattı dengeleme (MHD) problemi denir.

MHD problemi ilk olarak Helgeson (1954) tarafından çalışılmıştır ve ilk defa Salvesson (1955) tarafından matematiksel olarak formüle edilmiştir. Bu çalışmalardan sonra günümüze kadar MHD problemi ile ilgili çok sayıda matematiksel modeli, alt ve üst sınır hesaplamalarını, çözüm prosedürlerini, değişik amaç fonksiyonlarını, sezgisel ve meta-sezgisel algoritmaları içeren çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Montaj hatlarında genellikle hattın tek bir tarafından montaj işlemlerinin yapıldığı varsayılır. Özellikle kamyon, traktör, otomobil gibi büyük boyutlu ürünlerin montaj işlemlerinin sadece hattın tek tarafından yapılması mümkün olamamaktadır. Bu durumda hattın her iki tarafı (sağ ve sol tarafları) kullanılarak montaj işlemleri yapılır. Çift taraflı montaj hatları, hattın sağında ve solunda eş zamanlı montaj işlemlerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Çift taraflı montaj hattı dengeleme (ÇMHD) problemi diğer MHD problemleri gibi NP-Zor problemler sınıfındadır (Özcan, 2009).

Bu tez kapsamında uygulanan çözüm metodolojisi temelde birbiriyle ilişkili iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama gerçek hayatta uygulamada olan bir montaj hattında üretilen ürün farklılıklarından kaynaklanan denge kayıplarını yok etmek için ürünler arasında sanal kombinasyonlar yaratıp çok sayıda kombinasyon arasından en benzerlerini seçerek montaj hattında üretilen ürün modelleri belirlemektedir. İkinci aşama ise, seçilen ürün kombinasyonları ile yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda ÇMHD problemlerini baz alarak hattı dengelemektedir. Bu amaçla, bu tezde, ÇMHD problemi için çift istasyon sayısını (montaj hattının uzunluğunu) ve istasyon sayısını (işçi sayısını) en küçükmeyi amaçlayan Özcan ve Toklu'nun (2009a) önerdikleri matematiksel model temelinde bir matematiksel model önerilmiştir. Problemin küçük boyutlu verisi ile matematiksel model çalıştırılmış ve optimal sonuç elde edilmiştir. Fakat gerçek problem verisi ile matematiksel model bir çözüm veremediğinden tavlama benzetimi algoritmasına dayalı bir sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Önerilen algoritmadan elde edilen sonuçlarla mevcut durum kıyaslanmış ve sayısal verilerle

değerlendirilmiştir. Ayrıca işletmenin gelecek durumda talep artışı planlamasına yönelik hat dengeleme çalışması da sunulmuştur.

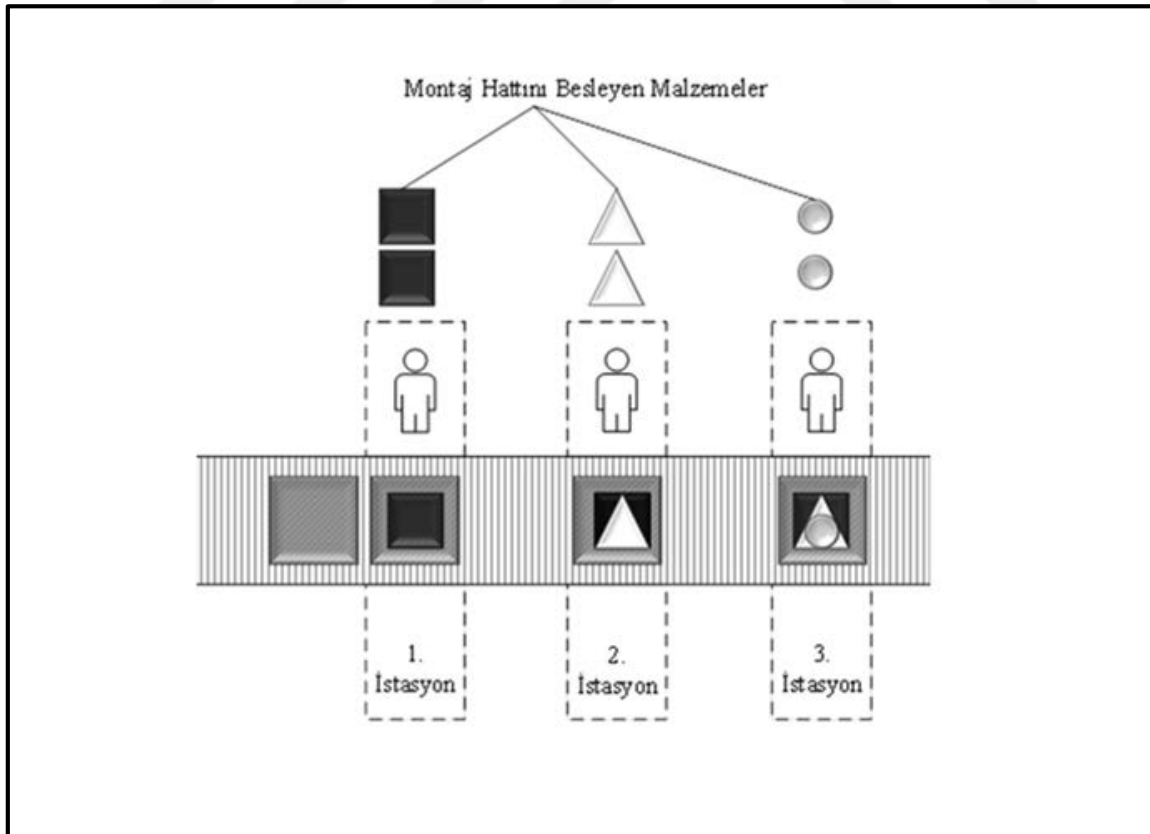
Çalışmanın sunumu şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölüm montaj hatları ve hat dengeleme problemi ile ilgili tanım ve terminolojiyi içermektedir. Aynı bölümde montaj hatlarının sınıflandırılması ve çalışma kapsamında çift taraflı montaj hatları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde çalışmanın çözümü için önerilen tavlama benzetim algoritmasının tarihçesinden, algoritmada kullanılan temel kavramlardan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ele alınan probleme benzerlik gösteren problemler için literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Beşinci bölüm problem tanımı ve mevcut duruma yönelik betimlemeyi içermektedir. Problemin çözümüne yönelik olarak önerilen metodolojisinin detaylı olarak sunulması bölüm altında yer almaktadır. Yedinci bölümde altıncı bölümde anlatılan çözüm metodolojisi çalışmaya konu olan montaj hattı verileriyle uygulanmış ve her aşamanın sonuçları ve değerlendirmeleri sunulmuştur. Hali hazırda çalışmasına devam eden montaj hattı durumu ile önerilen çözüm sonuçları kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar sayısal verilerle ifade edilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca üst yönetimin pazar araştırması sonuçlarına göre kapasite artış talebine karşılık ilgili montaj hattının gelecek durum çalışma planı da sunulmuştur. Sekizinci ve son bölümde ise yapılan çalışma ve ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiş, bu çalışmadan elde edilen tecrübeler doğrultusunda gelecekte yapılabilecek çalışmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.



2. MONTAJ HATTI DENGELEME

2.1. Montaj Hattı

Nihai ürünü üretmek için ürünü oluşturan bileşen, alt montaj ve parçaların birleştirilmesi işlemi montaj olarak tanımlanır (Scholl ve Boysen, 2009). Seri üretim tiplerinden biri olan montaj hatları, montaj işlemleri yoluyla standart ürünlerin yüksek miktarlarda endüstriyel üretimini gerçekleştirmek için kullanılır. Montaj hatları konveyör veya benzer bir malzeme taşıma ekipmanı boyunca sıralanmış iş istasyonlarından oluşur (Scholl ve Boysen, 2009). Belirli bir zaman aralığıyla hattın başlangıcından serbest bırakılan parçalar hat boyunca ilerlerken her bir istasyonda bulunan işçi kendine verilen bir veya birkaç görevi montaj işlemleri yoluyla kendi istasyonunda bulunan parça üzerinde gerçekleştirir. Bu yolla hattın sonuna kadar ilerleyerek tüm görevleri tamamlanan parçalar nihai ürün olarak hattı terk ederler. Şekil 2.1’de örnek bir montaj hattı gösterilmiştir. Montaj hatları ilk olarak 1915 yılında Ford Motor Şirketi tarafından Ford Model T otomobillerinin üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede çok sayıda ürün çok düşük maliyetlerle üretilmiştir.



Şekil 2.1. Montaj hattı görseli

Günümüzde montaj hatları birçok üretim endüstrisinde kullanılan üretim teknolojilerinden birisidir. Günlük yaşamın hemen hemen her alanına girmiş çok sayıda ürün, otomobiller, bilgisayarlar, bazı çocuk oyuncakları, çamaşır makinesi, buzdolabı, televizyon gibi elektronik eşyalar, montaj hatları kullanılarak üretilmektedir. Montaj hatları ilk tasarlandığı 1915 yılından bu yana müşteri istek ve gereksinimlerindeki değişimler, teknolojik ilerlemeler ve işletmelerin etkili rekabet avantajı sağlama çabaları sonucunda değişik biçimlerde kullanılmıştır. Her bir montaj hattı tasarımının kendine has özellikleri, diğerlerinden üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır.

Bir montaj hattının kurulmasında ulaşılmaması gereken en temel amaçlar aşağıda sıralanmıştır (Tanyaş ve Baskak, 2013):

- Düzenli bir malzeme akışı sağlamak,
- İnsan gücü ve tezgâh kapasitelerini en üst düzeyde kullanmak,
- İşlemleri en kısa sürede tamamlamak,
- Montaj hattı üzerindeki istasyon sayısını en küçükmek,
- Boş (atıl) süreleri en küçükmek,
- Atıl süreleri, iş istasyonları arasında düzgün bir şekilde dağıtmak,
- Üretim maliyetlerini en küçükmek.

2.2. Montaj Hattı Dengelemede Kullanılan Temel Kavramlar

MHDP açısından önemli olduğu düşünülen bazı kavramlar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

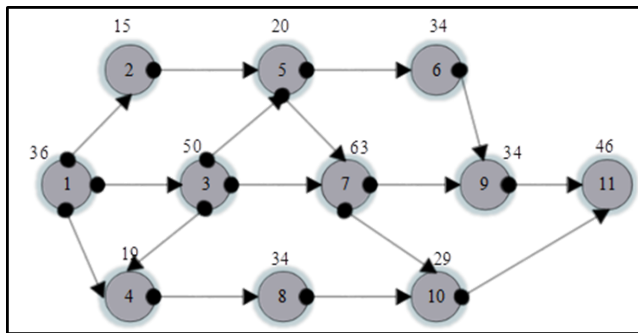
Görev ve görev zamanı: Toplam iş yükünün gereksiz ek iş oluşturmadan bölünemeyen en küçük parçasıdır. Görevin yapılması için gereken süre görev zamanı olarak adlandırılır (Scholl, 1999).

İş istasyonu, istasyon zamanı: Toplam iş yükünü oluşturan tüm görevlerin belirli bir alt setinin yapıldığı montaj hattı parçası iş istasyonu olarak adlandırılır. Bir iş istasyonuna atanan görev setine istasyon yükü, bu setin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan zamana istasyon zamanı denir (Scholl, 1999).

Çevrim süresi: Hattaki her bir parça için her bir istasyona verilen maksimum zaman miktarı çevrim zamanı olarak adlandırılır ve C ile gösterilir. Çevrim zamanı ihtiyaç duyulan üretim oranına göre belirlenir (Dimitriadis, 2006). Eldeki toplam süre T , günlük talep N olmak üzere çevrim zamanı $C = T/N$ şeklinde hesaplanabilir.

Öncelik ilişkileri ve öncelik diyagramı: Teknolojik kısıtlar dâhilinde bazı görevlerin birbirini takip etmesi gerektiğinden, görevlerin yaklaşık olarak hangi sıra ile yapılması gerektiği önceden belirlenebilir. Bu kısmi sıralama öncelik diyagramı vasıtası ile gösterilir. Öncelik diyagramında her düğüm bir görevi temsil eder ve her görev, ardılı ile bir ok aracılığıyla bağlanır. Okun çıktığı görev, öncül görevdir. Düğümlerin sağ üst kısımlarında, o görevin görev süresi gösterilir (Bayraktaroğlu, 2007). Şekil 2.2’de 11 görevli bir problemin öncelik diyagramı sunulmuştur.

Öncelik matrisi: Görevler arasındaki öncelik ilişkilerini göstermenin diğer bir yolu ise öncelik matrisinin kullanılmasıdır. Öncelik matrisi bir üst üçgen matris olup öncelik diyagramında j görevi i görevini takip ediyorsa matrisin i . satır j . sütununa 1, aksi halde 0 yazılarak oluşturulur (Erel ve Sarin, 1998). Şekil 2.2’de verilen öncelik diyagramına ait öncelik matrisi Şekil 2.3’de sunulmuştur.



Şekil 2.2. 11 görevli bir teknolojik öncelik diyagramı

Esneklik oranı: Problemin öncelik yapısını ifade eden esneklik katsayısı, üretilebilecek uygun görev sıralarının sayısına ilişkin bir ölçüt olup öncelik matrisindeki 0 sayısının, n problemdeki toplam görev sayısı olmak üzere $n \times (n - 1) / 2$ değerine bölünmesiyle elde edilir (Erel ve Sarin, 1998). Sıralama gücü ise öncelik diyagramı içerisindeki öncelik ilişkilerinin bağıl sayısını verir. Yüksek sıralama gücüne sahip problemlerin düşük sıralama gücü olanlara kıyasla daha karmaşık olması beklenir. Öncelik matrisindeki 1 sayısının $n \times$

$(n - 1) / 2$ değerine bölünmesi ile elde edilir. Değeri 0 – 1 arasında değişir. Görevler arasında tek bir sıra olanaklı ise 1, öncelik ilişkisi söz konusu değilse 0 değerini alır (Bayraktaroğlu, 2007).

		ARDIL ÖĞELER											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
ÖNCÜL ÖĞELER	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2		-	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
	3			-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4				-	0	0	0	1	0	1	1	1
	5					-	1	1	0	1	1	1	1
	6						-	0	0	1	0	1	1
	7							-	0	1	1	1	1
	8								-	0	1	1	1
	9									-	0	1	1
	10										-	1	1
	11												-

Şekil 2.3. Teknolojik öncelik diyagramına ilişkin öncelik matrisi

İstasyon boş zamanı, toplam boş zaman (denge gecikmesi): Çevrim zamanı ile herhangi bir istasyonun istasyon zamanı arasındaki farkta istasyon boş zamanı denir. Hattın toplam boş zamanı ise hattaki tüm istasyonların boş zamanları toplamına eşit olup, bu ifade aynı zamanda denge gecikmesi olarak da bilinir. Sabit bir çevrim zamanı için hattın boş zamanının en küçüklenmesi, hattaki toplam istasyon sayısının en küçüklenmesine eşdeğerdir (Dimitriadis, 2006).

Hat kapasitesi, hattın etkinliği: Hattaki toplam istasyon sayısı k olmak üzere hattın kapasitesi $T = k \times c$ ifadesiyle hesaplanır. Bu değer toplam görev zamanından t_{Toplam} küçük olamaz. Hattın etkinliği ise $E = t_{Toplam} / T$ formülüyle hesaplanmakta olup, toplam görev zamanının hat kapasitesine oranı olarak ifade edilir (Scholl, 1999).

Düzenlilik indeksi: Toplam iş yükünün istasyonlara eşit olarak paylaştırılıp paylaştırılmadığının bir ölçütü olup, hattaki toplam istasyon sayısı m ve k . istasyon yükü S_k olmak üzere Eş. 2.1 ile hesaplanır (Scholl, 1999).

$$DI = \sqrt{\sum_{k=1}^m (S_{max} - S_k)^2} \quad (2.1)$$

Bölgeleme kısıtları: Bu kısıtlar iki şekilde ifade edilebilir. Bunlardan ilki pozitif bölgeleme kısıtlarıdır ve burada belirli görevlerin aynı yerde veya aynı istasyonda yapılması gerekliliği vardır. İkincisi negatif bölgeleme kısıtlarıdır ki bu kısıtlar belirli görevlerin aynı istasyonda yapılmaması istenildiğinde kullanılırlar (Çerçioğlu, 2009).

Gecikmeli (unpaced) hatlar, gecikmesiz (paced) hatlar: Gecikmeli hatlarda istasyon ilgili faaliyetlerini tamamladığında birim (iş parçası) bir sonraki istasyona iletilir. Görev zamanlarındaki değişkenliğin çok fazla olduğu durumlarda bu hatlar tercih edilirler. Gecikmesiz hatlarda ise her bir istasyona aynı zaman miktarı (çevrim zamanı) izin verilir. Her bir çevrim zamanından sonra birim tamamlansın ya da tamamlanmasın bir sonraki istasyona iletilir (Çerçioğlu, 2009).

Çift (eş) istasyon: Çift taraflı montaj hattı üzerine yerleştirilmiş karşılıklı istasyonlar çiftine denir. Çift istasyon sayısı montaj hattının uzunluğunu temsil etmektedir (Özcan, 2009).

Operasyon tarafı: Çift taraflı montaj hatlarında bazı görevler hattın sadece tek bir tarafında yapılabilirler. Bu görevlere L-tipi (sol taraf) ve R-tipi (sağ taraf) görevleri denir. Bazı görevler ise hattın herhangi bir tarafında yapılabilirler. Bu görevlere ise E-tipi (her iki taraf) görevler adı verilir (Özcan, 2009).

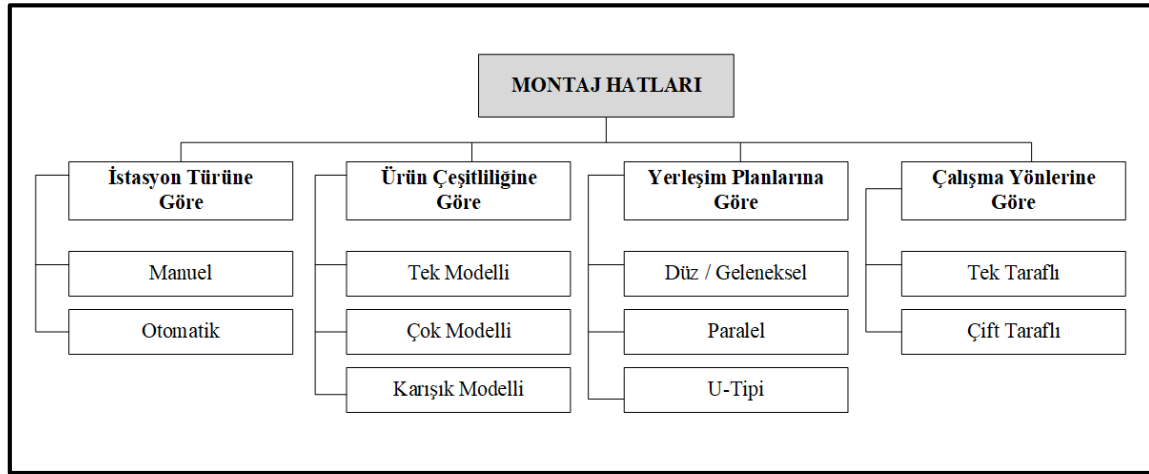
2.3. Montaj Hatlarının Sınıflandırması

Montaj hatları işin yapısına, hattın üzerinde üretilen ürün yapısına ve fiziksel özelliklerine göre 3 ana başlık altında gruplandırılmış olup bu ana başlıklar da alt başlıklara ayrılmaktadır. Şekil 2.4'de montaj hatlarının sınıflandırması gösterilmektedir (Şimşek, 2014).

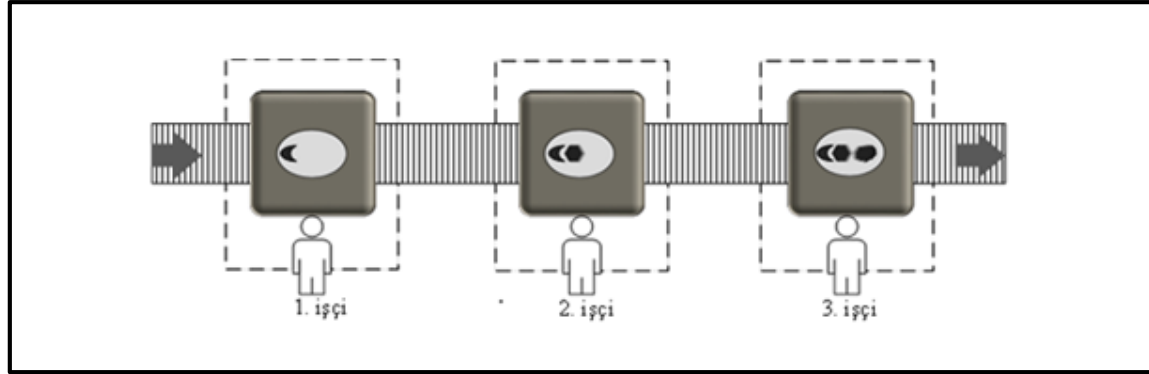
Aşağıda sırasıyla kullanım amaçlarına göre tasarlanan montaj hattı çeşitlerinden bahsedilecektir.

Düz montaj hatları birbirlerine malzeme taşıma sistemleri ile bağlanmış sıralı istasyonlardan oluşmaktadır. Genel olarak üretim hatlarının yerleşiminde doğrusal hatlar tercih

edilmektedir. İş parçaları bir istasyondan diğerine hareket ederek belirli montaj işlemleri görmekte olup son istasyondan bitmiş ürün elde edilmektedir. Bunun nedenleri; doğrusal hatların basit ve sistematik olması, kolayca yerleşim yapılabilmesi, konveyör sistemlerinin uygulanabilirliğinin artması ve maliyetin düşmesi, köşelerde meydana gelebilecek transfer zorluklarının ortadan kalkmasıdır. Şekil 2.5’de düz/geleneksel montaj hattı örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Montaj hatlarının sınıflandırılması



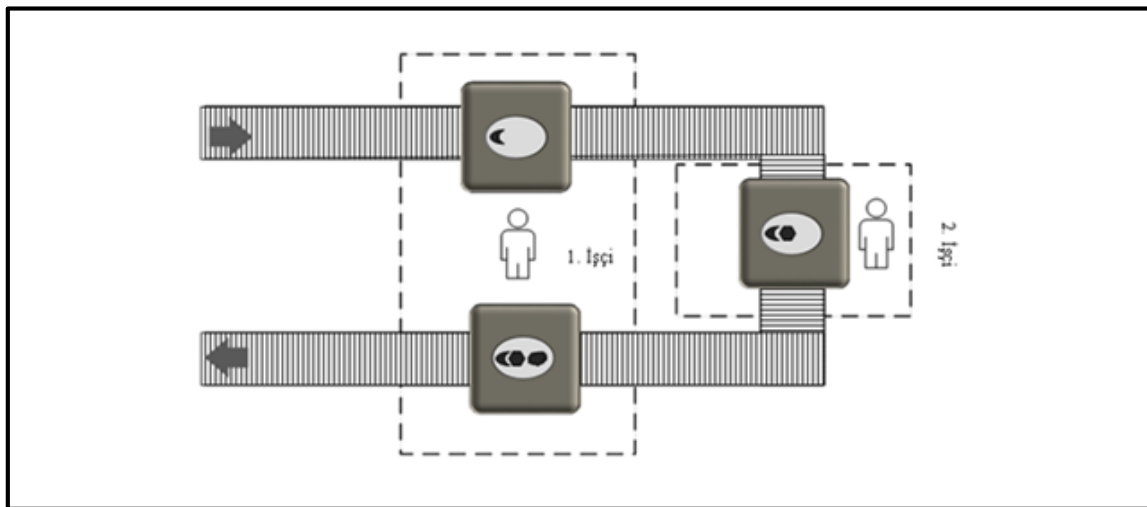
Şekil 2.5. Düz/Geleneksel Montaj Hattı

Akış tipi üretimin temelini oluşturan düz montaj hatları zamanla müşteri beklentileri, rekabet faktörleri ve teknolojik ilerlemelere bağlı olarak değişik şekillerde kullanılmıştır. Düz montaj hatlarının esnekliğini ve etkinliğini arttırmak amacıyla U-tipi montaj hatları kullanılmaya başlanmıştır. Düz montaj hatları ile U-tipi montaj hatlarının arasındaki temel farklılık montaj hattının tasarımıdır. Düz montaj hatlarında istasyonlar düz bir hat boyunca yerleştirilirken, U-tipi montaj hatları hattın giriş ve çıkış yönleri aynı tarafta olacak biçimde

'U' şeklinde tasarlanır ve bazı işçiler aynı çevrim içerisinde hem hattın giriş hem de çıkış tarafında bulunan iş parçalarına ait görevleri gerçekleştirir. Çok sayıda üretici, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) sistemi prensiplerinin üretim ortamına adaptasyonunun bir sonucu olarak, U-tipi montaj hatlarını TZÜ sisteminin önemli bir bileşeni olarak kullanmaktadır. U-tipi montaj hatları müşteri taleplerinde oluşan ani değişimlere daha hızlı cevap verebilmekte, çalışanlar arasında yardımlaşmayı ve ortaya çıkan problemlerin daha hızlı çözülebilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 2.6'de örnek bir U-tipi montaj hattı verilmiştir (Özcan, 2009).

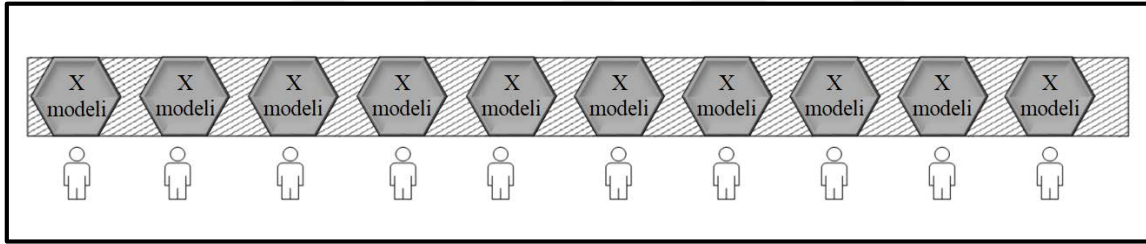
U tipi montaj hatlarının kullanımı;

- Hattın boyu çok uzunsa, var olan alana sığmıyorsa veya düz hat olarak yerleştirme yapıldığında boş kalacak alanın boyutları büyük ise,
- Bir işçi, değişik işlem sıralarındaki ve aynı hat üzerindeki makinalardan birden fazlası ile çalışıyor ise,
- Maliyeti yüksek bir makinaya birbirinden ayrık iki operasyon yaptırılması gerekiyorsa,
- Var olan alan uygun değilse ve çok bitişik düzenlemeler gerekiyor ise,
- Elektrik, hava gibi tesisat bağlantıları birden fazla istasyona aynı kaynaktan yapılıyor ise, U-tipi montaj hatları tercih edilmektedir (Özkan, 2003).

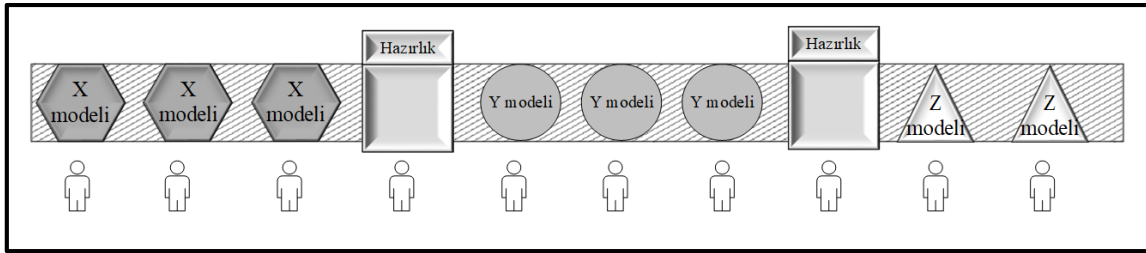


Şekil 2.6. U-tipi montaj hattı

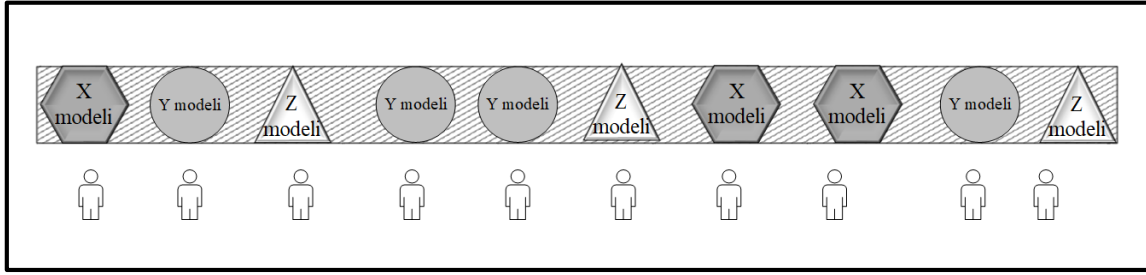
Tek modellenli hatlarda aynı tipten tek bir ürün yüksek miktarlarda üretilir (kitle üretimi). Her bir istasyon kendisine atanan görev veya görevleri birbirinin aynı olan her bir parça için tekrarlar. Karışık modellenli hatlarda ise temel ürünün değişik versiyonları aynı hat üzerinde, güncel talebi karşılamak için karışık olarak üretilir. Üretim sürecinin benzer olmasından dolayı, model değişimi olduğunda hazırlık işlemi ya gerekmez veya çok az düzeyde yapılır. Bu tip hatlarda dengeleme probleminin yanı sıra kısa dönemli model sıralama problemi de söz konusudur. Çok modellenli hatlarda ise birbirine benzeyen birden çok ürün üretilir. Ürünlerdeki farklılık ürün değişiminde hattaki ekipmanların yeniden düzenlenmesini gerektirir. Bu nedenle ortaya çıkan hazırlık işlemlerinin en küçüklenmesi için ürünler partiler halinde üretilir. Parti büyüklükleri arttıkça stokta tutma maliyetleri de artar. Her bir ürünün üretim çevrimlerinin yanı sıra ekonomik parti büyüklükleri ve partilerin hattaki üretim sıraları belirlenmelidir. Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da belirtilen hatlara ilişkin gösterimler verilmiştir (Scholl, 1999).



Şekil 2.7. Tek modellenli montaj hattı

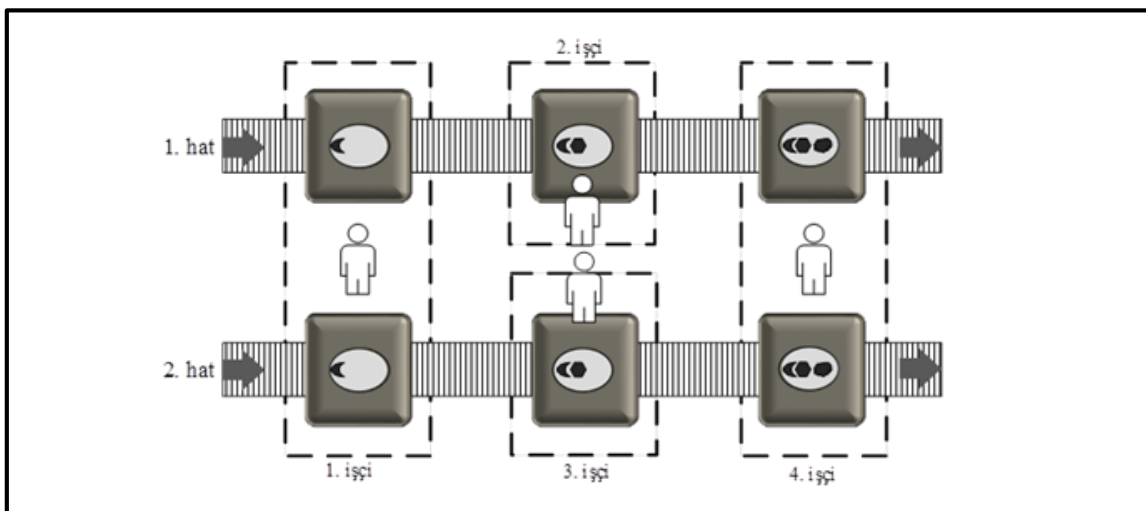


Şekil 2.8. Çok modellenli montaj hattı



Şekil 2.9. Karışık modelli montaj hattı

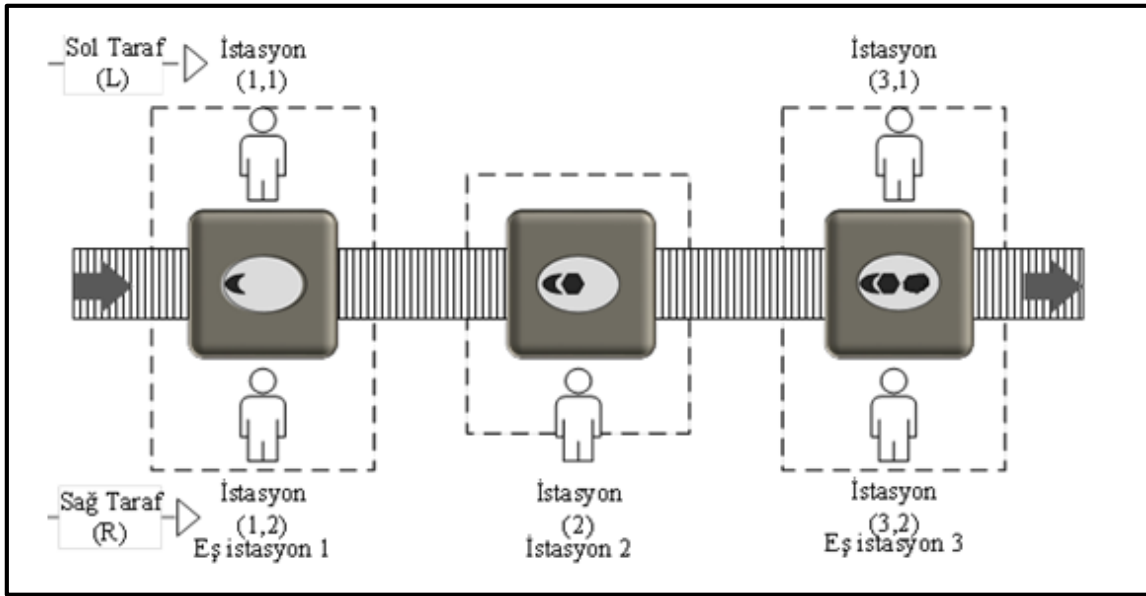
Birçok üretim işletmesinde birden fazla montaj hattı kullanılmaktadır. Montaj hatlarında kapasiteyi artırması ve maliyetleri düşürmesi nedeniyle üretkenliğin artırılması çok önemlidir. Montaj hatlarında kapasitenin artırılmasının bir yolu da iki veya daha fazla montaj hattının birbirlerine paralel olarak yerleştirilip işçilerin komşu montaj hatlarında çalışmalarını sağlamaktır. Bu tür montaj hatlarına paralel montaj hatları denir. Paralel montaj hatları montaj hattı uzunluğunu kısaltır, ihtiyaç duyulan işçi sayısını azaltır ve montaj hatlarından birinde problem ortaya çıktığında diğer montaj hatlarının kesintisiz çalışmalarına ve problemin kısa zamanda çözülebilmesine olanak sağlar. Paralel montaj hatlarında aynı veya farklı ürünler üretilebildiği gibi her bir montaj hattının çevrim zamanı da aynı veya farklı olabilir. Ayrıca paralel montaj hatlarında karışık modelli üretim de yapılabilir. Bu özelliklerinden dolayı üreticilere rekabet avantajı sağlamaktadır. Şekil 2.10'de örnek paralel montaj hatları verilmiştir (Özcan, 2009).



Şekil 2.10. Paralel Montaj Hattı

2.4. Çift Taraflı Montaj Hatları

Özellikle otomobil, otobüs, kamyon, traktör gibi büyük boyutlu ürünlerin montaj işlemlerinin sadece hattın tek tarafından yapılması mümkün olamamaktadır. Bu durumda hattın her iki tarafı (sağ ve sol) kullanılarak montaj işlemleri yapılır. Bu tür montaj hatlarına çift taraflı montaj hatları denir. Böyle bir üretim hattında, montaj hattının sağ ve sol tarafı paralel olarak kullanılır. Montaj hattının karşılıklı alanlarında yer alan işçiler, eş zamanlı olarak aynı ürün üzerinde montaj görevlerini yerine getirebilirler.

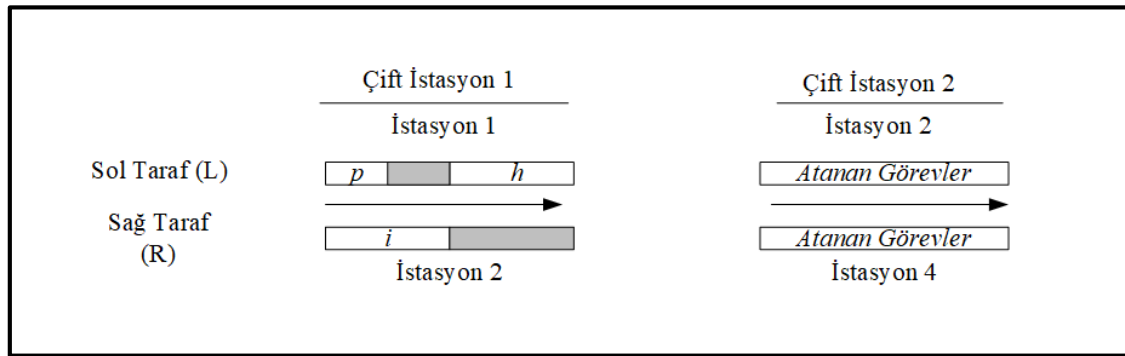


Şekil 2.11. Çift taraflı montaj hattı

Çift taraflı montaj hatlarında bazı görevler hattın sadece tek bir tarafında yapılabilirler. Bu görevlere L-tipi (sol taraf) ve R-tipi (sağ taraf) görevleri denir. Bazı görevler ise hattın herhangi bir tarafında yapılabilirler. Bu görevlere ise E-tipi (her iki taraf) görevler adı verilir. Örneğin bir otomobilin benzin tankının ve hava filtrelerinin montaj işlemi otomobilin sol tarafından daha rahat yapılabilirken, hava tankları ve egzozların montaj işlemi otomobilin sağ tarafından daha rahat yapılabilir. Pervane millerinin ve radyatörün montajı ise her iki taraftan da yapılabilir. Şekil 2.11’de tipik bir çift taraflı montaj hattı konfigürasyonunu gösterilmektedir (Özcan, 2009).

Şekil 2.12’de görev numaraları kutular içerisinde görevlerin ilgili pozisyonlarında yer almaktadır. p ve h görevleri İstasyon 1’e, i görevi İstasyon 2’ye atanmıştır. i ve p görevleri

h görevinin öncülleridir. Taralı kısımlar boş zamanları göstermektedir. Karşılıklı iki istasyon bir çift istasyonu (İstasyon 1 ve İstasyon 2) oluşturur, bunların her birine ise diğeri için eş istasyon adı verilir. Çift taraflı montaj hatlarında aynı istasyonda arka arkaya yapılan montaj görevleri arasında bazen boş zamanlar ortaya çıkabilir. Şekil 2.12’de i ve p görevleri h görevinin öncülleri olduğu için bu görevler tamamlanmadan h görevi başlayamaz. Bu yüzden çift taraflı montaj hatlarında görevlerin sıraya bağlı bitiş zamanları dikkate alınır (Özcan, 2009).



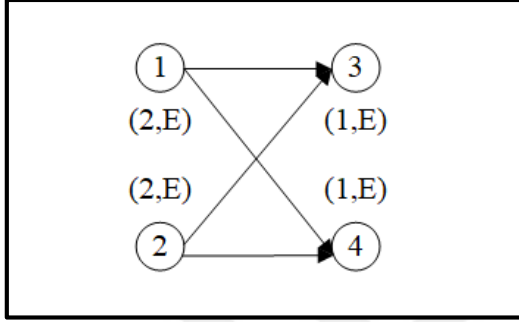
Şekil 2.12. Çift taraflı montaj hatlarında istasyon içi öncelik ilişkilerinin sağlanması

Çift taraflı montaj hatlarının pratikte tek taraflı montaj hatlarına nazaran birçok avantajı vardır. Bunlar (Bartholdi, 1993);

- Montaj hattı uzunluğu çoğunlukla kısadır,
- Malzeme taşıma maliyetleri, işçi hareketleri, hazırlık zamanları ve bir ürünün toplam üretim zamanı daha düşüktür,
- Ayrıca, montaj araç ve aletleri maliyetlerini de azaltmaktadır.

Aynı ürün ve aynı çevrim zamanı için bir çift taraflı montaj hattında ihtiyaç duyulan istasyon sayısı daima tek taraflı montaj hattı dengesi için gerekli istasyon sayısına eşit veya daha küçüktür (Bartholdi, 1993). Tek taraflı montaj hatlarında boş zamanlar genellikle çevrim zamanı sonuna doğru ortaya çıkmaktadır. Çift taraflı montaj hatlarında ise görevlerin operasyon sırasına ve karşılıklı istasyonlardaki görevlerin öncelik ilişkilerine dolayısı ile başlama ve bitiş zamanlarına bağlı olarak ardışık iki görev arasında, çevrim zamanı başlangıcında, ortasında ve çevrim zamanı sonunda ortaya çıkabilmektedir. Aynı iş parçasının iki işçi tarafından eş zamanlı montaj operasyonlarının yapılması ortaya çıkan boş

zamanları azaltmakta ve dolayısıyla istasyon sayısının düşmesine neden olmaktadır. Şekil 2.13’de verilen öncelik şemasında dört görev bulunmaktadır ve bütün görevler E-tipi görevlerdir. Çevrim zamanı üç zaman birimi olarak alındığında, tek taraflı montaj hattı dengesi için gerekli istasyon sayısının üç; çift taraflı montaj hattı dengesi için gerekli istasyon sayısının iki olduğu görülür (Özcan, 2009).



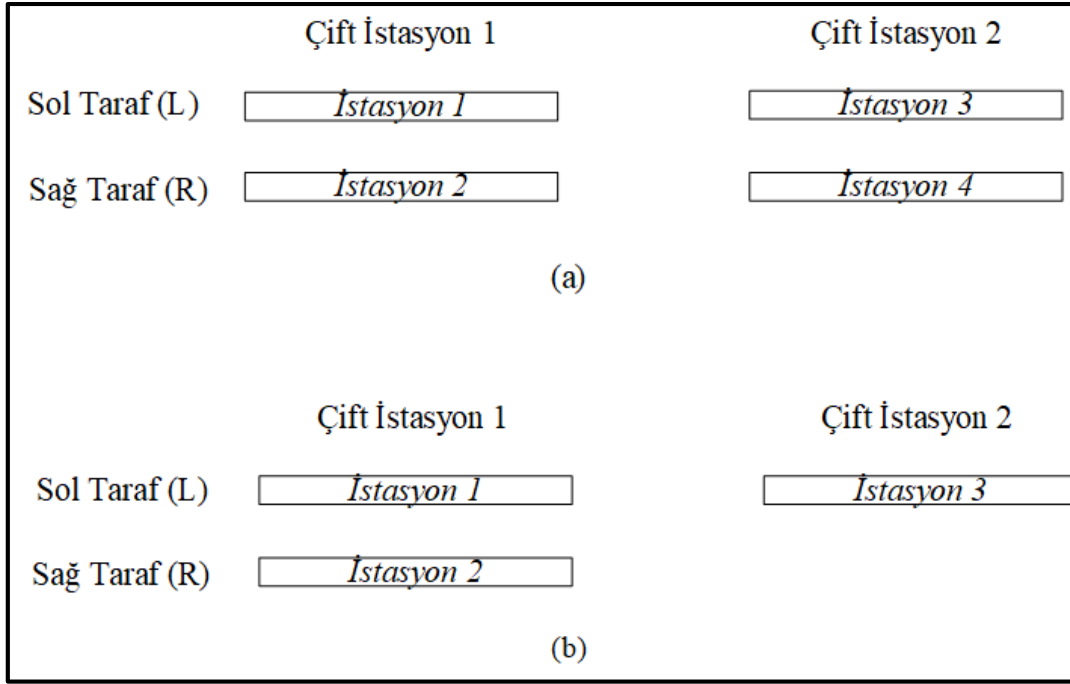
Şekil 2.13. Bir öncelik şeması

2.5. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemleri

Genel olarak bir çift taraflı montaj hattında, iş parçaları birbiri ardına montaj hattına girerler ve bir çift istasyondan diğer ardışık çift istasyona hareket ederler. Son çift istasyona geldiklerinde montaj işlemleri tamamlanır ve hattın ayrılırlar. İş parçaları her bir çift istasyonda belirli bir süre kadar beklerler ve karşılıklı istasyonlarda bulunan işçiler bu süre içerisinde montaj işlemlerini eş zamanlı olarak yerine getirirler. Bu bekleme süresine çevrim zamanı denir. Görevler istasyonlara öncelik ilişkileri dikkate alınarak atanır. Her bir işçi ÇMHD’de çok önemli bir faktör olan görevlerin operasyon sırasına bağlı olarak kendi görevlerini yaparlar. Bir görevin yerine getirilebilmesi için teknik olarak yapılabilir olması gerekir. Diğer bir deyişle, o görevin bütün öncül görevlerinin tamamlanmış olması gerekir. Bazı görevler montaj hattının sağ veya sol tarafından yapılabilirken, bazı görevler herhangi bir taraftan yerine getirilmeye uygundur.

ÇMHD problemleri şöyle sınıflandırılabilir (Lee ve arkadaşları, 2001; Wu ve arkadaşları, 2008). ÇMHDP-I: verilen bir çevrim zamanı için çift istasyon sayısını (hattın uzunluğunu) en küçükleme. ÇMHDP-II: verilen bir çift istasyon sayısı için çevrim zamanını en küçükleme. Bununla beraber, ÇMHDP-I’de aynı çift istasyon sayısında iki farklı çözüm olduğu varsayılabilir. Bu çözümlerden daha az istasyon sayısına sahip olan çözüm diğerinden

daha iyi dengelenmiştir. Çünkü daha az işçiye ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden ÇMHDP-1'de istasyon sayısı, çift istasyon sayısının yanı sıra dikkate alınmalıdır. Şekil 2.14'de örnek bir gösterim yapılmıştır. Bazı durumlarda istasyon sayısı yani işçi sayısı birincil amaç olarak kullanılabilir. Özellikle mevcut montaj hatlarının yeniden dengelenmesi uygulamalarında çoğunlukla bu durumla karşılaşılır.



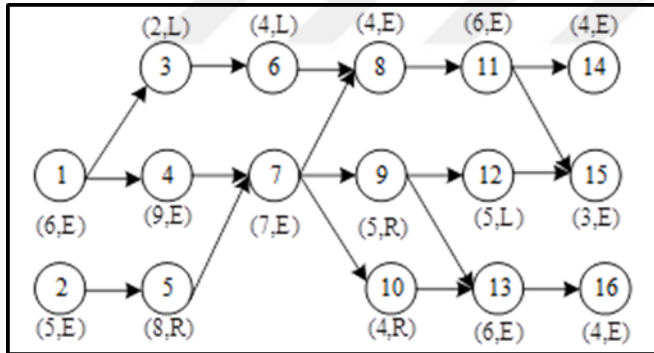
Şekil 2.14. İki farklı çözüm: (a) dört istasyona ihtiyaç var (b) üç istasyona ihtiyaç var

Bartholdi (1993) çift taraflı montaj hatlarının tek taraflı montaj hatlarından daha alan etkin olduğunu belirtmiştir. Çünkü çift taraflı montaj hattının uzunluğu daima eşit uzunlukta veya daha kısadır. Bartholdi (1993) ayrıca kısa hat uzunluğunun düşük malzeme taşıma maliyetleri, düşük montaj araç ve alet maliyetleri gibi birçok avantajı da beraberinde getirdiğini belirtmektedir. Çift taraflı montaj hatlarının özel yapısından dolayı hattın uzunluğu, işçi sayısından daha fazla öneme sahiptir. Wu ve arkadaşları (2008) bu problem tipine işaret etmişlerdir. Görevlerin istasyonlara uygun bir ataması aşağıdaki kısıtları sağlamalıdır:

- Bir görev operasyon yönüne bağlı olarak sadece bir istasyona atanabilir.
- Bütün öncelik ilişkileri sağlanmalıdır.
- Herhangi bir görevin bitiş zamanı çevrim süresini aşamaz.

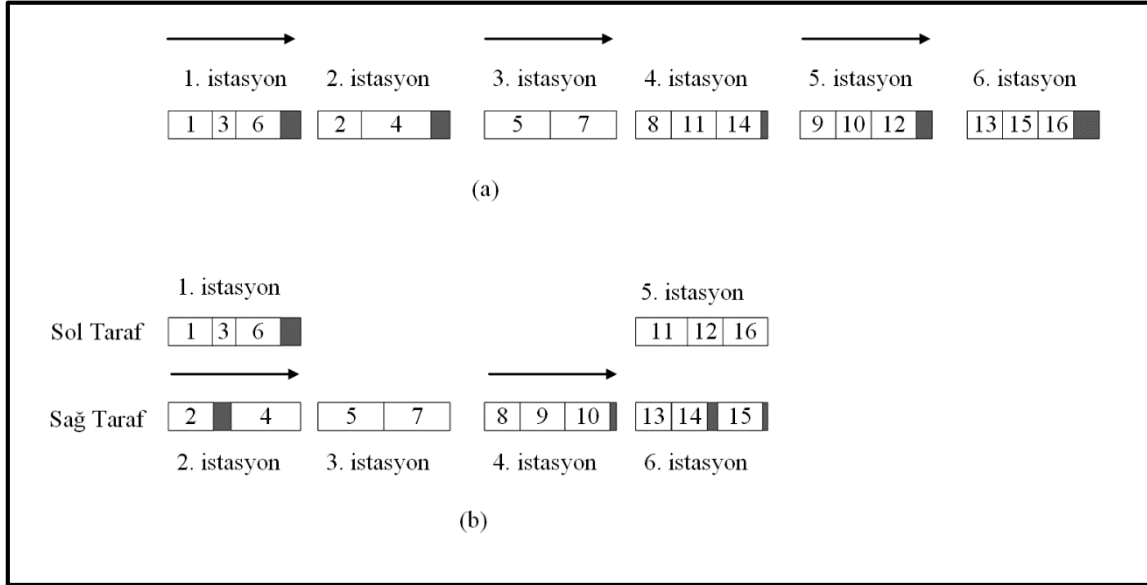
Çift taraflı montaj hatlarında aynı istasyona atanan görevlerin operasyon sırasını ve bu operasyon sırasına göre görevlerin bitiş zamanlarını belirlemek gerekir. Bu yapılırken eş istasyonda bulunan görevler de dikkate alınmalıdır. Şekil 2.12'ye bakıldığında h görevinin bitiş zamanı hesaplanırken hem aynı istasyonda bulunan p görevinin hem de eş istasyonda bulunan i görevinin bitiş zamanları hesaba katılmaktadır. Bir görevin bitiş zamanı kendi görev zamanını, kendinden önceki boş zamanları ve kendinden önce yerine getirilen görevlerin toplam görev zamanlarını içerir. Bu durumda en son yerine getirilen görevin istasyon zamanını verdiği söylenebilir (Özcan, 2009).

ÇMHD kavramını daha açık tanımlayabilmek için Lee ve arkadaşları (2001)'de verilen örnek bir problem kullanılmıştır. Örnek problemin öncelik ilişkileri, görev zamanları ve görevlerin operasyon tarafları Şekil 2.15'de verilmiştir. Görev sayısı 16'dır. Bu şekilde düğümler içerisindeki rakamlar görevleri, düğümlerin altındaki (t_i, d_i) etiketi i görevinin sırasıyla görev zamanını ve operasyon tarafını (L: sol taraf, R: sağ taraf, E: herhangi bir taraf) göstermektedir. İki düğüm arasındaki yönlü ok öncelik ilişkisini ifade etmektedir.



Şekil 2.15. 16 görevli problemin öncelik şeması, görev süreleri ve operasyon tarafları

Şekil 2.16, Şekil 2.15'de verilen problem için çevrim zamanı 15 birim olmak üzere bir tek taraflı montaj hattı dengesini ve bir çift taraflı montaj hattı dengesini göstermektedir. Tek taraflı montaj hattı dengesinde görev yönleri göz ardı edilmiştir. Her bir görevin başlama ve bitiş zamanları kutuların yanında verilmiştir. Şekil 2.16 (a)'da verilen tek taraflı montaj hattı dengesinde altı istasyon bulunmaktadır. İşçiler görevlerini herhangi bir kesintiye uğramaksızın yerine getirebilirler, çünkü boş zamanlar çevrim zamanının sonuna doğru ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.16. Çevrim zamanı 15 için görev atamaları; (a) tek, (b) çift taraflı montaj hattı

Şekil 2.16 (b)'de verilen çift taraflı montaj hattı dengesi de altı istasyona sahiptir. Bununla birlikte hattın uzunluğu dört istasyondur ve tek taraflı montaj hattı dengesinininkinden daha kısadır. Fakat işçiler görevlerini yaparlarken karşı tarafta yapılan bazı görevlerin bitmesini beklemektedirler. Örneğin, 4. görevin yapılabilmesi için 1. görevin tamamlanması gerekmektedir. Bu nedenle 2. görev ve 4. görev arasında bir birim boş zaman ortaya çıkmıştır. Şekil 2.16'da verilen örnek çift taraflı montaj hattı dengesinde birincil amaç olarak çift istasyon sayısının (hattın uzunluğunun) en küçüklenmesi ikincil amaç olarak istasyon sayısının (işçi sayısının) en küçüklenmesi dikkate alınmıştır (Özcan, 2009).

Tek taraflı MHD problemi, kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin *NP*-zor sınıfında yer almaktadır (Gutjahr ve Nemhauser, 1964). Problemin kombinatoriyal yapısı problem boyutu büyüdükçe en iyi çözümün bulunmasını zorlaştırmaktadır. ÇMHD problemi de *NP*-zor sınıfındadır. Tek taraflı montaj hatlarının matematiksel karmaşıklığının yanı sıra çift taraflı montaj hatları bu matematiksel karmaşıklığa ek olarak görevlerin operasyon taraflarının getirdiği kısıtları da bünyesinde taşımaktadır (Bartholdi, 1993).



3. TAVLAMA BENZETİMİ ALGORİTMASI

Tavlama; malzemeyi rahatlatmak, yumuşatmak ve iç yapıyı daha kullanılabilir hale getirmek için yapılan ısı işlemlerin geneline verilen addır. Tavlama Benzetim (TB), gerçek hayatta metaller üzerine uygulanan tavlama işleminden esinlenerek ortaya çıkmıştır. Metaller üzerine yapılan tavlama işleminde atom yapısı düzensiz olan metaller önce yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılıp daha sonra yavaş bir şekilde soğumaya bırakılmaktadır. Bu işlemler sırasında düzensiz yapıdaki atomlar gruplar halinde düzene girerek kristal yapıyı oluşturmaktadır. Bu işlemlerin sonucunda metalin yapısı daha kararlı bir hal almakta ve sağlamlığı artmaktadır. Algoritmaya “Tavlama Benzetimi” isminin verilmesi “Tavlama” sözcüğü katıların fiziksel tavlama sürecine benzerliğinin bulunmasındandır (Şahin, 2004).

3.1. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Tarihçesi

Tavlama Benzetimi Algoritması, kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan, olasılıklı bir arama yöntemidir. Kirkpatrick ve arkadaşları (1983), algoritmayı kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümü için bir metod olarak ilk öneren olmuştur. Metropolis ve arkadaşları (1953), katıların tavlama sürecinde simülasyon kullanmışlardır. Bu çalışma Kirkpatrick ve arkadaşlarına (1983), kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümü için bir fikir vermiş ve böylece Tavlama Benzetimi Algoritması için temel çalışma ortaya çıkmıştır.

Tavlama terimi fiziksel olarak, ısı banyosundaki bir katının yüksek enerji durumlarından başlayarak daha düşük enerji durumlarının elde edilme sürecini temsil etmektedir. Bu süreçlerden ilki ısı banyosunun başlangıç sıcaklığının katının eriyebileceği bir değere kadar yükseltilmesi; diğeri ise katının parçacıklarının kendini düzenleyene kadar ısı banyosunun sıcaklığının giderek azaltılmasıdır (Güden ve arkadaşları, 2006).

Metropolis ve arkadaşları, “TB’nin temelini oluşturan fikirler, katıların fiziksel tavlama sürecine benzer bir algoritmaya dayanmaktadır” demişlerdir (Kirkpatrick ve arkadaşları, 1983). Tavlama işlemi, erime noktasına ulaşıncaya kadar ısıtılan bir katının sıcaklığında, kademeli bir azaltma olarak görülebilir. Bu soğutma işlemi ile termal dengeye ulaşıldığı zaman, katı içindeki moleküller daha kararlı bir yapı oluştururlar. Bu nokta, katının en düşük

enerjili halini oluşturur. Aksi takdirde, termal dengeye ulaşamaz ve katının son hali pek çok bozukluklar içerebilir.

Tavlama Benzetim Algoritması'nın moleküler fizik ve kimya, tesis yerleşimi, çizelgeleme, bilgisayar ve şebeke tasarımı gibi çeşitli alanlardaki optimizasyon problemlerinin çözümünde uygulandığı görülmektedir. TB, yerel arama yöntemlerinin yerel bir minimuma ulaştıktan sonra global minimum için daha fazla arama yapmamasından kaynaklanan eksikliğini gidermeye çalışan bir yöntemdir. TB, yerel arama yöntemindeki temel adımlara ilavelerine getirmektedir (Uğraş, 2005). Çizelge 3.1'de tavlama süreci ve optimizasyon problemlerinin benzerlik ilişkisi sunulmuştur (Avcı, 2008).

Çizelge 3.1. Tavlama ve optimizasyon süreci arasındaki ilişki

	Katıların Tavlama Süreci	Optimizasyon Problemi
1	Tavlama Süreci	Optimizasyon Problemi
2	Sıcaklık	İterasyon Sayısı ve Kötü Çözümün Seçilme Olasılığını Kontrol Eden Parametre
3	Fiziksel Sistemin Durumu	Problemin Çözümü
4	İçinde Bulunan Durumun Enerjisi	Amaç Fonksiyonunun Değeri
5	Minimum Enerji	Optimal Çözüm

3.2. Tavlama Benzetimi Algoritması ile İlgili Temel Kavramlar

Bir optimizasyon problemi $f(x)$ amaç fonksiyonunu belirlenmiş kısıtlar altında optimize eden $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ çözüm kümesinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Optimum çözüm, amaç fonksiyonuna en iyi olası sonucu veren çözüm kümesi olarak tanımlanır (Chen ve Srivastava, 1994). Problemlerin arama uzayında birden fazla optimum çözümü bulunabilir. Bu çözümler yerel optimum çözümler olarak tanımlanırlar. Yerel arama, algoritmada S başlangıç çözümü ile başlar. S üzerinde bazı değişiklikler yapılarak tüm komşuları belirlenir, bu kümeden amaç fonksiyonu değeri en iyi olan S^1 komşu çözümüne ulaşılır. Daha sonra yeni çözüm S^1 ile S karşılaştırılır ve eğer S^1 çözümü S 'den daha iyi ise yeni çözüm kabul edilir ve aynı süreç tekrarlanır, değil ise arama süreci durdurulur. Bu tarz algoritma uygulaması kolay ve çözüm veren algoritmadır. Fakat sadece yeni çözüm üzerinden devam ederler ve bir önceki çözümü elemezler. TB tarafından bulunan çözümler

başlangıç çözüm ile sınırlı kalmaz ve dolayısıyla global optimuma yakın sonuçlar verirler (Uğraş, 2005).

Tavlama benzetimi yönteminin problemlerin çözümündeki uygulama şekli üç ana aşamadan oluşmaktadır (Tuna, 2014):

Başlangıç durumuna getirme: Başlangıç çözümüne karar verilmesi, tavlama benzetim parametrelerinin belirlenmesi ve mevcut çözüm sonucunun en iyi sonuç olarak atanması bu aşamada yapılmaktadır.

Seçim ve bitirme: Başlangıçta belirlenen parametreler mevcut durumla karşılaştırılarak bitirme veya devam kararı alınmaktadır. Devam edilecekse belirlenen kurallar ve mekanizmalar doğrultusunda yeni çözüme ilerlenir.

Güncelleme: Bulunan yeni çözümün kabul edilip edilmeyeceği belirlenir. Kabul edilecekse yeni çözüm mevcut çözüm olarak seçilir ve ikinci aşamaya geri dönmektedir.

TB algoritması bir başlangıç çözümle ve yerel minimumlardan kaçınmak için gerekli olarak yüksek bir sıcaklık (T) değeriyle başlar. Her bir hesaplama adımındaki algoritma, bir önceki çözümün komşuları arasından rassal olarak bir tanesini seçer ve sıcaklığı önceden belirlenen kurala göre azaltır. Bu yeni çözüm Metropolis kriterine göre ya kabul edilir ya da reddedilir. İşlemler eğer yeni çözüm kabul edilmişse yeni çözümle ya da yeni çözüm reddedilmişse bir önceki çözümle tekrar başlar. Algoritmayı durdurmak için pek çok farklı kriter (iterasyon sayısı, sıcaklığın (T) minimum değeri vb.) kullanılabilir.

Herhangi bir problemin çözümünde TB algoritmasının kullanılması için bazı parametrelerin belirlenmesi gerekir. Bu parametreler (Güner ve Altınparmak, 2003):

Başlangıç sıcaklığı (T_0): Sıcaklık kötü çözümlerin kabul edilme olasılığını kontrol etmek için kullanılır.

Her sıcaklıktaki iterasyon uzunluğu: Her sıcaklıkta üretilen çözümlerin sayısıdır. Sabit, aritmetik, geometrik, logaritmik ya da üstel formda tanımlanabilir.

Soğutma fonksiyonu: Bir önceki iterasyon sıcaklığına bağlı olarak mevcut iterasyondaki sıcaklığı belirler. Soğutma oranı r olarak gösterilir. Uygulamalarda r değeri genellikle 0,8 ve 0,99 arasında alınmaktadır. Başlangıç sıcaklığı ile birlikte iterasyon sayısı ve soğutma fonksiyonu, soğutma çizelgesi olarak adlandırılır. Bu çizelge, çözüm kalitesinde veya yakınsama oranında büyük etkiye sahiptir. Aritmetik, geometrik, ters fonksiyon ya da logaritmik formda tanımlanabilir.

Algoritmayı durdurma kriteri: Her sıcaklık değişiminde elde edilen çözüm, çok sayıda ardışık sıcaklık değişimlerinde değişmiyor ise; belirlenen maksimum iterasyona ulaşılması halinde ya da belirlenmiş minimum sıcaklığa ulaşılması durumunda TB durdurulur.

1. Adım: Girdi parametreleri: T_0, T_{min}, τ, IT ; set $T = T_0$.
2. Adım: S_0 üret ve E_0 hesapla.
3. Adım: 1 iterasyon; $S_C = S_0, S_B = S_0, E_C = E_0, E_B = E_0$.
4. Adım: S_C 'den S_N 'i üret ve E_N 'i hesapla.
5. Adım: $\Delta = E_N - E_C$.
6. Adım: Eğer $\Delta \leq 0$ ise, o zaman komşu çözümü yeni çözüm olarak kabul et, $S_C = S_N, E_C = E_N$ 9. Adıma git.
7. Adım: Eğer $\Delta > 0$ ise, o zaman (0,1) aralığında rassal bir sayı üret.
8. Adım: Eğer $rassal\ sayı < \exp(-\Delta/T)$ ise, o zaman komşu çözümü yeni çözüm olarak kabul et ($S_C = S_N, E_C = E_N$). 10. Adıma git.
9. Adım: Eğer $E_C < E_B$ ise, o zaman $S_B = S_C; E_B = E_C$.
10. Adım: Eğer $iterasyon = IT$ ise, o zaman 11. Adıma git, aksi halde $iterasyon = iterasyon + 1$ olsun ve 4. Adıma git.
11. Adım: $T = T \cdot \alpha$ ve $iterasyon = 1$.
12. Adım: Eğer $T \geq T_{min}$ o zaman 4. Adıma git, aksi halde S_B ve E_B 'yi raporla. DUR.

Şekil 3.1. Tavlama benzetimi algoritması

Tavlama benzetim sürecinin algoritma prosedürü Şekil 3.1'de sunulmuştur (Özcan ve Toklu, 2009). Tavlama algoritması önceden belirlenmiş bir başlangıç sıcaklığı T_0 ile başlar. Tavlama sürecinin başlangıcında ilk çözüm olan S_0 üretilir ve bu üretilen çözüm ilk mevcut çözüm S_C ve ilk en iyi çözüm S_B olarak kabul edilir. İlk çözümün amaç fonksiyonu değeri olan E_0 'a mevcut çözüm E_C ve en iyi çözüm E_B eşit olur. S_C mevcut çözümden bir hareketle

üretilen S_N komşu çözüm üretilir ve amaç fonksiyonu değerindeki değişiklik ΔE hesaplanır. Eğer E_N komşu çözümün amaç fonksiyon değeri E_C mevcut çözüm değerinden büyük ise yeni çözüm S_C olarak kabul edilir. Fakat E_N değeri E_C değerinden daha kötü ise o zaman Metropolis kriteri uygulanır, T mevcut sıcaklık seviyesinde $S_N \exp(-\Delta/T)$ olasılığı ile yeni çözüm S_C olarak kabul edilir. Bu durumun aksinde de S_N reddedilir. Markov zinciri uzunluğu olarak adlandırılan IT kontrol parametresidir. Sıcaklığın her seviyesinde süreç IT kontrol parametresi kadar tekrar eder. T_{min} son sıcaklığıdır. Sıcaklık birçok çalışmada Kirkpatrick ve arkadaşları (1983) tarafından önerilen sabit oranlı soğutma fonksiyonu ile değiştirilmektedir. Bu yöntemte göre bir sonraki durumun sıcaklık değeri $T = \alpha \cdot T$ eşitliğiyle belirlenir. Burada α soğutma oranı parametresi olup $0 < \alpha < 1$ arasında değer alır. TBA, kötü çözümleri de kabul etme yapısı sayesinde yerel optimumdan kurtulabilme kabiliyetine sahiptir (Özcan ve Toklu, 2009; Taş, 2007).



4. LİTERATÜR TARAMASI

4.1. Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Literatür Taraması

Bard ve arkadaşları (1994) ardışık karışık modelli montaj hattı dengeleme problemi (KMHD) için birinci olarak hat uzunluğunu en küçüklemeyi, ikinci olarak da üretim çizelgesinde her bir model tipi için talep oranına eşit parça kullanım seviyesi belirlemeyi amaçlayan karışık tam sayılı doğrusal olmayan bir model geliştirmişlerdir. İkinci amaca göre parça kullanımı ve hat uzunluğu arasındaki dengeleri incelemek için oluşturdukları formülasyonun çözümü için dal sınır algoritmasını kullanmışlardır.

McMullen ve Frazier (1997) stokastik işlem süreli ve paralel istasyonlu KMHD için görev seçim kuralları ve deneysel tasarımlar ile kullanıcıya montaj hattı tasarımlarında alternatif yollar sunmayı amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modelin çözümü için sezgisel tabanlı karışık modelli montaj hattı dengeleme algoritması kullanmışlardır.

Gökçen ve Erel (1997) KMHD için belirli çevrim süresinde iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi amaçlayan ikili hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu modelin çözümüyle karar vericiye birden fazla kriteri eş zamanlı olarak değerlendirebilme olanağı sunarak esnek karar verebilmelerini sağlamışlardır.

Gökçen ve Erel (1998) KMHD'lerinde değişken sayısının hızlı artışını engelleyerek uygun çözümler elde etmek ve bu tip montaj hatları için geliştirilen sezgiselleri doğrulamak amacıyla ikili tam sayılı programlama modelini geliştirmişlerdir. Karar değişkenlerinin ve kısıtların sayısının artmasını sınırlayan bazı değişkenler ve modellerin birleştirilmiş öncelik diyagramlarını kullanarak modelin boyutunu küçültmüşlerdir.

McMullen (1998) KMHD'nde parça kullanım oranını ve hazırlık zamanlarını belirleyerek aralarındaki ilişkiyi anlamayı amacıyla bir model geliştirmiştir. Geliştirdiği modeli çözmek için tabu arama algoritması yoluyla montaj hattındaki dizilimi değiştirerek daha iyi sonuçlar bulmayı sağlamıştır.

Erel ve Gökçen (1999) KMHDP için modellerin birleştirilmiş öncelik diyagramları ile karışık modelleri tek bir modele dönüştürüp en kısa yol formülasyonunu kullanarak çözmeyi amaçlamıştır. Farklı modellerdeki ortak görevleri tek bir istasyona atayarak her bir modelin öncelik diyagramlarını birleştirerek tüm modelleri tek bir modele dönüştürülerek çözülmüştür. Görev atamaları konusundaki kısıtları da dikkate alarak problemi çözümünü sağladıklarından kendilerinden sonraki çalışmalarda sezgisel yöntemler için temel taşı olacak nitelikte bir çalışma sunmuşlardır.

Bukchin ve arkadaşları (2002) siparişe göre üretim yapacak karışık modellenli montaj hatlarının tasarımını yaparak belirli bir çevrim zamanını göz önüne alarak iş istasyonu sayısını en küçükmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin çözümü için sezgisel karışık modellenli montaj hattı dengeleme algoritmasını kullanmışlardır. Her simülasyondan elde ettikleri çevrim zamanını, ilk aşamadaki müşteri teslim zamanına göre belirledikleri çevrim zamanı ile kıyaslamışlardır.

Vilarinho ve Simaria (2002) yaptıkları çalışmadaki asıl amaç paralel istasyonlu, stokastik görev süreli ve alan kısıtlı KMHDP için birinci olarak belirli bir çevrim zamanında iş istasyonu sayısını en küçükmeyi ve ikinci olarak ise iş istasyonları arasındaki iş yükü dağılımını düzgünleştirmeyi sağlayan yeni bir matematiksel model sunmaktır. Sundukları modeli çözdürmek için tavlama benzetimine dayalı iki aşamalı bir sezgisel algoritma kullanmışlardır.

Jina ve Wub (2002) tam zamanlı üretim sisteminde KMHDP için geliştirdikleri amaç fonksiyonu değerleri arasındaki ilişkiye göre iyi parça ve iyi dizilimlerin belirlenmesini amaçlamışlardır. Önerdikleri model için sezgisel tabanlı varyans algoritması kullanmışlar ve beş farklı örnekle dizilimleri kıyaslamışlardır.

Karabatı ve Sayın (2003) KMHDP için montaj bandındaki çevrimsel sıralama bilgisini dikkate alarak toplam çevrim zamanını en küçükmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modelin çözümü için sezgisel tabanlı vir algoritma kullanmışlardır. Problemin çözümüyle birlikte operasyon atama ve sıralama kombinasyonlarının kolaylaştığını göstermişlerdir.

Simaria ve Vilarinho (2004) karışık modellenli paralel istasyonlu çift taraflı montaj hattı dengeleme problemi (ÇMHDP) için belirli iş istasyonu sayısına göre çevrim zamanını en küçüklemeyi ve istasyonlar arası dengesizlikleri düzgünleştirmeyi amaçlayan bir matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modeli çözebilmek için tekrarlı genetik algoritma yaklaşımını kullanmışlardır.

Haq ve arkadaşları (2006) KMHP için belirli bir çevrim zamanını dikkate alarak iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin çözümü için genetik algoritma kullanmışlar ilk çözümle üretilen sıralı konumlandırma yöntemini hibrit genetik algoritma ile birleştirerek çözüm performansını arttırmışlardır.

Vilarinho ve Simaria (2006) paralel istasyonlu KMHP için alan kısıdını dikkate alarak paralel iş istasyonu ve işçi sayısını ve iş istasyonları arasındaki süre farklarını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modelin çözümü için karınca kolonisi optimizasyon algoritmasını kullanmışlardır.

Hop (2006) belirsiz işlem süreli KMHP için teknolojik kısıtları ve belirli çevrim zamanını dikkate alarak görevlerin değişim prosedürüne göre sıralanmasını sağlayarak belirsiz zamanlara göre istasyonlara atanmasını amaçlayan bulanık ikili doğrusal programlama modelini geliştirmiştir. Bu problemin öncelik kısıtlarını ve bulanık sayıları birleştiren bir sezgisel yaklaşımla çözüme gitmesini sağlamıştır.

Özcan ve Peker (2007) karışık modellenli U tipi MHDP için belirli bir çevrim zamanında iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi ve model sıralamayı amaçlayan bir model geliştirmişler ve bu modelin çözümü için sezgisel tabanlı bir tabu arama algoritması kullanmışlardır.

Boysen ve arkadaşları (2010) KMHP'nde aşırı iş yükleme durumlarını en aza indirmek için montaj hatlarında sıralama amaçlayan ikili doğrusal programlama modeli geliştirmişler ve bu modelin çözümü için sezgisel yaklaşım kullanmışlardır.

Özcan (2010), stokastik görev süreli karışık modellenli montaj hattında belirli bir çevrim zamanını dikkate alınarak istasyon sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir kapsamlı çalışma için bir SA sunmuştur.

Yağmağan (2011) KMHDP için belirli çevrim süresini dikkate alarak iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmiştir. İstasyon sayısı en küçüklemenin yanında kapasite kullanımı ve operasyonların zaman farklarından dolayı istasyonların çevrim zamanları arasındaki farklarını da hattın etkinliği ve üretimin pürüzsüzlüğü açısından hat tasarımıda bir bütün olarak ele alınmıştır. Geliştirdiği modelin çözümü için çok amaçlı karınca kolonisi optimizasyon algoritmasını kullanmıştır.

Akpınar ve Bayhan (2011) paralel istasyonlu alan kısıtlı KMHDP için belirli bir çevrim süresinde iş istasyonlarına en üst seviyede yükleme sağlayarak istasyon sayısını ve eş zamanlı olarak istasyonlar arası dengesizlikleri en küçükleyecek bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin çözümü için hibrit genetik algoritma kullanmışlardır.

Mamun ve arkadaşları (2012) KMHDP için belirli çevrim zamanını dikkate alarak iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin çözümü için genetik algoritmayı kullanmışlardır. Önerilen algoritmayı önceden belirlenen üretim oranları ve bazı özel durumlarda (sınırlı kaynak, paralel istasyon, sınırlı alan) etkin bir şekilde görev ataması yapabilecek şekilde geliştirmişlerdir. Ayrıca bu algoritma dalgalanan talep ve alan kısıdına göre tekrar atama yapabilmektedir.

İsmail ve arkadaşları (2011) karışık modellenli paralel MHDP'nde görevleri etkin bir şekilde istasyonlara atayarak çevrim zamanını en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Model, paralel hat ve her bir modeldeki görev sayısında herhangi bir kısıtlama olmaksızın geliştirdikleri meta sezgisel algoritma ile çözüme ulaşmışlardır.

Rabbani ve arkadaşları (2012) U tipi karışık modellenli montaj hattı probleminde ürün sırasından bağımsız olarak çapraz geçiş istasyonlarının sayısını en küçükleyerek hattın etkinliğini arttırmayı amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model çapraz istasyonlarda çalışan işçinin bir diğer istasyona geçişinde kaybettiği süreyi de dikkate alarak o istasyonlara görev atamasının yapılmasını sağlamıştır. Bu modelin çözümü için genetik algoritmayı kullanmışlardır.

Manavizadeh ve arkadaşları (2012) belirli bir çevrim süresi ve istasyon sayısını dikkate alarak değişken bir talep ortamında siparişe göre üretim yapan KMHDP için karar vericiye farklı koşullar altında alternatif çözümler sunabilmeyi amaçlayan bir model

geliştirmişlerdir. Bu alternatif çözümler arasında istasyon sayısını ve çevrim zamanını da en küçükleyecek durumlar bulunmaktadır. Bu modelin çözümü içinde çok amaçlı genetik algoritma kullanmışlardır.

Hamzadayı ve Yıldız (2012) U tipi paralel istasyonlu karışık modelli montaj hatlarında dengeleme ve sıralama probleminde alan kısıdını da dikkate alan, belirli bir çevrim zamanında iş istasyonu sayısını ve istasyonlar arası iş yükü farklarını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin çözümü için genetik algoritma kullanmışlardır. Bu çok amaçlı genetik algoritmayı kullanarak değişken talebe göre üretim yapan karışık modelli montaj hatlarında karar vericiye durumlara göre alternatif çözümler sunabilmeyi amaçlamışlardır.

Öztürk ve arkadaşları (2012) paralel istasyonlu KMHDP'nde görev atama ile istasyonlardaki iş yükü dengesi sağlayarak modellerin paralel istasyonlara çizelgelemesini sağlayacak kısıt programlama modeli geliştirmişlerdir. Elde ettikleri bu çözümle karışık modelli montaj hatlarında istasyon paralelliğinin, sistemin müşterinin taleplerine daha hızlı cevap vererek güvenilirliği arttığını göstermişlerdir.

Mosadegh ve arkadaşları (2012) karışık modelli montaj hatlarında dengeleme ve sıralama problemi için toplam montaj süresini en küçüklemeyi amaçlayan karışık tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin çözümünde tavlama benzetim algoritmasını (TBA) kullanmışlardır. Ayrıca arama sürecini güçlendirmek için eş zamanlı arama ve esnek arama şekilde 2 hipotez geliştirerek çözümün kalitesini arttırıp çözüme ulaşma süresi kısaltmışlardır.

Akpınar ve arkadaşları (2013) KMHDP'nde belirli bir çevrim zamanını dikkate alarak iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde; paralel istasyon, alan kısıdı ve görevler arası dizilime bağlı hazırlık sürelerini de dikkate alarak gerçek dünya problemlerin bazı özelliklerini modele yansıtılmışlardır. Önerdikleri modelin çözümü için karınca kolonisi ve genetik algoritmanın kombinasyonu olan hibrit algoritmayı kullanmışlardır.

Yang ve arkadaşları (2013) KMHDP'nde belirli bir çevrim zamanını dikkate alarak montaj görevlerini ve işçileri aday iş istasyonlarına atayarak istasyon sayısını en küçüklemeyi

amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Ayrıca istasyonlar arasında farklı modellerden kaynaklanan süre dengesizliklerini en aza indirerek tekrar dengelemeyle toplam maliyeti de en küçükleme amaçlamışlardır. Geliştirdikleri modelin çözümü için çok amaçlı genetik algoritma kullanmışlardır.

Khorasanian ve arkadaşları (2013), montaj görevleri arasındaki ilişkiyi dikkate alarak, belirli bir çevrim zamanında istasyon sayısını en küçükleme amaçlayan karışık modelli montaj hattı problemi için araya ekleme operatörünü kullanarak komşu üreten bir SA önermiştir. Önerdiği algoritmanın çözüm performansını göstermek için başka algoritmalarla kıyaslamış ve sonuçları sunmuştur.

Zeltzer ve arkadaşları (2013) gerçek dünya problemi olan karışık modelli montaj hattı problemini ele alarak dengeleme ve iş istasyonlarının iş yükü dağılımını optimize etmeyi amaçlayan karışık tam sayılı doğrusal programlama modelini geliştirmişlerdir. 11 değişken seti kullanarak iş istasyonlarının karmaşıklığının seviyesini belirleyerek çözüm sunmuşlardır.

Manavizadeh ve arkadaşları (2013) insan verimliliğini ve tam zamanında üretim yaklaşımını dikkate alan karışık modelli U tipi MHDP için iş yükü dengeleme yoluyla ağırlıklı verim maksimizasyonu sağlayarak iş istasyonu sayısını en küçükleme amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin çözümü için TBA kullanmışlardır. Algoritmayı şu üç aşamada çalıştırmışlardır. Birinci aşamada hat dengelemesi yaparak istasyon sayısını belirlemişler, ikinci aşamada istasyonlara niteliklerine göre işçi ataması yapmışlar ve üçüncü aşama olarak da süreç envanterindeki çalışmayı dengelemek için kanban sistemine dayalı bir uyarı sistemi geliştirmişlerdir.

Hamzadayı ve Yıldız (2013) karışık modelli U tipi montaj hattı dengeleme ve sıralama problemini ele alarak belirli bir çevrim zamanında iş istasyonu sayısını en küçükleme amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modelde sabit model dizilimini göz ardı etmişlerdir. Ayrıca iş yüklerinin mutlak sapmasını performans kriteri olarak kullanmışlardır. Geliştirdikleri bu modelin çözümü için TBA kullanmışlardır.

Öztürk ve arkadaşları (2013) esnek karışık modelli montaj hatlarının dengeleme ve çözelgeleme problemi için belirli çevrim zamanını dikkate alarak iş istasyonu sayısını en

küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişler. Önerdikleri modelde MHD ve aynı zamanda da çizelgeleme kısmını da ele alarak konuya bir bütün olarak yaklaşmışlardır. Geliştirdikleri modelin çözümü için sezgisel tabanlı kararlılık algoritmasını kullanmışlardır.

Aghajani ve arkadaşları (2014), robotik karışık modellenli montaj hattı dengeleme problemi için belirli bir istasyon sayısını dikkate alarak çevrim zamanını en küçüklemeyi amaçlayan bir SA önermiştir. Çözümde robot tahsis etme ve görev atamayı belirlemek için algoritmada yeni bir kodlama yaklaşımı geliştirmiştir. Önerdikleri algoritma küçük boyutlu problemlerde optimum çözümü bulmuştur.

Oesterlea ve Amodeob (2014) karışık modellenli montaj hattı dengeleme ve ekipman seçimi problemi için modeller arası geçişlerde bekleme zamanlarını ve ekipman maliyetlerini en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri matematiksel model ve güç pareto evrimsel algoritması ile görev ve malzeme atama prosedürlerini de dikkate alarak üretim sistemi planlama evresini daha erken aşamalarda daha etkin ve verimli bir şekilde sağlamışlardır.

Akpınar ve Baysakoğlu (2014) KMHD için paralel istasyon, alan kısıdı ve görevler arası sıralı hazırlık sürelerini de dikkate alarak karışık modellenli montaj hattını en yüksek performansta dengelemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Oluşturdukları modelin için tek koloni algoritmasından esinlenerek geliştirdikleri çoklu arı kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Çözümün sonuçlarını tek koloni algoritması ile kıyaslamışlardır ve çoklu koloni algoritmasının performansı çok daha yüksek çıkmıştır.

Yağmağan ve Emel (2015) KMHD için belirli bir çevrim zamanını dikkate alarak iş istasyonu sayısını ve istasyonlar arası süre farklılıklarından kaynaklanan dengesizlikleri en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Daha önceki araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada en iyi çözümü bulmak amacıyla yerel arama yöntemi olan yasak aramayı kullanmışlardır. Önerdikleri sezgisel yöntem ile karışık modellenli hattını ilk olarak tek modellenli hatta dönüştürerek dengelemişlerdir. Sonrasında oluşturdukları ilk dengeyi pürüzsüzleştirmek için yasak arama algoritmasını geliştirilerek ilk denge sonuçlarını iyileştirilerek daha dengeli bir iş yükü ataması sunmuşlardır.

Ramezian ve Ezzatpanah (2015) karışık modellenli montaj hattı dengeleme ve işçi atama probleminde birinci olarak toplam çevrim zamanını, ikinci olarak ise işçinin yeteneklerine görev ataması yaparak işletme maliyetlerini en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Problemin çok amaçlı olmasından dolayı karmaşıklığı yüksektir. Bundan dolayı çözüm için hedef programlama yaklaşımı ile sezgisel tabanlı rekabetçi algoritma kullanmışlardır.

Tiacci (2015) paralel iş istasyonları ve stokastik görev süreleri olan karışık modellenli montaj hatlarının tasarımı için eş zamanlı dengeleme ve tampon ayırma problemini ele almıştır. Problemdede çevrim zamanı, istasyonlar arası tampon sayısı ve hat tasarım maliyetini en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmiştir. Karışık modellenli montaj hatlarında tampon tahsis etmeyi ve dengeleme problemini eş zamanlı olarak düşünmüştür. Aynı zamanda stokastik görev zamanlı, paralel istasyonlu ve istasyonlar arası tampon atamalı karmaşık bir problem olarak ele aldığından çözümü için genetik algoritma yaklaşımını kullanmıştır. Ayrıca eş zamanlı olarak da görev atama ve istasyonlar arası tampon kapasitesini bulmayı sağlamıştır.

Battaia ve arkadaşları (2015) KMHD'nde belirli bir çevrim zamanını dikkate alarak iş gücü sayısını en küçüklemeyi amaçlayan tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu modelin çözümü için sezgisel tabanlı bir algoritma kullanmışlardır. Önerdikleri yaklaşımda görevlerin belirlenen işçilere atanması ve bunun sonucunda da iş gücünü en küçüklemeyi sağlamışlardır.

Öztürk ve arkadaşları (2015) karışık modellenli paralel istasyonlu montaj hatlarında çevrim zamanını en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Etkin bir hat yönetimi için dengelemeyi ve döngüsel çizelgelemeyi eş zamanlı olarak ele almışlardır. Özel simetri kırma kısıtları içeren kısıt programlama modeli oluşturmuşlardır. Önerilen modelin kararlı durum döngü sürelerine ulaşmadaki performansı da çeşitli boyutlarda örneklerle test edilmiştir.

Tiacci (2015) stokastik görev süreleri olan karışık modellenli paralel istasyonlu montaj hatlarında tasarım problemi için belirli iş istasyonu sayısını dikkate alarak çevrim zamanını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmiştir. Önerdiği modelin çözümü için sezgisel tabanlı genetik algoritma kullanmıştır. Ayrıca genetik algoritmadan elde edilen çözüm sonuçlarını TBA ile kıyaslayarak genetik algoritmanın performansını göstermiştir.

Bukchin ve Rabinowitch (2006) karışık modelli montaj hatlarında ortak görevlerin tek bir istasyona atanması kısıdını rahatlatarak farklı modeller için ortak görevlerin farklı istasyonlara atanmasını sağlayacak bir model geliştirmişlerdir. Bu modeldeki amaç fonksiyonu geleneksel yöntemlerden farklı olarak hem istasyon sayısını hem de ortak görevlerin farklı istasyonlara atanmasından kaynaklı istasyonlar için gerekli maliyeti (makina, teknoloji, eğitim gibi) en küçükleyecek şekilde oluşturulmuştur. Önerdikleri modelin çözümü için geriye dönük izlenebilen sezgisel tabanlı dal sınır algoritmasını kullanmışlardır.

Yang ve Gao (2016) değişken talep ortamında KMHDHP'nde yakın iş gücü çaprazlama çalışmasıyla esnek üretim sağlayacak iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin çözümü için dal sınır ve hatırla algoritmasını (a branch, bound and remember (BB&R) algorithm) kullanmışlardır. Her bir görevin iki işçi tarafından öğrenilmesini sağlayarak talebin değişkenliğine göre dengelemede iş gücü eksiltme ve ilave etme olmaksızın talep değişikliğine çok kısa cevap verilmesini sağlamışlardır.

Büyüközkan ve arkadaşları (2016) KMHDHP'nde istasyonlar arası dengesizlikleri en küçükleyerek eşit sürelerde görev dağılımını sağlamayı amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin çözümü için meta sezgisel yaklaşım olan yapay arı kolonisi ve tabu arama algoritmalarını kullanmışlardır. Tabu arama algoritmasının darboğaz amaç fonksiyonundaki değerini minimize etmede daha iyi performans gösterirken, iş istasyonu sayısını en küçükleme kısmında da yapay arı kolonisi algoritması daha iyi performans göstermiştir.

Tiacci (2017) bu çalışmasında birinci olarak stokastik görev süreli, eşzamanlı olmayan karışık modelli U tipi hatlarını dengelemek için genetik algoritma yaklaşımı sunmuştur. Ayrıca ikinci olarak ise U tipi hatların paralel iş istasyonlu ve tamponlu düz hatlara karşı üstünlüğü ile ilgili genel yönetim anlayışlarını ortaya koymayı amaçlanmıştır. Tasarım maliyetlerini en aza indirmek için uygulanan döngü süresinin verildiği dengeleme problemini çözmek için genetik algoritma yaklaşımını kullanmıştır.

Taube ve Minner (2017) müşteri siparişine göre karışık modelli montaj hattı dengeleme ve sıralama problemi için tam zamanında üretim felsefesinin yapı taşı olan ilk giren ilk çıkar

kuralı ile iş istasyonları arası iş yükü dengesi ve malzeme tüketim seviyesi kriterlerini optimum seviyelerde tutabilmeyi amaçlanmışlardır. Önerdikleri modeli; atama, gezgin satıcı ve araç rotalama problemlerinin bir kombinasyonu olarak oluşturulmuştur. Modelin çözümü için sezgisel tabanlı bir algoritma kullanmışlardır.

Defersha ve Mohebalizadehgashti (2018) KMHDP eş zamanlı olarak dengelenmesi ve sıralanması probleminde iş istasyonu sayısını, hat uzunluğunu, istasyon maliyetlerini ve görev tekrarlarını en küçükmeyi amaçlayan karma tam sayılı doğrusal programlama modelini geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu modelin çözümü için sezgisel tabanlı hibrit genetik algoritma kullanmışlardır. Önerilen algoritmada, ikili değişkenler genetik arama kullanılarak belirlenirken, ikili değişkenlere karşılık gelen sürekli değişkenler simpleks algoritması kullanılarak belirlenmiştir.

Sahu ve Pradhan (2018) karışık modelli montaj hattı dengeleme probleminde üretilen her bir ürün modelinin gerçek görev zamanlarını dikkate alan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Önerdikleri matematiksel modelin çözümü genetik algoritma yapısını geliştirmişlerdir.

Sadeghi ve arkadaşları (2018), karışık modelli montaj hattı dengeleme problemi için gerekli iş istasyonu sayısını ve iş yükü dağılımındaki pürüzsüz indeksini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Problemin çözümü için pozisyon ağırlıklandırma yönetimini kullanmışlardır.

Liu ve arkadaşları, (2019), Robotik parçalarına ayırma işlemi yapan karışık modelli montaj hattı dengeleme probleminde robot ve iş istasyonu sayısını optimize etmeyi ve toplam yük yoğunluğunu optimize etmeyi amaçlayan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu problemin çözümü için genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Fang ve arkadaşları (2019) çoklu robotik iş istasyonları içeren karışık modelli montaj hattı dengeleme problemini çok amaçlı olarak optimize etmeyi ele almışlardır. Problemi çevrim zamanını, toplam enerji tüketimini ve istasyonlardaki tavan enerji tüketimini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Problemin çözümü için bilgiyi kayıran bir algoritma geliştirmişlerdir.

Samouei ve Ashayeri arkadaşları (2019) karışık modelli montaj hattı dengeleme problemine iki yeni matematiksel model sunmuştur. Birinci modelde belirli bir çevrim zamanında hazırlık zamanıyla ilgili sabit ve değişken maliyetleri minimize etmeyi amaçlamışlardır. İkinci matematiksel modelde ise çevrim zamanı ve maliyeti minimize etmeyi amaçlamışlardır. Önerdikleri matematiksel modelleri test etmişler ve çözümlerini sunmuşlardır.

4.2. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Literatür Taraması

Literatürde MHD üzerine çok fazla çalışma yapılmıştır. Ancak çift taraflı montaj hattı dengeleme pek az sayıda araştırmacı tarafından incelenmiş olup son yıllarda bu konu üzerindeki araştırma sayısı artmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda ağırlığı deterministik tek modelli düz ÇMHDP oluşturmaktadır.

Bartholdi (1993) ÇMHDP'ni ilk defa ele almıştır. Çalışmasında gerçek hayat problemine bir interaktif program ile bir görev atama kuralı geliştirmiştir. Tasarladığı interaktif program ile montaj hattı yöneticisinin karar almasına yardımcı olmayı amaçlamıştır.

Kim ve arkadaşları (2000), verilen bir çevrim zamanı için istasyon sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir genetik algoritma tabanlı sezgisel yöntem sunmuşlardır. Ayrıca çalışmada belirli bir görevin belirli bir istasyona atanması esasına dayanan pozisyon kısıtlarını da dikkate almışlardır.

Lee ve arkadaşları (2001) ÇMHDP için görevleri, iş ilişkilerine göre ve boş zamanlardan kaynaklanan görev sarkmalarını en küçükleyecek şekilde tip-I ve tip-II için bir grup atama yöntemi geliştirmişlerdir. Önerdikleri grup ataması prosedürü sezgiseli ile görevleri bireysel atamalardan çıkarıp grup atamaları yaparak görev bağımlılığını maksimum seviyeye çıkarmayı amaçlanmıştır.

Lapierre ve Ruiz (2004) ÇMHDP için öncelik tabanlı bir sezgisel yöntem geliştirerek gerçek hayatta endüstriyel bir uygulama gerçekleştirmiştir. Burada montaj işlemlerinin farklı yüksekliklerde yapıldığı durumu incelenmişlerdir.

Baykasoğlu ve Dereli (2008) ÇMHDP için bölgeleme kısıdı altında karınca kolonisi algoritması sezgiselini uygulayarak literatüre bu konuda ilk çalışmalardan birini sunmuşlardır.

Xiaofeng ve arkadaşları (2008) ÇMHDP'nde görevlerin atanmasının en uygun şekilde yapılması için istasyon odaklı enumerativ algoritma önermişlerdir. En erken ve en geç başlama zamanlarını hesaplamak için öncelik diyagramı ile birleştirilmiş zaman transfer fonksiyonu belirleyip, bu fonksiyonla çevrim zamanı ve yönlendirme kısıtlarını dikkate alarak görev atamalarını yapmışlardır.

Wu ve arkadaşları (2008), ÇMHD problemi için bir dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir.

Kim ve arkadaşları (2009) ÇMHDP için belirli sayıdaki eş istasyon sayısını göz önünde bulundurarak çevrim zamanını en kklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modeli ozmek için genetik algoritma tabanlı bir sezgisel algoritma kullanmışlardır.

Simaria ve Vilarinho (2009) ÇMHDP için iş istasyon en kklemeyi ve iş istasyonlarında iş yükü dengesini düzgünleştirmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada modelin karmaşıklığının yüksek dereceye sahip olmasından dolayı herhangi bir test problemini bu modeli kullanarak ozememişlerdir. Ayrıca bu çalışmalarında karınca kolonisi optimizasyonu tekniğine dayanan sezgisel yaklaşım sunmuşlardır.

Becker ve Scholl (2009) ift taraflı montaj hatlarını da kapsayan esnek paralel iş alanlarını tanımlamışlardır. Bir tamsayılı matematiksel model ile bir dal sınır algoritması geliştirmişlerdir.

zcan ve Toklu (2009a) ÇMHDP için belirli çevrim zamanı için istasyon sayısını en kkleyen bir matematiksel model önermişlerdir. Çok modelli ÇMHDP için bu çalışmada TBA önermişlerdir.

zcan ve Toklu (2009b) ift taraflı montaj hattı çok kriterli karar verme probleminde birincil olarak eş istasyon sayısı ve ikincil olarak da iş istasyon sayısını en kklemeyi amaçlayan

hedef programlama modeli ve bulanık hedef programlama modelini önermişlerdir. Ayrıca modelde alan kısıdı da dikkate almışlardır.

Kim ve arkadaşları (2009) ÇMHDP için belirli eş istasyon sayısı dikkate alınarak çevrim zamanı en küçüklemesi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Modeli çözmek için genetik algoritma tabanlı bir sezgisel algoritma kullanmışlardır.

Xiaofen ve arkadaşları (2010) ÇMHDP için montaj hattının uzunluğunun ve pozisyon sayısının en küçüklenmesi için bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modeli çözmek için dal sınır algoritmasını kullanmışlardır.

Özcan (2010) stokastik görev zamanlı ÇMHDP'nin en verimli şekilde dengelenmesi için model rasgele kısıtlı, parçalı doğrusal, karışık tam sayılı bir program geliştirerek TBA algoritması ile çözüm sunmuşlardır.

Özcan ve arkadaşları (2011) paralel ÇMHDP için iki ya da daha fazla çift taraflı montaj hattının eş zamanlı olarak dengelemesini amaçlayan bir tabu arama algoritması sunmuşlardır.

Özcan ve Toklu (2009) ÇMHDP'inde çok fazla üzerinde durulmayan sıralamaya bağlı hazırlık süresi konusuna çalışmışlardır. Bu çalışmada eş istasyon sayısını en küçüklemeyi amaçlayan karışık tam sayılı programlama modelini önermişlerdir. Önerdikleri modeli çözebilmek için COMSOAL tekniğine dayanan 2-COMSOAL/S tekniğini kullanmışlardır.

Taha ve arkadaşları (2011) ÇMHDP için eş istasyon sayısı ve toplam istasyon sayısını en küçükleyerek hat etkinliğini maksimize etmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Görevleri eş istasyonlara atamak için istasyon odaklı bir prosedür geliştirerek, modelin çözümü için genetik algoritmaya dayalı sezgisel önermişlerdir.

Özbakır ve Tapkan (2011) alan kısıtlı ÇMHDP için belirli bir çevrim zamanını dikkate alarak iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmiş ve bu modeli çözebilmek için arılar arı algoritmasını kullanmışlardır.

Tapkan ve arkadaşları (2012) kısıtlı ÇMHDP için istasyon sayısını en küçüklemeyi amaçlayan, konum, alan ve senkron kısıtlarını dikkate alan bir model geliştirerek arı algoritması ve yapay arı kolonisi algoritması kullanarak çözmüşlerdir.

Chutima ve Chimklai (2012) çok amaçlı ÇMHDP’inde parçacık sürü optimizasyonunun özel bir dalı olan negatif bilgi parçacık sürü algoritmasını (PSONK) önermişlerdir. Sonuçlara pareto optimalite testini uygulamışlardır. Ayrıca sonuçları kesikli parçacık sürüsü optimizasyonu (DPSO) çok amaçlı genetik algoritma ve COMSOAL tekniği ile elde edilen senaryolarla karşılaştırmışlardır.

Purnomo ve arkadaşları (2013) atama kısıtları olan ÇMHDP’ne belirli iş istasyonu sayısı göz önüne alınarak çevrim zamanı en küçükleme ve hat dengelemenin eş zamanlı olarak sağlanmasını amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modeli çözebilmek için genetik algoritma ve yinelemeli ilk uyum kuralı prosedürünü kullanmışlardır.

Khorasanian arkadaşları (2013) görevler arasındaki ilişkileri göz önünde bulunduran ÇMHDP için eş iş istasyonu, toplam iş istasyonu ve montaj hattı görev tutarlılığı şeklinde 3 kriter ile optimum çözümler elde etmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Çift istasyonlara atanan görevler arasındaki ilişkiyi belirlemek adına bir indeks oluşturulmuş olup buna da 'montaj hattı görev tutarlılığı' olarak adlandırılmışlardır. Önerilen TBA istasyon sayısı, eş istasyon sayısı ve montaj hattı görev tutarlılığını üç kriterle değerlendirmişlerdir.

Grzechca (2013) ÇMHDP’nde boş zaman analizi için parametrelerin gösterilmesi ve biriyle olan ilişkilerini detaylı incelemiştir. Çevrim zamanındaki herhangi bir değişikliğin denge gecikmesi, hat verimliliği, düzgünlük indeksi ve hat zamanı gibi belirlenen parametrelere göre hattın yapısını nasıl değiştirdiğini değerlendirmişlerdir.

Purnomo ve Wee (2014) ÇMHDP için alan kısıdını dikkate alan, üretim seviyesi ve iş yükü dengesini maksimize etmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modeli çözmek için uyum arama yaklaşımını kullanmışlardır.

Tuncel ve Aydın (2014) öğrenme ve öğretme temeline dayanan ÇMHDP için belirli bir çevrim zamanını dikkate alarak iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi ve istasyonlar arası iş yükü dağılımını düzgünleştirmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri alan

kısıtlı bu modeli çözebilmek için öğrenme ve öğretmeye dayanan optimizasyon algoritmasını kullanmışlardır.

Küçükkoç ve Zhang (2015) tip E paralel ÇMHDP için eşzamanlı olarak çevrim süresi ve iş istasyonu sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirerek karınca kolonisi algoritması ile çözüme ulaşmışlardır.

Sepahi ve Naini (2016) paralel performans kapasiteli ÇMHDP için eşzamanlı olarak belirli eş iş istasyonu sayısını göz önünde bulundurarak çevrim zamanı en küçüklemeyi ve istasyonlar arası dengeyi maksimum seviyeye çıkarmayı amaçlayan karışık tam sayılı programlama formülasyonu geliştirmişlerdir. Önerdikleri modelin çözümü için sezgisel algoritma kullanmışlardır.

Tapkan ve arkadaşları (2016) paralel ÇMHDP için yürüme sürelerinin hem görev atamaları hem de hattın üzerindeki ürünün montajının tamamlanma süresini nasıl ve ne derecede etkilediğini gösteren bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin çözümü için arı kolonisi ve yapay arı kolonisi algoritmalarını kullanmışlardır.

Li ve arkadaşları (2016) robotik çift taraflı montaj dengeleme problemi için eşzamanlı olarak enerji tüketimi ve çevrim zamanını en küçüklemeyi amaçlayan karışık tam sayılı programlama modelini geliştirmişlerdir. Kompleks yapıları büyük boyutlu problemler için üç komşu yapısıyla yeni bir yerel arama geliştirmişler ve TBA çözüm için kullanmışlardır.

Tang ve arkadaşları (2016) tip II çift taraflı montajı hattı dengeleme problemi için toplam boş zamanları dikkate alarak birincil olarak çevrim zamanını ikincil olarak ise iş istasyonlarındaki sınırın altında ve üstündeki yüklemeleri en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Görev atama kuralı, diziye bağımlı boş kalan zamanları ortadan kaldırmak için özel olarak tasarlanmıştır. Önerilen modelin çözümü için kesikli yapay arı kolonisi algoritması kullanılmışlardır.

Lei ve Guo (2016) tip II ÇMHDP için belirli istasyon sayısı dikkate alarak çevrim zamanını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Görev önceliğini ve taraf seçimini dikkate alan modeli çözmek için değişken komşu arama algoritması kullanılmıştır.

Li ve arkadaşları (2017) tip I ÇMHDP için belirli çevrim zamanını dikkate alarak iş istasyonu sayısını en küçükleme amaçlayan bir model geliştirmişler ve çözümü için de basit yinelenen aç gözlü algoritma kullanmışlardır.

Samouei ve Dezfoulian (2017) çalışması Simaria ve Vilarinho (2009) sunduğu ÇMHDP için istasyon sayısı alt sınırının daha fazla düşürülmesini amaçlayan bir model geliştirerek dal sınır algoritması ile çözümünü sağlamışlardır.

Tang ve arkadaşları (2017) stokastik iki taraflı montaj hattı probleminde çoklu kısıtlamaları dikkate alarak çevrim zamanını en küçükleyen bir model geliştirmişlerdir. Modelin çözümünde küresel arama için yeni bir öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasını ve yerel arama için yedi mahalle operatörü ile değişken bir mahalle aramasını birleştiren bir hibrit öğretim-öğrenme temelli optimizasyon (HTLBO) yaklaşımı önermişlerdir.

Wang ve arkadaşları (2019) parçalarına ayırma işlemi yapan stokastik görev süreli çift taraflı montaj hattı için çok amaçlı çok kısıtlı bir matematiksel model önermiştir. Bu çalışmalarında iki taraflı stokastik görev sürelerine sahip problem için bir matematik model önermişlerdir. Önerdikleri matematiksel modelin amacı istasyon sayısını, hattın enerji tüketimini minimize ederken, hattın düzgünlük indeksini maksimum yapmaktır. Problemin çözümü için pareto baskınlığı ilişkilerine dayanan çok amaçlı ayrık çiçek tozlaşma algoritmasını önermişlerdir.

4.3. Karışık Modelli Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Literatür Taraması

Özcan ve Toklu (2009) KÇMHDP için birincil amaç olarak eş istasyon sayısı, ikincil amaç olarak ise toplam istasyon sayısını en küçükleyen bir model geliştirmiştir. Ayrıca çözüm için önerdikleri TBA ile ağırlıklı hat verimliliği maksimizasyonu ve düzgünlük indeksi şekilde iki kriter eş zamanlı olarak ele almışlardır.

Chutima ve Chimklai (2012) çok amaçlı KÇMHDP için eş istasyon sayısı ve toplam istasyon sayısını ve eş zamanlı olarak alt hedefleri optimize edecek bir model geliştirmişlerdir. Ayrıca çözüm için önerdikleri parçacık sürüsü optimizasyonu ile parçacıkların konumunu mutlak olarak modellemek yerine yeni üretilen çözümde farklı parçacıkların göreceli konum bilgilerini kullanmışlardır.

Aghajani ve arkadaşları (2014) robotik hazırlık süresini dikkate alan KÇMHDP için belirli iş istasyonu sayısına göre çevrim zamanını en küçüklemeyi amaçlayan karışık tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Önerdikleri yaklaşımda bir diziye bağlı hazırlık zamanı ve robot için hazırlık zamanı olmak üzere hazırlık zamanını iki farklı şekilde ele almışlardır. Ayrıca pozisyon kısıdını da ele alarak robotik alanda ilk çalışmayı yapmışlardır.

Küçükkoç ve Zhang (2014) karışık modelli paralel çift taraflı montaj hattında eş zamanlı olarak dengeleme ve sıralama problemi için iş istasyonu sayısı ve hat uzunluğunu en küçükleyen ve ayrıca istasyonlardaki iş yükü dengesi düzgünlük indeksini maksimize etmeyi amaçlayan karışık tam sayılı programlama modelini önermişlerdir. Önerdikleri modeli çözebilmek için karınca kolonisi optimizasyon algoritmasını kullanmışlardır.

Yuan ve arkadaşları (2015) KÇMHDP için belirli çevrim zamanını göz önüne alarak eş istasyon sayısı ve toplam istasyon sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modeli çözmek için hibrit bal arısı eşleşme optimizasyon algoritmasını kullanmışlardır.

Küçükkoç ve Zhang (2016) karışık modelli paralel ÇMHDP için hatta girecek her modele göre esnek dengeleme olanağı sunabilen bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin çözümü için de karınca kolonisi optimizasyon algoritması kullanmışlardır.

Delice ve arkadaşları (2017) KÇMHDP için belirlenen çevrim zamanı göz önüne alarak eş istasyon ve toplam istasyon sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modelin çözümü için parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasını kullanmışlardır.

Azmi ve arkadaşları (2017) atama kısıtlı ve değişken başlatma aralıklı, karışık modelli çift taraflı montaj hattı dengeleme ve sıralama problemi için toplam iş zamanı ve değişken başlatma aralığından ve atama kısıtlarından kaynaklanan boş zamanları en küçüklemeyi amaçlayan karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir.

Küçükkoç ve arkadaşları (2018) metro istasyonu üretimi yapan bir işletmenin karışık modelli çift taraflı montaj hattı problemini ele almışlardır. Problem için bir matematiksel model önermişler ve GAMS paket programında çözmüşlerdir. Ayrıca problem çözümü için

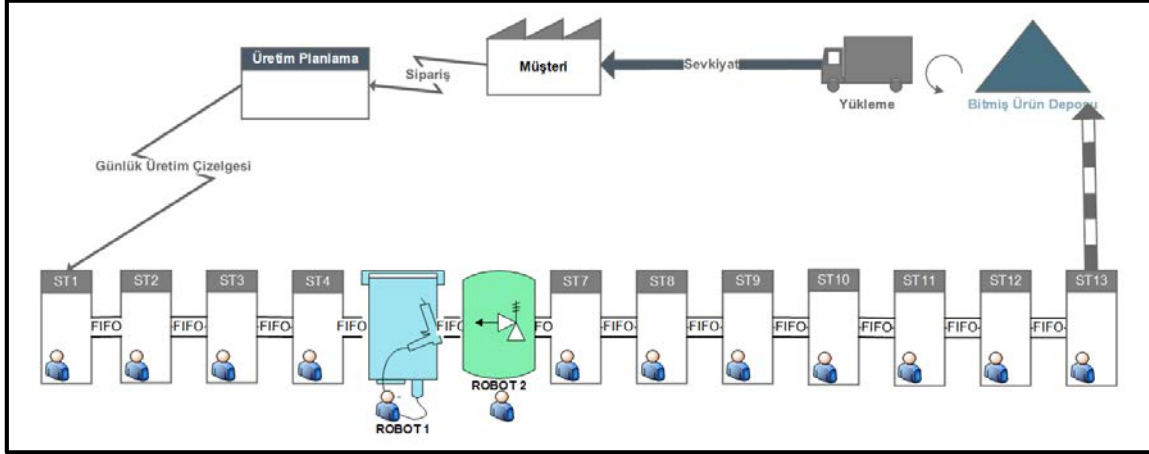
karınca kolonisi algoritması geliştirmişlerdir. Önerdikleri algoritma ile küçük ve orta boyutlu problemlere optimum çözümler bulmuşlardır.



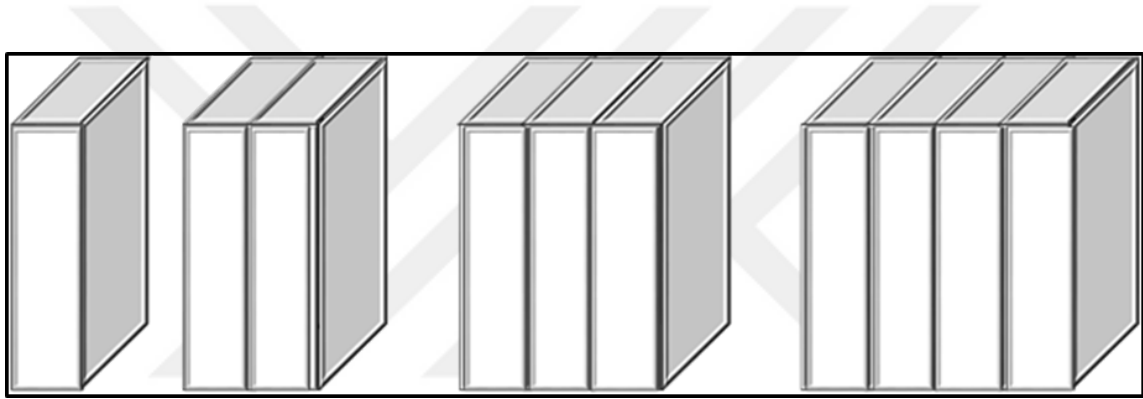
5. PROBLEMİN TANIMI

Scholl (1999), karışık modelli montaj hatlarının temel özelliklerini şu şekilde tanımlamıştır. Hatta, standartlaştırılmış bir ürünün birkaç versiyonu yani modeli montaj işlemleri yoluyla üretilir. Ürün modelleri; renk, boyut, hammadde veya montaj operasyonu esnasında kullanılan ekipmanlar gibi belirli kriterlerde birbirinden farklılaşabilir. Fakat ürün modellerinin tüm versiyonları dikkate alındığında ürünün montajı esnasında geçtiği operasyon süreçlerinin büyük bir çoğunluğu benzerdir. Aynı şekilde ürün modellerini oluşturan alt parçaların da büyük bir kısmı aynıdır. Müşteri talebi dikkate alınarak isteğe bağlı bileşenlerin belirli bir modele dahil edilip edilmemesine göre montaj görevlerinin farklılığı söz konusudur. Dolayısıyla bu şekilde birbirine benzer yapıdaki ürünleri aynı hat üzerinde üretmek; sürekli malzeme akışı, bitmiş ürün stoklarının düşürülmesi ve bir modelden diğer bir modele geçiş zamanlarının kısa olması gibi avantajlar sağlamaktadır.

Tez çalışmasının yapıldığı montaj hattı Şekil 5.1’de betimlenmiştir. Bu hatta, bir ürünün farklı modelleri karışık olarak üretilmektedir. Ürün modellerinin birbirine çok benzer görevleri olduğu gibi birbirinden tamamen farklı görevleri de mevcuttur. Temel olarak modellerdeki görevler birbirine benzemesine rağmen görev sayıları birbirinden çok farklıdır. Dolayısıyla ürünün farklı modellerinin tüm montaj görevleri tamamlanana kadar hat üzerinde geçirdiği süreler de birbirinden farklıdır. Süre farklarına sebep olan durum, ürün modellerinin farklı sayıda katlar içermesidir. Şekil 5.2’de tek katlı ve çok katlı ürün modellerinin betimleyici görselleri sunulmuştur. Bir kısmı tek katlı, bir kısmı çok katlı yapıdaki ürün modellerinin montaj görevleri birbiriyle kıyaslandığında, benzerlik skorları yüksek olmasına rağmen sahip olduğu görev sayısı farklılığı, ürün modellerinin montaj görevlerinin tümünün tamamlanma zamanları arasında büyük farkların oluşmasının nedenidir. Bu süre farkları öylesine yüksektir ki, modelleri adeta farklı ürünler haline getirmekte, hattın etkin dengelenmesini imkânsızlaştırmaktadır. Bu nedenle, Şekil 5.1’de de gösterildiği gibi istasyonlar arasından ilk giren ilk çıkar disiplinli (first in first out, FIFO) yarı ürün kuyrukları oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle, modeller arası büyük farklılık hem verimsizlik oluşturmakta hem de hattın beklemsiz (paced) olarak çalıştırılmasını da engellemektedir. Dolayısıyla ara ürün stokları ve bekleme zamanlarının söz konusu olduğu montaj hatlarında ürünlerin tamamlanma zamanları uzamakta ve ürünün değer akış haritasında katma değer yaratmayan faaliyetlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.1. Montaj hattının betimlemesi



Şekil 5.2. Tek katlı ve çok katlı ürün modellerinin betimleyici görseli

Her birinin kendine ait öncelik diyagramı ve görev zamanları olan b adet farklı model bulunmaktadır. Bu modeller kendi içlerinde katlı yapıya sahiptir. Tez çalışmasında dikkate alınan problemde kat sayısı en fazla üçtür. Temelinde bir modelin katları ayrıştırılmaz ancak farklı modeller yan yana getirilerek daha fazla sayıda kat içeren sanal modeller/ürünler oluşturulabilir. Bu şekilde oluşturulan sanal ürünlerin hattın nihai halinde yan yana hareket ederek birlikte üretilmeleri mümkündür. İki veya daha fazla sayıdaki model yan yana getirilerek sanal ürün oluşturuluyorsa, bu ürünün öncelik diyagramı orijinal modellerin öncelik diyagramının paralel birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Katların pozisyonuna göre sanal ürün görevlerinin L, R veya E-tipi olduğu belirlenir. İki temel aşamaya ayrılabilen problemin ilk aşamasını bahsedilen şekilde sanal ürün tasarımı oluştururken, ikinci aşamasını ise sanal ürünlerin üretiminde kullanılacak montaj hattının dengelenmesi oluşturmaktadır. İlk aşamanın amaç fonksiyonu; talebi karşılayacak en az sayıda ürünü

verecek şekilde birbirine en fazla benzeyen en az sayıdaki m adet sanal ürünün belirlenmesidir.

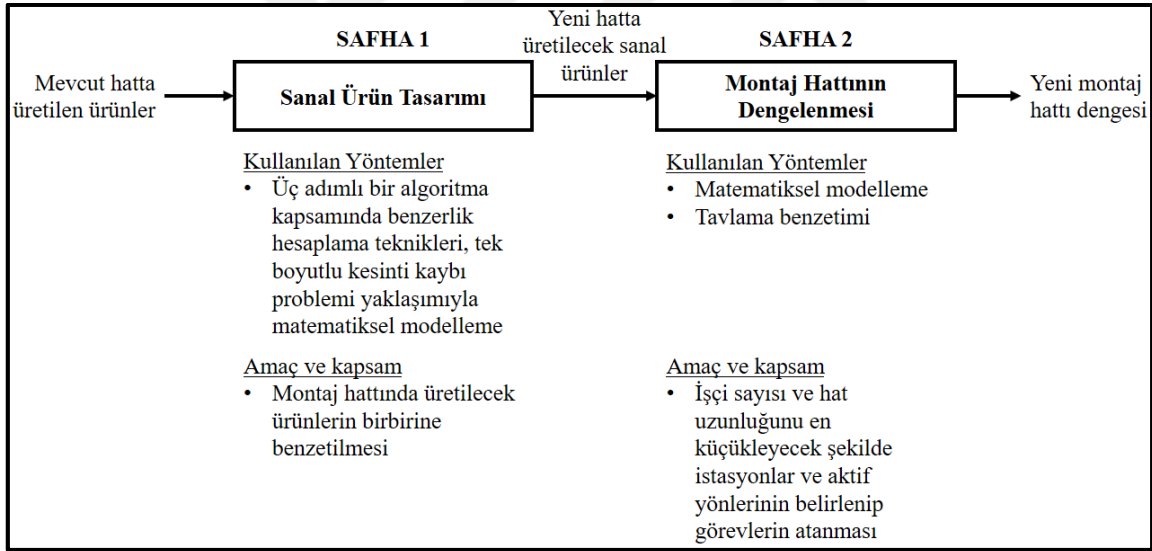
Problemin ikinci aşaması karışık modellenli çift taraflı montaj hattı dengeleme problemine karşılık gelmektedir. Bu problemdeki modeller birinci aşamada belirlenen sanal ürünlere karşılık gelir. Her bir modelin öncelik diyagramı, içerdiği orijinal ürünlerin öncelik diyagramı yoluyla, yönleri ise orijinal ürünlerin sanal üründeki pozisyonları yoluyla belirlenir. Sanal ürünlerin öncelik diyagramlarının Macaskill'in (1972) önerdiği yaklaşımla birleştirilmesi yoluyla elde edilen birleştirilmiş öncelik diyagramının her bir görevi, sağ ve sol olmak üzere en fazla iki farklı yön içeren sıralı istasyonlardan uygun birisine atanacaktır. Bu aşamadaki dengeleme probleminin diğer varsayımları aşağıdaki gibidir.

- Belirlenen sanal ürünler yani modeller aynı çift taraflı montaj hattında üretilecektir.
- İşçiler hattın her iki tarafında paralel olarak görevlerini yaparlar.
- Görevlerin yapıldığı istasyonlar modelden modele farklılık göstermez.
- Bazı görevlerin yapılacağı hat yönü belli iken (L ve R tipi görevler), bazı görevler için hat yönü seçilecektir (E tipi görevler).
- Farklı modellerin öncelik diyagramları bilinmektedir.
- Macaskill'in (1972) önerdiği birleştirilmiş öncelik diyagramı yapısı kullanılmıştır.
- Görev zamanları deterministik olup, istasyon atamalarından bağımsızdır. Paralel görevlere ve paralel istasyonlara izin verilmez.
- Görevin zamanları bir modelden diğerine farklılık gösterebilir ve aynı zamanda sıfıra da eşit olabilir.
- İşçilerin seyahat zamanları yok sayılmıştır.
- Ara stoklara müsaade edilmez.



6. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Bu çalışmada tek katlı ve çok katlı ürün modellerinin üretildiği montaj hattını daha verimli hale getirmek ve katma değer yaratmayan faaliyet ve unsurları yok etmek için iki aşamalı bir çalışma modeli önerilmiştir. İlk aşamada çok katlı nihai ürünler dikkate alınarak birbirine benzeyen sanal ürün kombinasyonları oluşturulmuş ve belirlenen amaçlar doğrultusunda bu kombinasyonlardan seçim yapılmıştır. İkinci aşamada ise seçilen sanal kombinasyonlar dikkate alınarak hali hazırda tek taraflı olarak çalışan montaj hattı çok katlı ürünleri üretebilecek şekilde çift taraflı montaj hattına dönüştürülerek dengeleme çalışması yapılmıştır. Bu açıklamalar kapsamında önerilen çözüm yönteminin, problem tanımındaki aşamaları içerecek şekilde, iki temel safhadan oluştuğu söylenebilir. Bu safhalarda bahsedilen yöntemler ve her bir safhanın amacı Şekil 6.1’de betimlenmiştir.



Şekil 6.1. Çözüm yaklaşımı

6.1. Sanal Ürün Tasarımı

Sanal ürün tasarımı çalışması üç temel adımdan oluşmaktadır. İlk adım, çift taraflı montaj hattı çalışma şekli dikkate alınarak hali hazırda üretilen çok katlı ürün modelinin yapısına uygun olarak tek katlı ürünlerin dizilim kombinasyonlarının oluşturulmasıdır. İkinci adım, oluşturulan kombinasyonların her birinin mevcut çok katlı ürün modeli ile görev tanımı ve görev süresi bakımında kıyaslanarak benzerlik skorlarının hesaplanmasıdır. Son olarak

üçüncü adımda ise; ürün talepleri, benzerlik skorları ve en az sayıda kombinasyon seçim kriterleri dikkate alınarak kombinasyonların belirlenmesidir. Sanal ürün tasarım çalışmasının adımları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

1. Adım: Sanal ürün kombinasyonlarını oluştur.
2. Adım: Sanal ürün kombinasyonlarının benzerlik skorlarını hesapla.
3. Adım: Kombinasyonları seç.

6.1.1. Sanal ürün kombinasyonlarının oluşturulması

Birinci aşamada, tek katlı ürün modellerinin çok katlı ürün modeline benzetilmesi amacıyla modellerin yan yana dizilimi yapılacaktır. Uygulamanın yapıldığı üretim sisteminde en fazla üç katlı ürün yer aldığı için bu çalışmada da üç kat dikkate alınacaktır. Bu katlar sırasıyla α , β ve γ olmak üzere $\alpha\beta\gamma$ tek katlı ürünlerin dizilim şeklini ifade etmektedir. α , dizilimde sol tarafı diğer bir ifade ile sol tarafa gelecek tek katlı ürünün yönünü; β , dizilimdeki orta kısmı diğer bir ifade ile ortaya gelecek ürünün konumunu; γ , ise dizilimdeki sağ tarafı diğer ifade ile sağ tarafa gelecek ürünün yönünü temsil etmektedir. Bu adım kapsamında nihai ürünlerin tamamı dikkate alınarak bütün kombinasyonlar tek tek oluşturulur ve üretimi mümkün olanlar bir sonraki aşamaya girdi oluşturacak şekilde belirlenir.

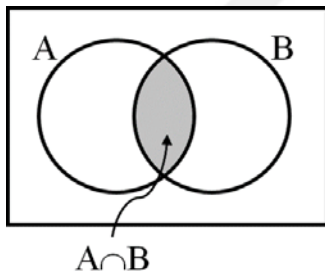
6.1.2. Sanal ürün kombinasyonlarının benzerlik skorlarının hesaplanması

İkinci aşamada, oluşturulan ürün kombinasyonlarının hali hazırdaki çok katlı ürün modeline olan benzerliği değerlendirilecektir. Literatürde kümelerin benzerliklerini ölçmek için bazı yaklaşımlar vardır. Cosine Benzerliği (COS), daha küçük açının daha büyük benzerlik gösterdiği ve daha büyük açının daha az benzerlik gösterdiği iki nominal vektör arasındaki açıyı ölçer. Pearson'un -1 ile 1 arasında bir değer alan korelasyon katsayısı (COR), iki değişken arasında bir ilişkinin ne kadar güçlü olduğunu bulmak için kullanılır. Standart sapmalarının çarpımına bölünen bu değişkenlerin kovaryansı olarak hesaplanır (Ahn, 2008). Sınırlı Pearson Korelasyonu (TBM), Pearson Korelasyonunun değiştirilmiş versiyonudur. Bu benzerlik sadece aynı pozitif veya negatif taraftaki derecelendirme çiftlerinin korelasyonda artmasına izin verir (Bag ve arkadaşları, 2019). İki madde grubu arasındaki Ortalama Karesel Mesafe (MSD), ortak puanlama maddeleri üzerindeki puanlama farklarının kareleri toplamı ve ortak puanlama maddelerinin önem düzeyleri ile hesaplanır.

Ortalama Kare Benzerliği, MSD'yi 1'den çıkartarak hesaplanır (Bag ve arkadaşları, 2019). Ağırlıklandırılmış düzenli matris faktörlendirme yöntemi (WRMF), güven değerini ağırlık olarak kullanarak güven düzeylerini ve tercihlerini gizli geribildirimden alır (Hu ve arkadaşları, 2018; Kagita ve arkadaşları, 2017). Sonlu örnek kümeleri arasındaki benzerlik ölçüm yöntemlerinden birisi de Jaccard Benzerliğidir. Bu benzerlik kullanımı kolay olduğu için çeşitli alanlarda çok sık tercih edilmektedir. Jaccard benzerliği, iki kümenin kesişiminin birleşim büyüklüğüne oranı olarak tanımlanmaktadır (Bag ve arkadaşları, 2019). Bu tez çalışmasında Jaccard Benzerlik Yöntemi, sanal ürün kombinasyonlarının benzerlik skorlarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

A ve B olmak üzere Şekil 6.2'de gösterilen iki küme verilsin. Bu durumda, bu iki kümenin Jaccard benzerlik indeksi Eş.6.1 kullanılarak hesaplanır (Bag ve arkadaşları, 2019).

$$JI(A, B) = |A \cap B| / (|A| + |B| - |A \cap B|) \quad (6.1)$$



Şekil 6.2. Aralarındaki benzerliği hesaplamak için verilen iki küme

Çok katlı ürün, tek katlı ürünlerden oluşan bir dizilime sahiptir. Bu dizilimde, ürünlerin hat üzerindeki hareket yönüne göre, çok katlı modelin α ürün tarafı, hattın sol tarafında bulunur. β hattın orta tarafında hareket ederken, γ ise hattın sağ tarafında kalır. Hattın orta tarafında hareket eden ürünün her bir görevi hattın sol ve sağ taraf işçilerinden birine atanabilir. Üç kat içeren ve benzerlik hesaplamasına temel oluşturan ana ürün modeli $l_1 l_2 l_3$ olmak üzere (hattın sol tarafında l_1 , orta kısmında l_2 ve sağ tarafında l_3 yer alır), $\alpha \beta \gamma$ dizilimine sahip olan i sanal ürün kombinasyonunun benzerlik değeri Eş 6.2 kullanılarak hesaplanır.

$$S_i = \frac{2 \cdot JI(\alpha, l_1) + JI(\beta, l_2) + 2 \cdot JI(\gamma, l_3)}{5} \quad (6.2)$$

Bu eşitlikte, α , β ve γ ürünleri sırasıyla çok katlı üründeki dizilime göre hattın aynı tarafında hareket eder. Sol ve sağ taraf benzerlik değerlerinin etkilerini artırmak için, L ve R tipi görevler yalnızca sol ve sağ taraf çalışanlarına verilebildiğinden katsayıları 2 olarak alınmıştır. Diğer bir deyişle, L ve R tipi görevler için ikinci bir alternatif yoktur. E tipi görevler ise hattın L ya da R olmak üzere her iki tarafına da atanabileceğinden katsayısı 1'dir.

6.1.3. Kombinasyonların seçilmesi

Üçüncü ve son aşamada ise, kombinasyonlar belirli kriterler dikkate alınarak değerlendirilecektir. Üretimde hali hazırda üretilen çok katlı ürün modelinin dışında ayrıca oluşturulan tüm kombinasyonları göz önünde bulundurmak etkili bir yaklaşım değildir. Çünkü kombinasyonlar birbirinden çok farklıdır. Dolayısıyla istasyon yükleri bir kombinasyondan diğerine büyük ölçüde değişecektir. Ayrıca hat çalışanları için üretimde öğrenme etkisinin büyük olmasından dolayı çok fazla modelin birbirinden farklı görevlerini izin verilen zaman dilimi içerisinde (çevrim zamanı) tamamlamakta zorluk çekeceklerdir. Sonuç olarak karışık modellenli montaj hattında üretilecek model sayısı ne kadar az olursa, hattın etkinliği ve işletim kolaylığı da genellikle o oranda iyileşecektir. Bu nedenle, çok katlı ürüne en çok benzeyen ve talebi karşılamak için kullanılabilir tüm kombinasyonların küçük bir alt kümesi seçilmelidir. Bu amaçla, revize edilmiş bir boyutlu stok kesme problemi (1D-CSP) kullanılmıştır.

Stok kesme problemi, kâğıt, cam çelik, metal, deri gibi birçok endüstride faaliyet gösteren üretim tesislerinin maliyetlerini en küçükmek ve süreç verimliliklerini artırarak daha etkin bir yönetim sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Stok kesme problemleri, birçok endüstride karşılaşılan önemli bir problem çeşidi olmasından dolayı literatürde kendine geniş bir yer bulmuştur. Stok kesme problemleri işletmeden işletmeye farklılık gösteren bir problem tipidir. Bu tip problemlerin birçoğu belirli büyüklükteki veya genişlikteki parçalardan üretim maliyetlerini ve fire miktarını en küçükmek ya da karı en büyükmek gibi amaç fonksiyonlarını optimize ederek belirli büyüklük ve miktarda daha kısa parçaların kesilmesini içerir (Yanasse ve Lamosa, 2006).

1D-CSP, talebi karşılamak için standart tek boyutlu nesnelerin farklı miktarlarda nasıl kısaltılacağı olarak tanımlanır. 1D-CSP'nin temel amacı, kesme kaybını en aza indirmektir. Problemin matematiksel modeli aşağıdaki şekildedir (Benjaoran ve arkadaşları, 2019).

Parametreler

j : Malzeme

i : Kesme Planı

A_{ij} : j malzemesinin i kesme planındaki bir parçası

D_j : j malzemesinin talebi

Karar Değişkenleri

x_i : Kesme planındaki kesme sayısı

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_i x_i \quad (6.3)$$

Kısıtlar

$$\sum_i A_{ij} x_i \geq D_j, \quad \forall j \quad (6.4)$$

İşaret Kısıtları

$$x_i \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (6.5)$$

Bu çalışmada sanal ürün kombinasyonlarını belirlemek amacıyla 1D-CSP modeli göz önünde bulundurularak aşağıdaki matematiksel model geliştirilmiştir.

Parametreler

- i : Sanal ürün kombinasyonu
 j : Ürün
 S_i : i kombinasyonunun benzerlik skoru
 D_j : j ürünü için talep miktarı
 A_{ij} : i kombinasyonundaki j ürünü miktarı
 M : Yeterince büyük sabit

Karar Değişkenleri

- x_i : Üretilecek olan i kombinasyonu miktarı
 y_i : Eğer i kombinasyonu üretim için seçilir ise 1; aksi durumda 0

Amaç Fonksiyonları

$$\min \sum_i x_i \quad (6.6)$$

$$\max \sum_i S_i x_i \quad (6.7)$$

$$\min \sum_i y_i \quad (6.8)$$

Kısıtlar

$$\sum_i A_{ij} x_i \geq D_j, \quad \forall j \quad (6.9)$$

$$x_i - M \cdot y_i \leq 0, \quad \forall i \quad (6.10)$$

İşaret Kısıtları

$$x_i \geq 0 \text{ ve tamsayı}, \quad \forall i \quad (6.11)$$

$$y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \quad (6.12)$$

Eş. 6.6, Eş. 6.7 ve Eş. 6.8'de öncelik sırasına göre problemin amaç fonksiyonlarını ifade etmektedir. Birincil amacı ifade eden Eş. 6.6, üretilen kombinasyonların toplam sayısını en aza indirir. Problem, bu amaç ve Eş. 6.9, 6.10, 6.11 ve 6.12 kısıtları dikkate alınarak çözüldükten sonra yeni kısıt olarak $\sum_i x_i = z_1^*$ eklenir ve bir sonraki amaç dikkate alınır. z_1^* ikincil olarak bu evrenin optimal amaç fonksiyonu değeridir. Eş. 6.7 seçilen kombinasyonun ortalama benzerliğini maksimize eden ikincil amacı göstermektedir. İlk aşamadaki çözümle üretilen ürün sayısı z_1^* değerine sabitlendiğinden, bu fonksiyon ortalama benzerliği maksimize edecektir. $\sum_i S_i x_i = z_2^*$ üçüncül amaç probleme eklendikten sonra Eş. 6.8, seçilen kombinasyon sayısını diğer bir ifade ile sanal ürün sayısını en küçükmeyi sağlar. Eş. 6.9, seçilen kombinasyonların, ilgili ürünlere olan müşteri taleplerini karşılamasını sağlar. Diğer bir deyişle talebi karşılama kısıtıdır. Eş. 6.10, uygun x_i değişkenlerine göre y_i değişkenlerine uygun değerleri atar. Eş. 6.11 ve 6.12, işaret kısıtlarını ifade etmektedir.

6.2. Montaj Hattının Dengelenmesi

Problemin ikinci aşamasını oluşturan karışık modelli çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminin çözülmesi amacıyla literatürde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu bölümde çözüm için en bilinen ve tercih edilen yöntemler arasında yer alan matematiksel model ve meta-sezgisellerden Tavlama Benzetimi Algoritması kullanılmıştır. Aşağıdaki alt başlıklarda sırasıyla bu konulara değinilecektir.

6.2.1. Matematiksel formülasyon

Bu bölümde sunulan matematiksel model Özcan ve Toklu (2009)'nun çalışmasında önerilen matematiksel model yapısına dayanmaktadır. Önerdikleri bu modelde öncelikli amaçlarını belirli çevrim zamanını dikkate alarak çift istasyon sayısını bir diğer deyişle hat uzunluğunu

en küçüklemek olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında problem çözümü için yeni bir karışık tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. KÇMHDP için Özcan ve Toklu (2009) tarafından önerilen model temeline dayanan matematiksel model aşağıdaki gibidir:

İndisler

i, h, p, r : Görev

j, g : Çift istasyon

m : Ürün modeli

k, f : Hattın çalışma tarafı

$$k, f = \begin{cases} 1, & \text{sol taraf} \\ 0, & \text{sağ taraf} \end{cases}$$

j, k : Çift istasyon j ve onun operasyon tarafı k

Parametreler

I : Görev kümesi; $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, nt\}$

J : Çift istasyon kümesi; $J = \{1, 2, \dots, j, \dots, nms\}$

M : Ürün modeli kümesi; $M: \{1, 2, \dots, m, \dots, npm\}$

A_L : Hattın sol tarafında yapılan görevler kümesi $A_L \subset I$

A_R : Hattın sağ tarafında yapılan görevler kümesi $A_R \subset I$

A_E : Hattın her iki tarafında yapılan görevler kümesi $A_E \subset I$

$P_{(i)}$: Görev i 'nin hemen öncülleri kümesi

$P_{a(i)}$: Görev i 'nin bütün öncülleri kümesi

$S_{(i)}$: Görev i 'nin hemen ardılları kümesi

$S_{a(i)}$: Görev i 'nin bütün ardılları kümesi

P_0 : Hiç öncülü olmayan görevler kümesi;

$$P_0 = \{i \in I \mid P_{(i)} = \emptyset\}$$

t_{im} : Görev i 'nin, m modeli için operasyon zamanı

φ : Çok büyük pozitif bir sayı

$C_{(i)}$: Görev i 'nin operasyon tarafı karşısında yer alan görevler kümesi;

$$C_{(i)} = \begin{cases} A_L, & i \in A_R \\ A_R, & i \in A_L \\ \emptyset, & i \in A_E \end{cases}$$

$K_{(i)}$: Görev i 'nin tercih edilen operasyon tarafı kümesi;

$$K_{(i)} = \begin{cases} \{1\} & i \in A_R \\ \{2\} & i \in A_L \\ \{1,2\} & i \in A_E \end{cases}$$

C : Çevrim zamanı

ε : Çok küçük pozitif bir sayı,

$$0 < \varepsilon \leq \left(\frac{1}{nms + 1} \right)$$

$\|M\|$: Model Sayısı

Karar Değişkenleri

x_{ijk} : Görev i istasyon j 'nin k yönüne atanmışsa 1; aksi halde 0

t_{im}^f : m modeli için görev i 'nin bitiş zamanı

F_j : Eş istasyon j 'nin her iki tarafı kullanılıyor ise 1; aksi halde 0

G_j : Eş istasyon j 'nin tek tarafı kullanılıyor ise 1; aksi halde 0

U_{jk} : İstasyon (j, k) açılmış ise 1; aksi halde 0

V_{jkm} : Eş istasyon (j, k) m modeli için açılmış ise 1; aksi halde 0

Z_{ip} : Görev i aynı istasyonda görev p 'den önce yapılıyorsa 1; aksi halde 0

$$\text{Min} \sum_{j \in J} \sum_{k=1,2} U_{jk} + \varepsilon \sum_{j \in J} (F_j + G_j) \quad (6.13)$$

S.t.

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K(i)} x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in I \quad (6.14)$$

$$\sum_{g \in J} \sum_{k \in K(h)} g \cdot x_{h g k} - \sum_{j \in J} \sum_{k \in K(i)} j \cdot x_{ijk} \leq 0, \quad \forall i \in I - P_0, h \in P(i) \quad (6.15)$$

$$t_{im}^f \leq C, \quad \forall i \in I, m \in M \quad (6.16)$$

$$t_{im}^f - t_{hm}^f + \varphi \left(1 - \sum_{k \in K(h)} x_{hjk} \right) + \varphi \left(1 - \sum_{k \in K(i)} x_{ijk} \right) \geq t_{im}, \quad \forall i \in I - P_0, \\ h \in P(i), j \in J, m \in M \quad (6.17)$$

$$t_{pm}^f - t_{im}^f + \varphi(1 - x_{pjk}) + \varphi(1 - x_{ijk}) + \varphi(1 - z_{ip}) \geq t_{pm}, \quad \forall i \in I, \\ m \in M, p \in \{r \mid r \in I - (P_{a(i)} \cup S_{a(i)} \cup C(i)), i < r\}, \\ j \in J, k \in K(i) \cap K(p) \quad (6.18)$$

$$t_{im}^f - t_{pm}^f + \varphi(1 - x_{pjk}) + \varphi(1 - x_{ijk}) + \varphi z_{ip} \geq t_{im}, \quad \forall i \in I, \\ m \in M, p \in \{r \mid r \in I - (P_{a(i)} \cup S_{a(i)} \cup C(i)), i < r\}, \\ j \in J, k \in K(i) \cap K(p) \quad (6.19)$$

$$\sum_{i \in I} t_{im} x_{ijk} - \varphi V_{jkm} \leq 0, \quad \forall j \in J, \quad m \in M, \quad k \in K(i) \quad (6.20)$$

$$\sum_{m \in M} V_{jkm} - \|M\| \cdot U_{jk} = 0, \quad \forall j \in J, \quad k = 1, 2 \quad (6.21)$$

$$\sum_{k=1,2} U_{jk} - 2F_j - G_j = 0, \quad \forall j \in J \quad (6.22)$$

$$t_{im}^f \geq t_{im}, \quad \forall i \in I, m \in M \quad (6.23)$$

$$F_{j-1} + G_{j-1} \geq F_j + G_j, \quad \forall j \quad (6.24)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K_{(i)} \quad (6.25)$$

$$Z_{ip} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, p \in \{r \mid r \in I - (P_{a(i)} \cup S_{a(i)} \cup C_{(i)}), i < r\} \quad (6.26)$$

$$F_j, G_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (6.27)$$

$$U_{jk} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, k = 1, 2 \quad (6.28)$$

$$V_{jkm} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, m \in M, \quad k = 1, 2 \quad (6.29)$$

Özcan ve Toklu (2009)'nun önerdikleri matematiksel model temel alınarak oluşturulan matematiksel modelde amaç fonksiyonu revize edilmiştir. Özcan ve Toklu (2009) birincil olarak çift istasyon sayısı diğer bir ifade ile hat uzunluğunu, ikincil olarak ise istasyon sayısı diğer bir ifade ile işçi sayısını en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada kullanılan matematiksel modelde ise birincil olarak işçi sayısı, ikincil amaç olarak ise hat uzunluğunun

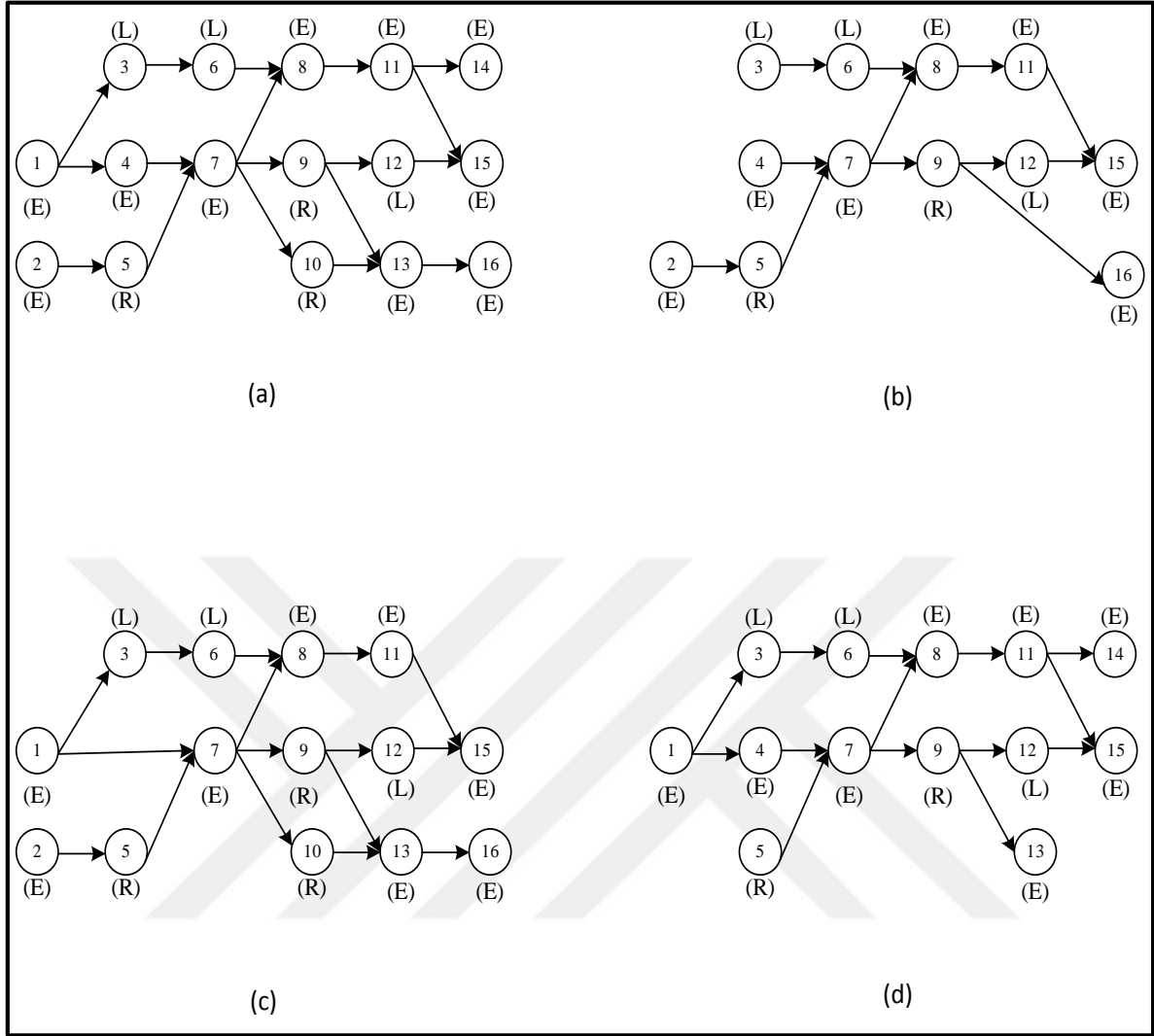
en küçüklenmesi dikkate alınmıştır. Bu noktada ikilcil amacın katsayısını oluşturan ε değeri de güncellenmiştir. Ayrıca kısıt bölümüne de ilave bir kısıt eklenmiştir. İlave olarak gelen $F_{j-1} + G_{j-1} \geq F_j + G_j$ kısıtı herhangi bir istasyonun açılabilmesi için bir önceki istasyonun açılması gerekliliğini sağlamaktadır.

Eş. 6.13, amaç fonksiyonu olup hatta kullanılan işçi sayısını öncelikli amaç olarak en küçükler. İkincil amaç olarak ise istasyon sayısını yani hat uzunluğunu (hattaki çalışma parçası/ara ürün sayısını) en küçükler. Kısıt bölümüne geçildiğinde Eş. 6.14, her bir görevin sadece bir istasyona atanmasını sağlayan atama kısıtıdır. Eş. 6.15, bütün öncelik ilişkilerine uyulmasını sağlayan öncelik ilişkisi kısıtıdır. Eş. 16, tüm m için $m \in M$ her bir görevinin bitirilme zamanının çevrim zamanını aşamayacağını gösteren bir çevrim zamanı kısıtıdır. Eş. 6.17, 6.18 ve 6.19, tüm m modeli için $m \in M$ görevlerinin sıraya bağlı bitiş zamanlarını kontrol eden kısıtlardır. Her i ve h görev çifti için, eğer h görevi i görevinin öncülü ise ve bu görevler aynı j çift istasyonuna atanmış ise Eş. 6.17 aktif hale gelir, $t_{im}^f - t_{hm}^f \geq t_{im}$ tüm m modeli için $\forall m \in M$. Eğer aralarında öncelik ilişkisi olmayan iki görev aynı (j, k) istasyonuna atanmış ise, Eş. 6.18 ve 6.19 aktif hale gelir. Eğer i görevi p görevinden önce istasyona atanmış ise Eş. 6.18 tüm m modeli için $\forall m \in M$ $t_{pm}^f - t_{hmim}^f \geq t_{pm}$ halini alır. Aksi durumda Eş. 6.19 tüm m modeli için $\forall m \in M$ $t_{im}^f - t_{pm}^f \geq t_{im}$ halini alır. Eş. 6.20 ve 6.21, istasyon sayısını tüm ürün modelleri için aynı yapmayı sağlayan Gökçen ve Erel (1997) tarafından karışık modellenli tek taraflı MHDP için geliştirilen istasyon kısıtlarıdır. Bu kısıtlar KÇMHDP için değiştirilmiştir. Eğer tüm modeller için (j, k) istasyonuna görev atanırsa sıfırdan farklı bir değer olarak tüm modellerde bu istasyondan faydalanır. Eğer tüm modeller için bir veya birden fazla görev (j, k) istasyonuna atanırsa U_{jk} bir değerini aksi halde de sıfır değerini alacaktır. Eş. 6.22 ile çift istasyon sayısı diğer bir deyişle hattın uzunluğu bulunmaktadır. Eş. 6.23, m modeli için i görevinin bitirilme zamanının, m modelinin i görevinin tamamlanma zamanına eşit ya da daha büyük olmasını sağlamaktadır. Eş. 6.24, ise herhangi bir j istasyonunun açılabilmesi için $j-1$ istasyonunun açılması gerektiğini ifade eder. Eğer bir eş istasyonun her iki tarafı kullanılıyorsa F_j bir değerini, G_j ise sıfır değerini alır. Yani çift istasyondan sol taraftaki $(j, 1)$, aynı çift istasyonda sağ taraftaki $(j, 2)$ değerini alıyorsa F_j bir değerini G_j sıfır değerini alır. Sadece tek tarafı kullanılıyorsa F_j sıfır değerini G_j bir değerini alır. Dolayısıyla toplam hat uzunluğu $\forall j \in J$ için F_j ve G_j toplamına eşittir. Eş. 6.25, 6.26, 6.27, 6.28 ve 6.29 arasındaki kısıtlar işaret kısıtlarıdır. Eş. 6.25, atama kısıtıdır

ve 0 ya da 1 olabileceğini ifade eder. Eş. 6.26, ise 2 görevin aynı istasyonda yapılma sırasına göre 0 ya da 1 değerini alacağını ifade eder. Eş. 6.27, her iki tarafı ve sadece tek tarafı kullanılan sırasıyla F_j ve G_j eş istasyonların ifadelerinin 0 ya da 1 değerini alabileceğini ifade eder. Eş. 6.28, ise istasyonun kullanılıp kullanılmadığına göre 0 ya da 1 değerini alabileceğini gösterir. Eş. 6.29, ise istasyonun kullanılıp kullanılmadığına göre 0 ya da 1 değerini alabileceğini ifade eder.

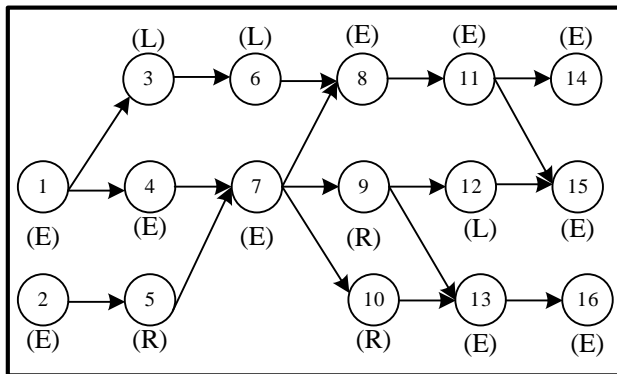
Betimleyici örnek

Özcan ve Toklu (2009)'nun çalışmasında önerilen matematiksel model, küçük boyutlu bir veri seti ile çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Kullanılan veri seti 4 model içermekte olup her bir modelin öncelik diyagramı ve görev operasyon yönü Şekil 6.3'de sunulmuştur.



Şekil 6.3. Öncelik diyagramı ve görev operasyon yönü: model-1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d)

4 modelden ve 16 görevden oluşan küçük boyutlu veri setinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi diyagramı ve görev operasyon tarafı aşağıda Şekil 6.4’de ifade edildiği gibidir.



Şekil 6.4. 4 modelin birleştirilmiş öncelik diyagramı ve görev operasyon yönü

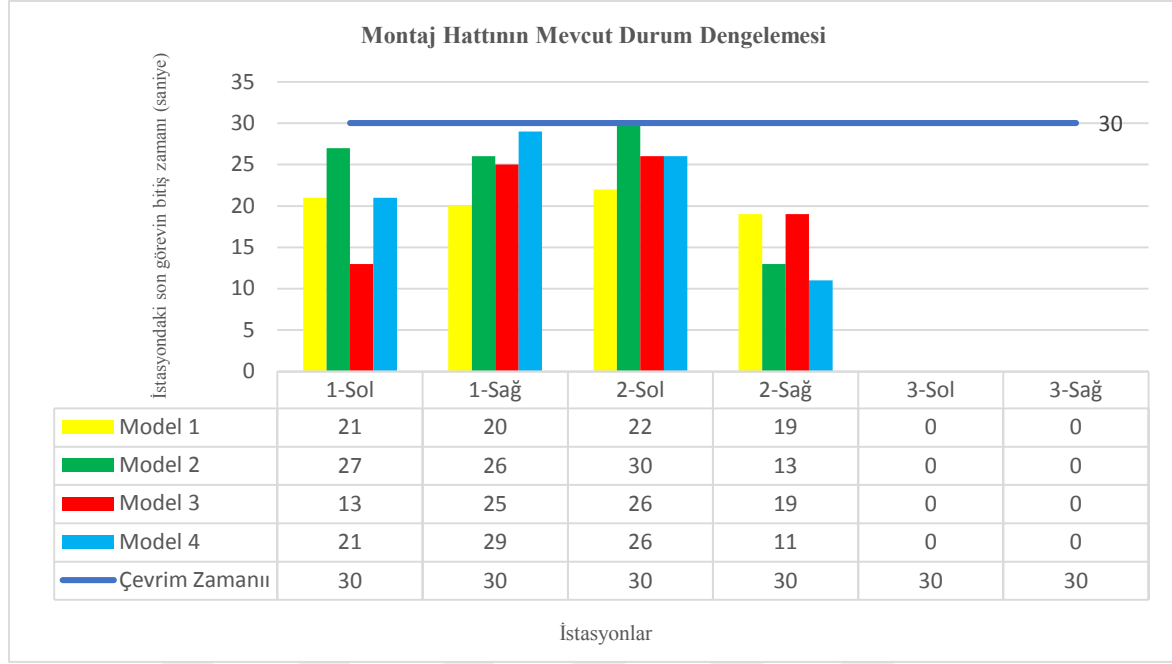
Ayrıca Çizelge 6.1’de her bir model için görev süreleri saniye cinsinden sunulmuştur. Çevrim süreleri 30 saniye olarak alınmış olup maksimum 3 çift istasyon açılmasına izin verilmiştir.

Çizelge 6.1. 4 modelin görev süreleri

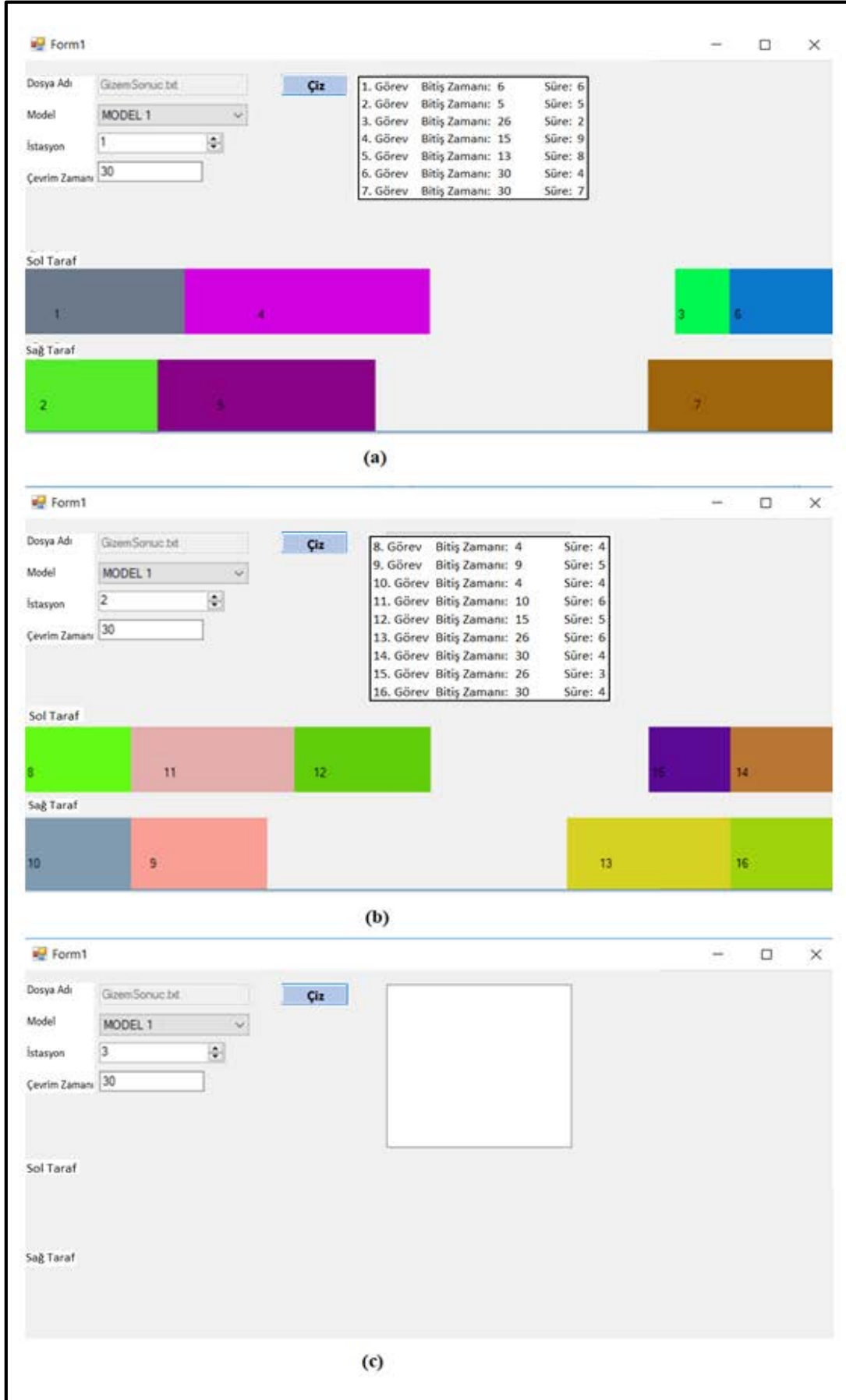
Görev	1. Model	2. Model	3. Model	4. Model
1	6	0	3	6
2	5	5	10	0
3	2	2	2	2
4	9	17	0	9
5	8	8	8	16
6	4	8	8	4
7	7	13	7	13
8	4	8	4	8
9	5	5	5	5
10	4	0	4	0
11	6	6	6	6
12	5	10	10	5
13	6	0	6	6
14	4	0	0	4
15	3	6	6	3
16	4	8	4	0

Matematiksel model hesaplamaları için GAMS win64 24.1.3 program paketi kullanılmıştır. Çözüm bilgisayarın teknik yeterlilikleri ile değerlendirilmiştir. Kişisel bilgisayarda bulunan işlemci Intel® Core™ i7-7600U, RAM 12 GB, işletim sistemi ise 64-Bit Windows 10 Pro’dur.

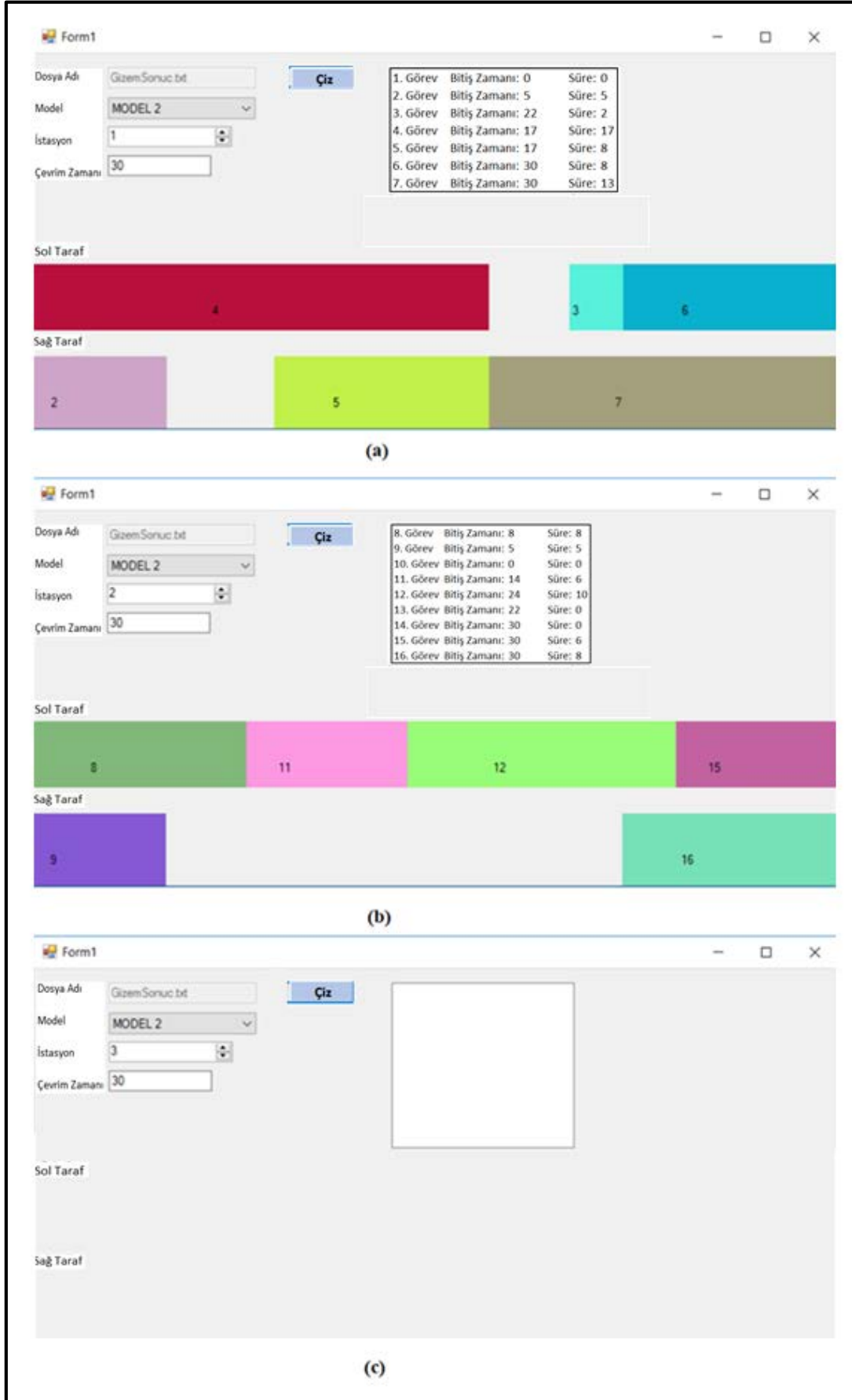
Program çalıştırıldıktan 0,22 saniye sonra optimal çözümü bulmuştur. Tüm görevler aralarındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak ilk 2 çift istasyona atanmıştır. 3. diğer bir ifade ile son istasyona atama yapılabilecek görev kalmamıştır. Dolayısıyla ilk 2 çift istasyon kullanılmış, son istasyon boş kalmıştır. Şekil 6.5’te her bir modelin görevlerinin istasyonlara atandıktan sonra dolulukları verilmiştir. Her bir model için tüm görevlerin istasyonlara atanma düzenini sıralarıyla aşağıdaki ekran görüntüleri Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9 ile ifade edilmiştir.



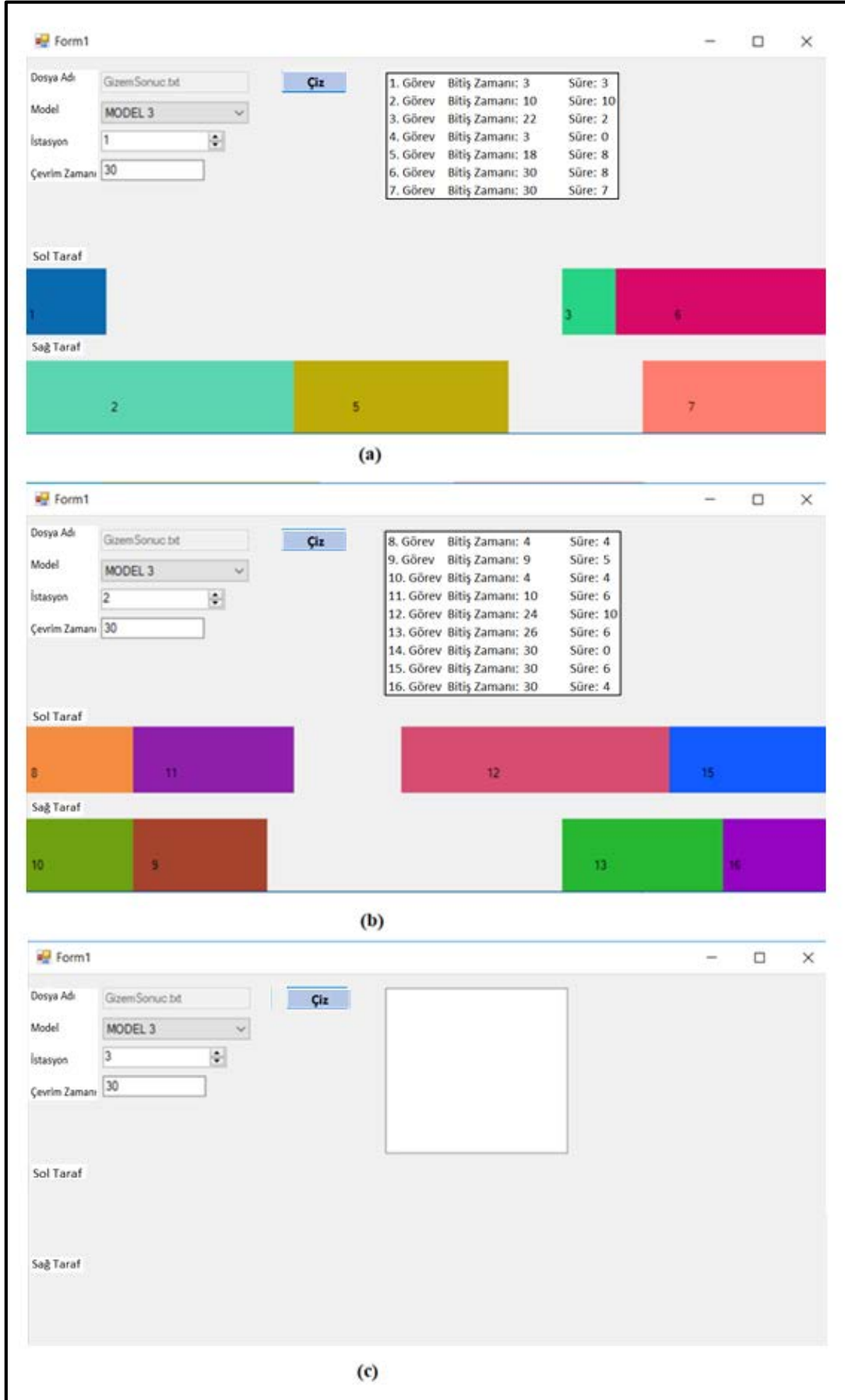
Şekil 6.5. Dengeleme sonucu modellere göre istasyon dolulukları



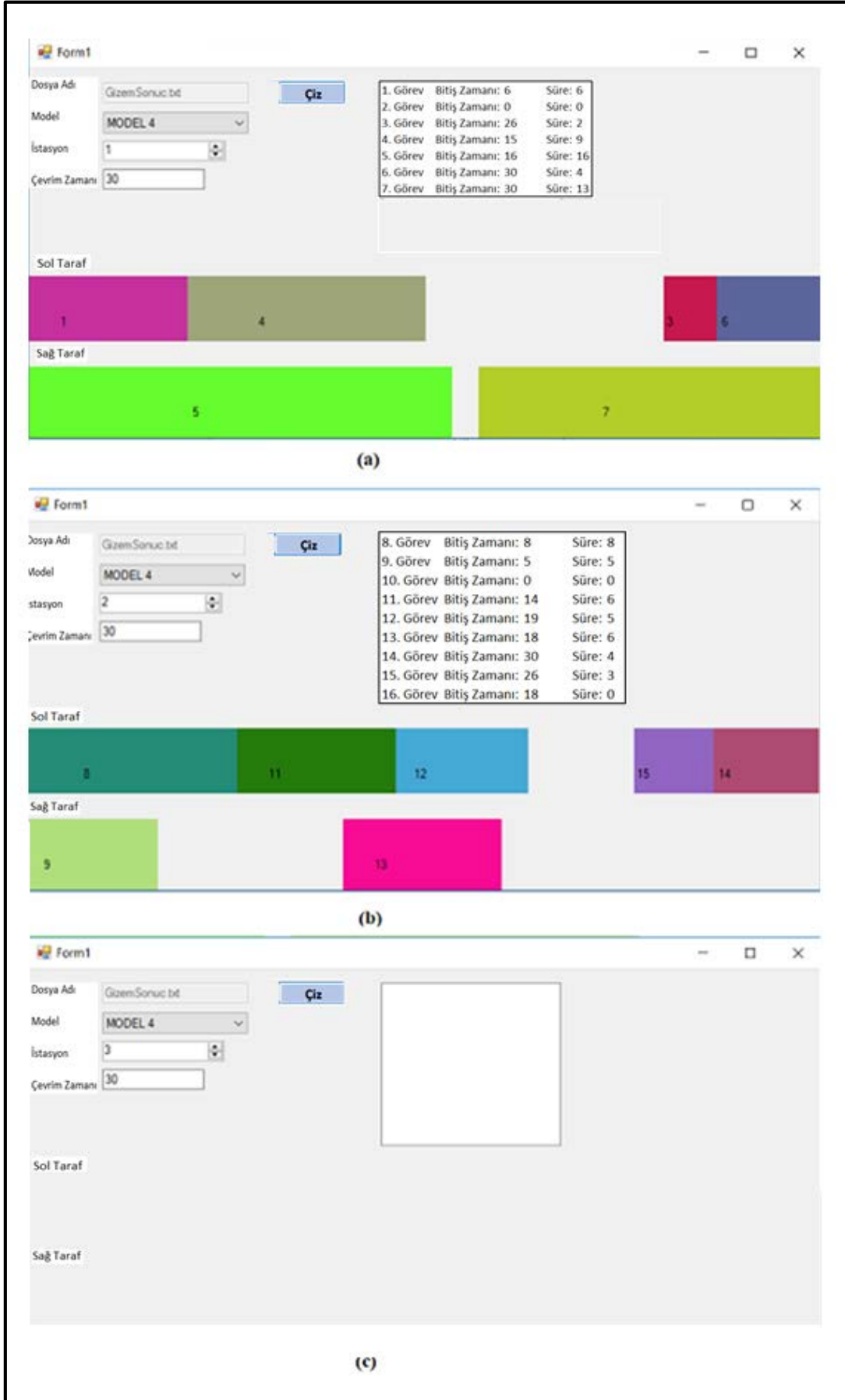
Şekil 6.6. Model-1 görev atması; (a) 1., (b) 2., (c) 3. istasyon görevleri



Şekil 6.7. Model-2 görev atması; (a) 1., (b) 2., (c) 3. istasyon görevleri



Şekil 6.8. Model-3 görev atması; (a) 1., (b) 2., (c) 3. istasyon görevleri



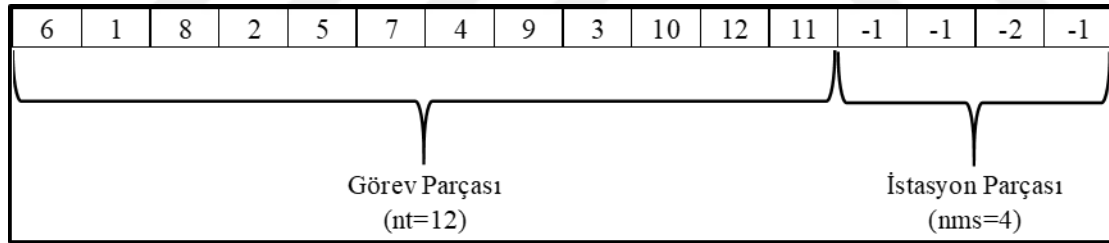
Şekil 6.9. Model-4 görev atması; (a) 1., (b) 2., (c) 3. istasyon görevleri

6.2.2. Önerilen tavlama benzetimi algoritması

Dikkate alınan KMÇMHD probleminin çözümü için önerilen tavlama benzetimi algoritmasının bileşenleri aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

Çözüm gösterimi

Problemin çözümlerinin kodlanması amacıyla nt ve nms sırasıyla görev sayısı ve maksimum çift istasyon sayısı olmak üzere $nt + nms$ uzunluğunda bir dizi kullanılmıştır. Çözüm gösterimine ilişkin bir örnek Şekil 6.10'de sunulmuştur. Bu dizinin ilk nt adet elemanı görev parçası olarak adlandırılmış olup görevlerin bir permütasyonuna karşılık gelir. İstasyon parçası olarak adlandırılan son nms adet elemanı da istasyon yapılarını tanımlamaktadır. İstasyon parçasında yer alabilen -1 , -2 , -3 değerleri sırasıyla ilgili istasyonun sadece sol taraf işçisi içerdiğini, sadece sağ taraf işçisi içerdiğini ve her iki taraf işçisini de içerdiğini ifade eder. İstasyon parçası, ilk elemanı ilk istasyonu, ikinci elemanı ikinci istasyonu tanımlayacak şekilde oluşturulmaktadır.



Şekil 6.10. Rassal olarak üretilmiş görev ve istasyon dizilimi

Başlangıç çözümünün oluşturulması

Önerilen TB'de başlangıç çözümde bulunan görev ve istasyon parçası rassal olarak üretilmiştir. Öncelikle istasyon atamasında kullanılacak görevlerin tercih dizilimini ifade eden Görev Parçası, uzunluğu nt olan rassal bir permütasyon şeklinde oluşturulur. Ardından ikinci adım olarak istasyon parçası rassal olarak oluşturulur. Bu amaçla her bir istasyona karşılık gelen yapı değeri, $\{-1, -2, -3\}$ kümesinden rassal olarak seçilir. Şekil 6.10'da rassal olarak oluşturulmuş bir Görev Parçası ve İstasyon Parçası örneği sunulmuştur.

Amaç fonksiyonu değerinin hesaplanması

Amaç fonksiyonu hesaplama prosedürünün adımları Şekil 6.11’de verilmiştir. Algoritmada öncelikle istasyon listesi ve atanmamış görevler listesi oluşturulmaktadır. İstasyon listesinin j. sırasında bulunan istasyon, çözümün İstasyon Parçasının j. sırasında -1 varsa sadece sol taraf işçisini, -2 varsa sadece sağ taraf işçisini, -3 varsa her iki işçiyi de içerir. Çözumsuz durumlarla karşılaşmamak için istasyon listesinin sonuna görev sayısı kadar iki işçili istasyon eklenir. Görev listesi ise çözümün Görev Parçasının doğrudan kopyası alınarak oluşturulur. İstasyon listesindeki ilk sıradaki istasyon alınır ve görev atamaları için sırasıyla görev listesindeki görevler öncelik ilişkisi, görev tarafı ve görev tamamlanma süresi bakımından değerlendirilir.

Algoritma Amaç Fonksiyonu Değeri Hesapla

Girdi: Çözüm

Çıktı: Amaç fonksiyonu değeri

Adım 1: Çözümün İstasyon Parçasını dikkate alarak boş istasyonlardan oluşan istasyon listesini oluştur (İstasyonList). İstasyonList’in sonuna her birisi sol ve sağ işçileri içeren görev sayısı kadar boş istasyon oluştur.

Adım 2: Çözümün Görev Parçasını AtanmamışGörevler listesi olarak al.

Adım 3: foreach (mevcutIstasyon in İstasyonList)

```
{
  foreach (Gorev in AtanmamışGorevler)
  {
    Eğer (Gorev’in tüm öncülleri atanmış ve mevcut istasyona atanabilirse)
    {
      -Gorev’i mevcutIstasyon’a ata.
      -Model bazında görev bitiş zamanlarını hesapla.
      -Gorev’i AtanmamışGorevler’den çıkart.
      -AtanmamışGorevler’in en başına dön.
    }
  }
}
```

Şekil 6.11. Amaç fonksiyonu hesaplama prosedürü

Görev listesinde bu koşulları sağlayan ilk görev bulunduğunda istasyona atanır ve istasyonun toplam görev süresi hesaplanır. Atanan görev görev listesinden çıkartılarak atanmamış görev listesi güncellenir. Ardından tekrar atanmamış görev listesinin başına dönülerek istasyona atamaya uygun görev aranır ve yukarıda bahsedildiği gibi atama yapılır. Atanmamış görev listesi baştan sona bir defa taranıp ilgili istasyona atanacak uygun görev

bulunamazsa istasyon kapatılır ve istasyon listesindeki sıradaki istasyon açılır ve atama prosedürüne aynı şekilde devam edilir. Atanmamış görev listesinde görev kalmadığında yani liste boşaldığında atama prosedürü tamamlanmış olur. Kullanılan işçi sayısı ve çift istasyon sayısı hesaplanarak amaç fonksiyonu değeri belirlenir.

Komşu çözümlerin oluşturulması

Mevcut çözümden rassal bir komşu çözüm üretilmesi amacıyla kullanılan algoritma Şekil 6.12’de sunulmuştur. Bilindiği gibi çözüm Görev Parçası ve İstasyon Parçası olmak üzere iki temel bölüm içerir. Komşu çözüm üretmede Görev Parçası kullanılacaksa yer değiştirme yoluyla üretim gerçekleştirilirken İstasyon Parçasında ise yerine farklısını koyma yaklaşımı kullanılır. Öncelikle komşu çözüm mevcut çözüme eşitlenir ve komşu çözümün rassal bir pozisyonu seçilir. Seçilen pozisyon Görev Parçası içerisinde kalıyorsa yine Görev Parçasında farklı başka bir pozisyon seçilerek bu iki pozisyondaki değerler yer değiştirilir. Eğer ilk seçilen pozisyon İstasyon Parçasında ise seçilen pozisyondaki istasyon tipi farklı bir istasyon tipine rassal olarak ilerletilir.

Algoritma: Komşu Çözüm Üret

Girdi: MevcutÇözüm

Çıktı: KomşuÇözüm

Adım 1: KomşuÇözüm = MevcutÇözüm

Adım 2: $(0, nt + nms)$ aralığında rassal olarak bir pozisyon seç (P) .

Adım 3: Eğer $(P \geq nt)$ ise Adım 6’ya git;

Adım 4: $(0, nt)$ aralığında rassal olarak $P^* \neq P$ pozisyonu seç.

Adım 5: KomşuÇözümün P ve P^* pozisyonlarındaki değerleri yer değiştir. DUR.

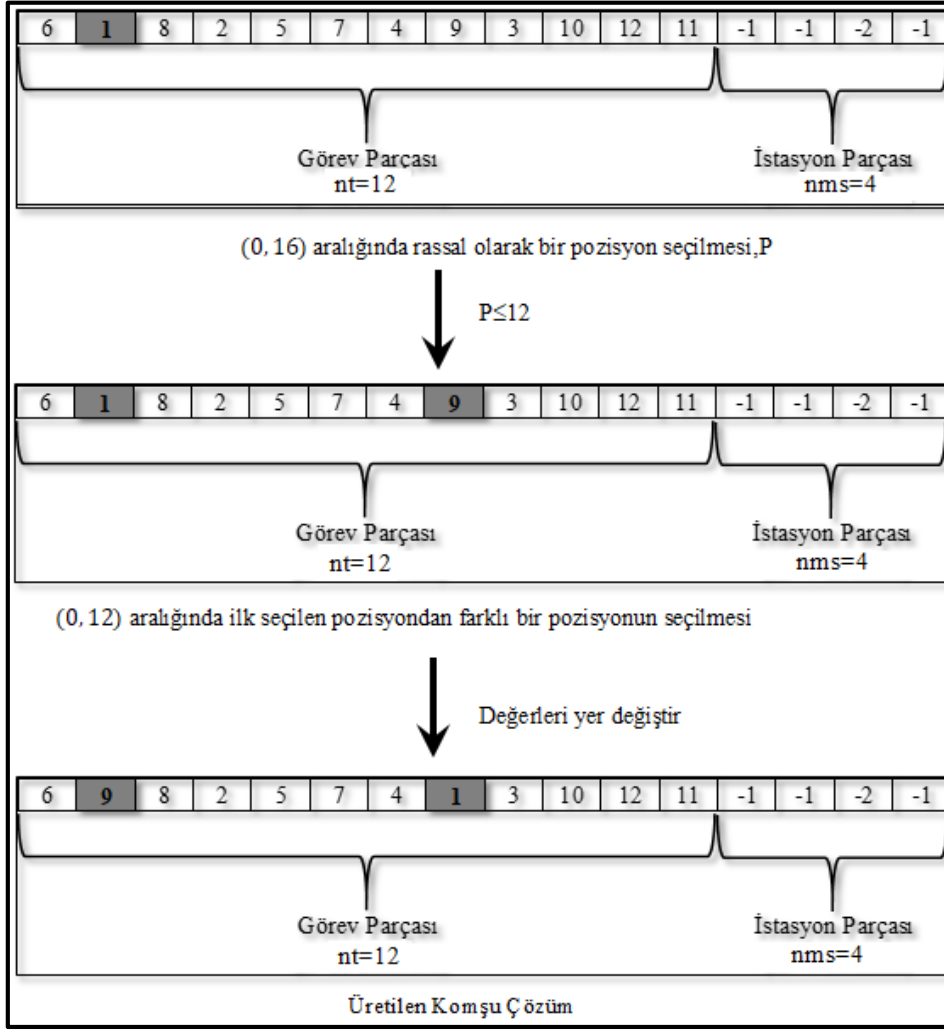
Adım 6: r KomşuÇözüm’ün P . pozisyonundaki istasyon tipi değeri olmak üzere, YeniİstasyonTipiSeti = $\{-1, -2, -3\} - \{r\}$ setini belirle.

Adım 7: YeniİstasyonTipiSeti’nden rassal bir istasyon tipi seç (YeniTip).

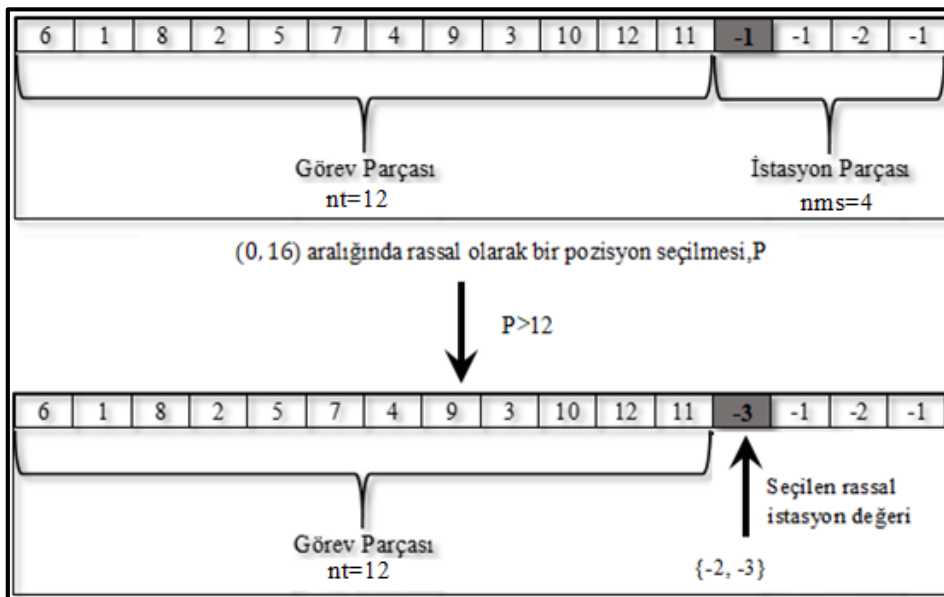
Adım 8: KomşuÇözüm’ün P . pozisyonuna YeniTip değerini yaz. DUR.

Şekil 6.12. Komşu üretme algoritması

Komşu çözüm üretilmesine yönelik iki farklı uygulama Şekil 6.13’te ve Şekil 6.14’te sunulmuştur. Şekil 6.13, Görev Parçası kullanılarak komşu çözüm üretme işlemini betimlerken, Şekil 6.14 ise İstasyon Parçası kullanılarak komşu çözüm üretme işlemini göstermektedir.



Şekil 6.13. Komşu üretimde çözümün Görev Parçasının kullanılması



Şekil 6.14. Komşu üretimde çözümün İstasyon Parçasının kullanılması

TB algoritması kapsamında gerçekleştirilmesi gereken önemli faaliyetlerden birisi, algoritma parametrelerinin probleme özgü olacak şekilde belirlenmesidir. Bu kapsamda yapılan literatür araştırması ve ön denemeler ve bazı hesaplamalar sonucu her bir parametre için olası dörder farklı alternatif seviye belirlenmiştir. Bu seviyeler Çizelge 6.2’de verilmiştir. Tam faktöriyel deney tasarımı kapsamında 256 farklı parametre kombinasyonunun her birisi matematiksel modelle çözülen problem ve rassal üretilen üç farklı test problemi çözülmüştür. Her bir kombinasyon seviyesi için her bir problem çözümü beşer kez tekrarlanmış ve ortalamalar hesaplanmıştır. Bu değerlerin analizi sonucu seçilen seviyeler Çizelge 6.2’de yıldızla işaretlenmiştir.

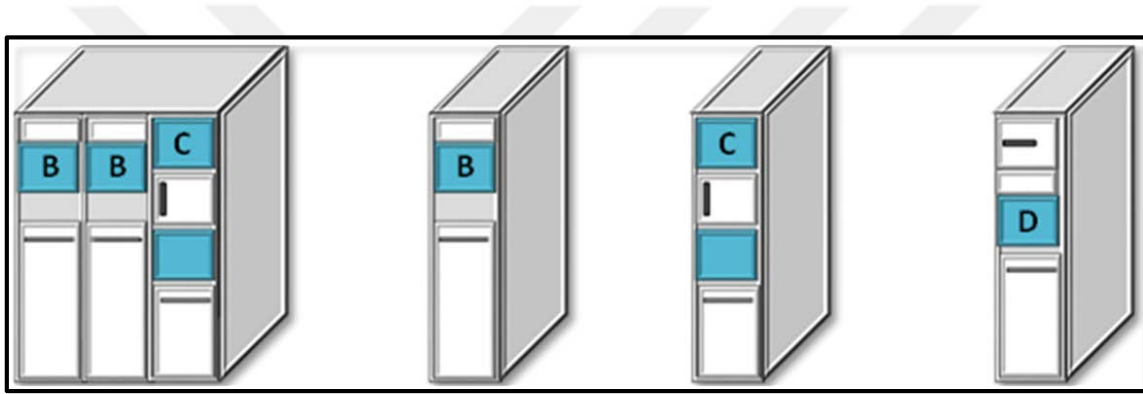
Çizelge 6.2. Parametre seçim tablosu

Parametreler	Seviyeleri			
	1	2	3	4
Başlangıç Sıcaklığı	1000 *	1500	2000	2500
Bitiş Sıcaklığı	0,001	0,01 *	0,1	1
Sıcaklık Azaltma Çarpanı	0,80	0,90 *	0,95	0,99
Markov Uzunluğu	10	20	50	100 *



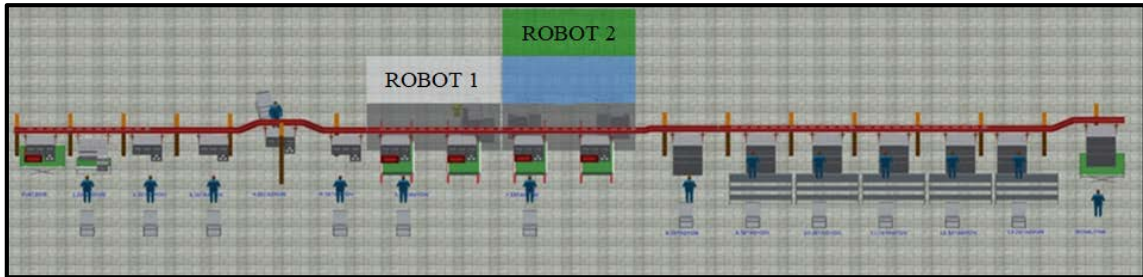
7. UYGULAMA ÇALIŞMASI

Uygulama çalışmasının yapılacağı montaj hattında bir adet üç katlı, üç adet de tek katlı model olmak üzere toplamda 4 farklı model üretilmektedir. Şekil 7.1’de montaj hattında üretilen ürün modelleri betimlenmiştir. Bu uygulama kapsamında ana model olarak isimlendirilen ve BBC şeklinde bir dizilime sahip üç katlı ürün ve tek katlı B, C ve D ürün modelleri şekilde gösterildiği gibi bir yapıya sahiptir. Ana modelin ayrıştırılması mümkün değildir, çünkü kasa birbirine yapışık şekilde üretilmektedir. Aynı zamanda ana modelde B ve C tipi modellerden farklı ilave görevler de söz konusudur.



Şekil 7.1. Montaj hattında üretilen ürün modelleri

Şekil 7.2’de uygulama çalışmasının yapıldığı montaj hattı betimlenmiştir. Hat üzerinde toplamda 13 istasyon bulunmaktadır. Orta kısmında spesifik bir operasyonu gerçekleştiren bir robot vardır. Robottan sonra ise gaz basım için bir vakum tankı bulunmaktadır. Vakum tankından sonra ürünlerin kaçak kontrolü için ayrıca test odaları mevcuttur.



Şekil 7.2. Uygulama çalışmasının yapıldığı montaj hattının mevcut durumu

Çizelge 7.1’de son dört yılın modellere göre talepleri kullanılarak hesaplanmış talep oranları verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi talep oranları her bir model için sırasıyla 0,42, 0,26, 0,13 ve 0,19 şeklindedir. Oranlar değerlendirildiğinde üç katlı yapıda olan BBC ürün modelinin talebi toplam talebin yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Talebin diğer yarısını ise tek katlı yapıdaki B, C ve D ürün modelleri oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu oranlar ele alınıp değerlendirildiğinde ilgili montaj hattında üretilen ana ürünün çok katlı yapıdaki BBC modeli olduğu açık olarak görülmektedir.

Çizelge 7.1. Yıllara göre ürün modellerinin talep oranları

Model	Oran	Kümülatif Oran
BBC	0,42	0,42
B	0,26	0,68
C	0,13	0,81
D	0,19	1,00

Montaj hattında üretilen ürün modellerinin görev süreleri ve görev sayıları toplamı Çizelge 7.2’de sunulmuştur. Çizelgedeki veriler ele alındığında çok katlı ürün modeli BBC’nin toplam görev sayısı ve ürünün görevlerinin tamamlanma süreleri tek katlı ürün modellerininki ile kıyaslandığında her iki veri için de yaklaşık üç katı bir oran söz konusudur. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi tek katlı ve çok katlı yapısındaki bu ürünleri aynı hat üzerinde üretmek, büyük verimsizliklere sebep olmaktadır. Özellikle hat üzerinde tek katlı ürün modellerinden herhangi biri üretilirken çok katlı olan modele geçiş yapılacağı zaman istasyonlarda büyük bekleme zamanları oluşmaktadır. Bu bekleme zamanlarının yanı sıra istasyonlar arası ara ürün sayıları artmaktadır. Montaj hattında ara ürün sayısı arttıkça ürünlerin hatta harcadığı zaman da artmaktadır. Dolayısıyla işletmenin bu ürün grupları için müşteriye cevap verme hızı düşmektedir.

Çizelge 7.2. Ürün modellerinin toplam görev süreleri ve sayıları

Model	BBC	B	C	D
Toplam Görev Sayısı	323	100	127	130
Görev Süreleri Toplamı(dak.)	355	112	140	145

7.1. Sanal Ürün Tasarımı

Sanal ürün tasarımı sürecinin ele alınan probleme uygulanmasına ilişkin adımlar aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

7.1.1. Sanal ürün kombinasyonlarının oluşturulması

Çift taraflı hat tasarımı dikkate alınarak tek katlı ürün modelleri olan B, C ve D için tüm üçlü dizilimleri içeren kombinasyonlar Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3. Oluşturulan sanal ürün kombinasyonları

Kombinasyon	Sanal Ürün Kombinasyonları	α	β	γ	k_1	k_2	k_3
1	BBB	B	B	B	3	0	0
2	CCC	C	C	C	0	3	0
3	DDD	D	D	D	0	0	3
4	BBC	B	B	C	2	1	0
5	CBB	C	B	B	2	1	0
6	BCB	B	C	B	2	1	0
7	BBD	B	B	D	2	0	1
8	DBB	D	B	B	2	0	1
9	BDB	B	D	B	2	0	1
10	CCB	C	C	B	1	2	0
11	BCC	B	C	C	1	2	0
12	CBC	C	B	C	1	2	0
13	CCD	C	C	D	0	2	1
14	DCC	D	C	C	0	2	1
15	CDC	C	D	C	0	2	1
16	DDB	D	D	B	1	0	2
17	BDD	B	D	D	1	0	2
18	DBD	D	B	D	1	0	2
19	DDC	D	D	C	0	1	2
20	CDD	C	D	D	0	1	2
21	DCD	D	C	D	0	1	2
22	BCD	B	C	D	1	1	1
23	BDC	B	D	C	1	1	1
24	DCB	D	C	B	1	1	1
25	DBC	D	B	C	1	1	1
26	CBD	C	B	D	1	1	1
27	CDB	C	D	B	1	1	1

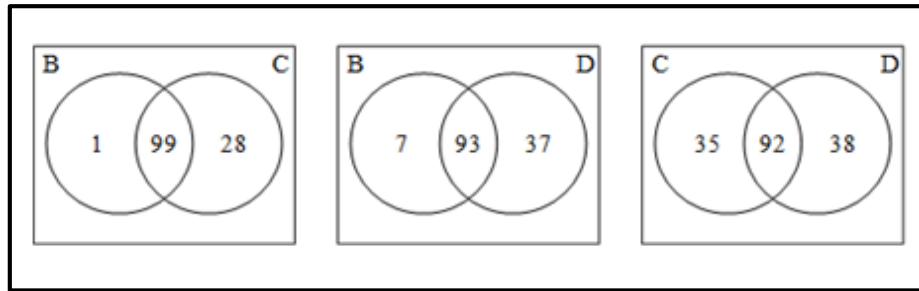
Hattın sağ ve sol tarafında çalışma yapılacağı için $3 \times 3 \times 3 = 27$ kombinasyon oluşturulmuştur. $\alpha\beta\gamma$ diziliminde α sol (L), β orta (E) ve γ sağ (R) konumlarını temsil etmektedir. Her bir kombinasyonun içinde tek katlı ürün modelleri olan B, C ve D'den kaç tane bulunduğu da Çizelge 7.3'de ayrıca gösterilmiştir.

7.1.2. Benzerlik skorlarının hesaplanması

Tek katlı ürün modellerinin üretim sürecinde bazı ortak görevleri mevcuttur. Ana amaç bu ortak görevleri dikkate alarak ürünlerin birbirine benzerlik skorlarını bulmaktır. Tek katlı ürünleri oluşturan B, C ve D modelleri birbiriyle ikili kıyaslanarak ortak ve farklı görev sayıları tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucuna ilişkin veriler Çizelge 7.4'te sunulmuştur. Bu verilerin küme yapısında gösterim ise Şekil 7.3'te verilmiştir. Verilenlere göre B ve C ürünlerinin her biri aynı görev sürelerine ve aynı öncül-ardıllardan oluşan 99 ortak göreve sahip olduğu görülmektedir. Öte yandan, B ve C ürünlerinin diğer üründe bulunmayan veya farklı süreleri ve/veya öncelik ilişkileri olan sırasıyla 1 ve 7 farklı görevi vardır.

Çizelge 7.4. Tek katlı ürün model çiftleri arasındaki ortak-farklı görev sayıları

	Model	B	C	D	Toplam Görev Sayısı
Ortak Görev Sayısı	B	-	99	93	100
	C		-	92	127
	D			-	130
Farklı Görev Sayısı	B	-	1	7	100
	C	28	-	35	127
	D	37	38	-	130



Şekil 7.3. Tek katlı ürün modellerinin kıyaslama sonucu görev kümeleri

Bir önceki bölümde sunulan Jaccard eşitliği kullanarak, B ve C ürünleri arasındaki benzerlik değeri $JI(B, C) = (99) / ((99 + 1) + (99 + 28) - 99) \cong 0,77$ olarak hesaplanır. Bu yaklaşım kullanılarak diğer tüm ürün çiftleri arasındaki oranlar hesaplanmış ve Çizelge 7.5 elde edilmiştir.

Çizelge 7.5. Tek katlı ürün modelleri arasındaki benzerlik skorları

Model	B	C	D
B	1	0,77	0,68
C	-	1	0,56
D	-	-	1

Çok katlı ürün, BBC şeklinde tek katlı ürünlerden oluşan bir dizilime sahiptir. Bu dizilimde, iş parçalarının hat üzerindeki hareket yönüne göre, çok katlı modelin B ürünü tarafı, hattın sol tarafında bulunur. İkinci B ürünü hattın orta tarafında hareket ederken, C ürünü ise hattın sağ tarafında kalır. Hattın orta tarafında hareket eden ürünün her bir görevi hattın sol ve sağ taraf işçilerinden birine atanabilir. $\alpha\beta\gamma$ dizilime sahip olan i kombinasyonunun benzerlik değeri Eş. 7.1 kullanılarak hesaplanır. Bu eşitlikte α , β ve γ ürünleri sırasıyla B, B ve C ile karşılaştırılmaktadır, çünkü ilgili ürünlerle hattın aynı tarafında hareket eder.

$$S_i = \frac{2 \cdot JI(\alpha, B) + JI(\beta, B) + 2 \cdot JI(\gamma, C)}{5} \quad (7.1)$$

Her bir i kombinasyonuna Eş. 7.1 uygulanmış ve elde edilen benzerlik skorları Çizelge 7.6'de sunulmuştur. Çizelgede görüldüğü gibi ana ürün modeline en benzer kombinasyonun dizilimi BBC olup en farklı olanı ise DDD dizilimidir. Tüm kombinasyonların ortalama benzerlik skoru ise 0,8007 olarak hesaplanmıştır.

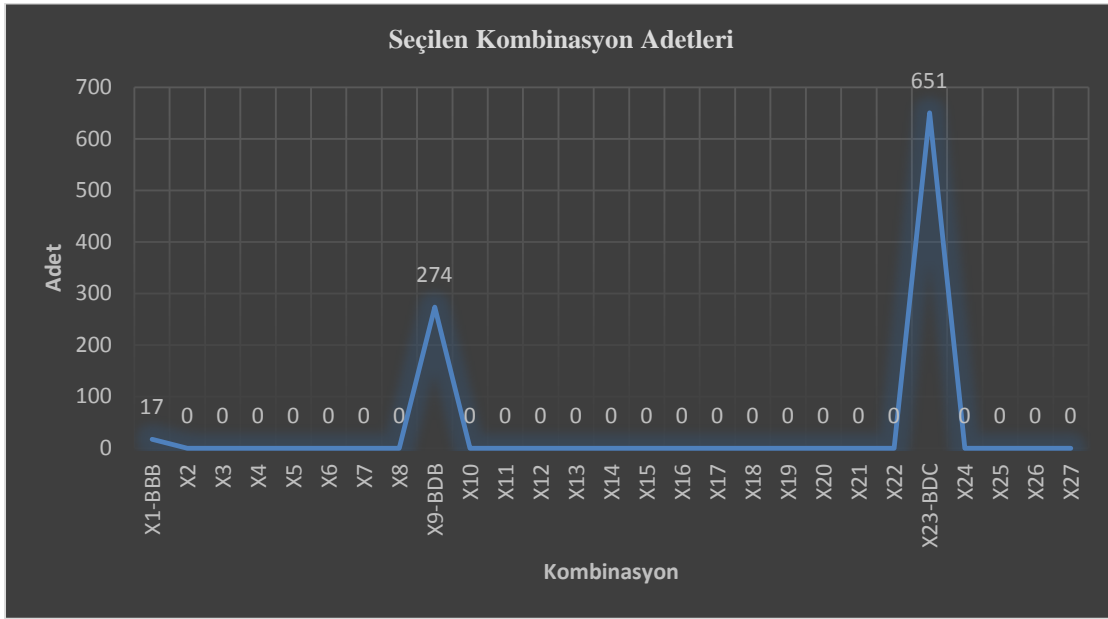
Çizelge 7.6. Her kombinasyonun ana ürün *BBC*'ye benzerlik oranı

Kombinasyon	Dizilim ($\alpha\beta\gamma$)	Taraf Benzerliği			Kombinasyon Benzerliği (S_i)
		$Jl(\alpha, B)$	$Jl(\beta, B)$	$Jl(\gamma, B)$	
1	BBB	1,00	1,00	0,77	0,908
2	CCC	0,77	0,77	1,00	0,862
3	DDD	0,68	0,68	0,56	0,632
4	BBC	1,00	1,00	1,00	1,000
5	CBB	0,77	1,00	0,77	0,816
6	BCB	1,00	0,77	0,77	0,862
7	BBD	1,00	1,00	0,56	0,824
8	DBB	0,68	1,00	0,77	0,780
9	BDB	1,00	0,68	0,77	0,844
10	CCB	0,77	0,77	0,77	0,770
11	BCC	1,00	0,77	1,00	0,954
12	CBC	0,77	1,00	1,00	0,908
13	CCD	0,77	0,77	0,56	0,686
14	DCC	0,68	0,77	1,00	0,826
15	CDC	0,77	0,68	1,00	0,844
16	DDB	0,68	0,68	0,77	0,716
17	BDD	1,00	0,68	0,56	0,760
18	DBD	0,68	1,00	0,56	0,696
19	DDC	0,68	0,68	1,00	0,808
20	CDD	0,77	0,68	0,56	0,668
21	DCD	0,68	0,77	0,56	0,650
22	BCD	1,00	0,77	0,56	0,778
23	BDC	1,00	0,68	1,00	0,936
24	DCB	0,68	0,77	0,77	0,734
25	DBC	0,68	1,00	1,00	0,872
26	CBD	0,77	1,00	0,56	0,732
27	CDB	0,77	0,68	0,77	0,752

7.1.3. Sanal ürün seçimi

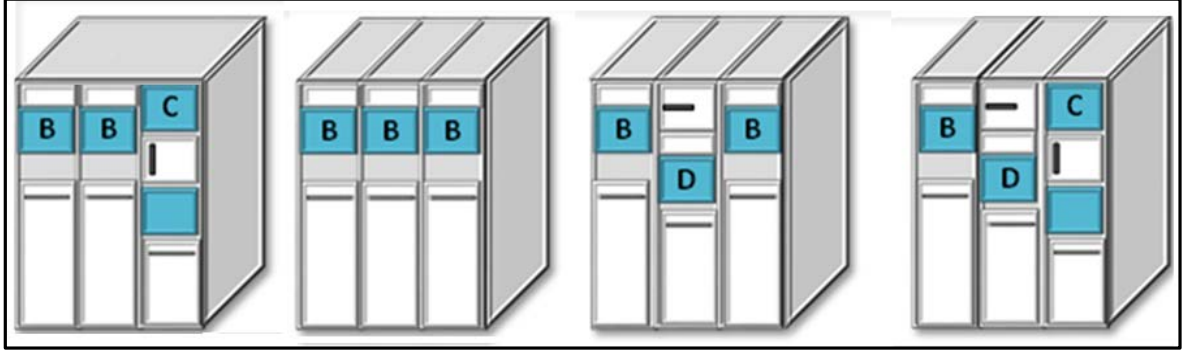
Önceki bölümde hesaplanan sanal ürün kombinasyonlarının benzerlik skorları (S_i) ve son yıla ait tek katlı ürünlere olan talepler (D_j , tez kapsamında sunulmamıştır) dikkate alınarak geliştirilen matematiksel model kullanılarak çözülmüştür. Matematiksel model çok amaçlı olup bu amaçlar aşağıda sıralı şekilde verilmiştir. Matematiksel model hesaplamaları için GAMS win64 24.1.3 paket programı kullanılmıştır. Şekil 7.4'de çözüm sonuçları sunulmuştur. Ana ürün modeli *BBC*'ye ortalama %85.602 benzerlik skoru ile toplamda 3

farklı ürün kombinasyonu seçilmiştir. Aynı şekil kapsamında ürün kombinasyonlarından üretilecek olan adetler sunulmuş olup seçilen kombinasyonlar $x_1 = 17$, $x_9 = 274$ ve $x_{23} = 651$ olmak üzere her bir kombinasyondan üretilecek olan miktarlar toplamı 942 adettir. Bu kombinasyonlar sırasıyla BBB, BDB, BDC sanal ürünlerine karşılık gelmektedir. Diğer bir ifade ile 942 adet üretimle tek katlı ürün modellerine olan talep karşılanmakta ve fazladan üretim yapılmamaktadır.

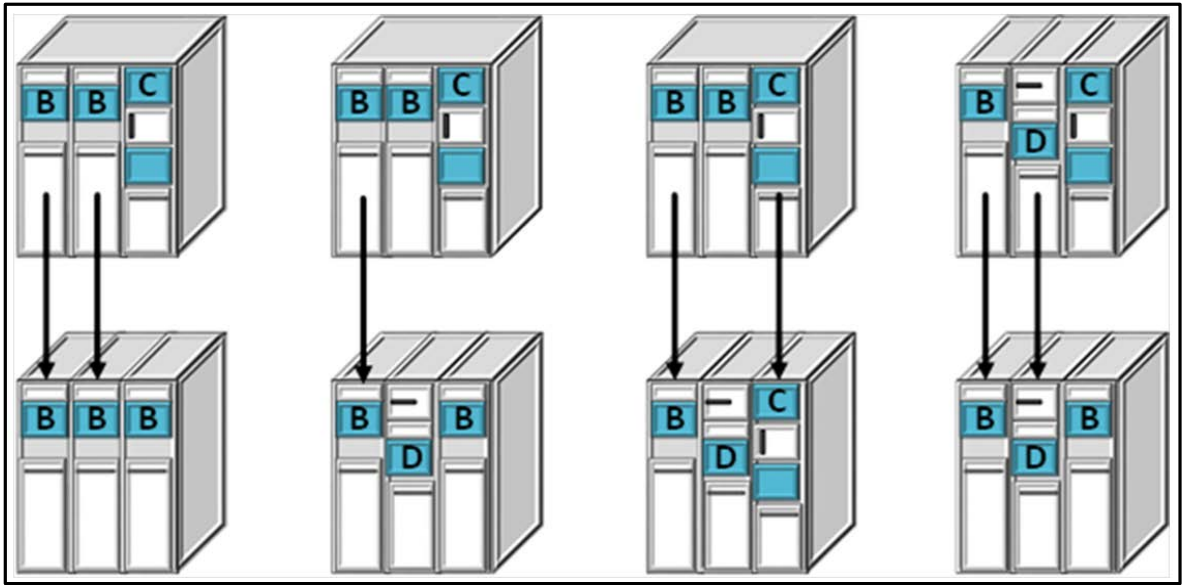


Şekil 7.4. Seçilen ürün kombinasyonlarından üretilecek olan miktarlar

Şekil 7.5'te sırasıyla ana ürün modeli *BBC* ve seçilen ürün kombinasyonları *BBB*, *BDB* ve *BDC*'nin betimlenmiş görselleri sunulmuştur. Görsellerde ana ürün modeli *BBC*; α, β, γ diziliminde incelendiğinde α yani sol tarafta *B*, β yani orta kısımda *B* ve γ yani sağ tarafta *C* modeli bulunmaktadır. Seçilen ürün kombinasyonları Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Seçilen ürün kombinasyonları aşağıdaki Şekil 7.6'e bakılarak incelendiğinde ana ürün modelinin dizilimine uygun olarak sol tarafta her zaman *B* modelinin bulunduğu görülmektedir. Aynı zamanda ikinci kombinasyonda yine ana ürün modeline benzer orta kısımda *B* ve üçüncü kombinasyon incelendiğinde sağ tarafta ana ürün modeli dizilimine benzer *C* modeli bulunmaktadır. Bu dizilimler detaylı bir şekilde incelendiğinde ve kıyaslamalar yapıldığında, çözüm sonucu seçilen kombinasyonların ana ürün modeline ve kendi aralarındaki birbirlerine olan benzerliği açıkça görülmektedir.



Şekil 7.5. Seçilen ürün kombinasyonlarının görselleri



Şekil 7.6. Seçilen ürünlerin birbirleriyle olan yön ilişkileri

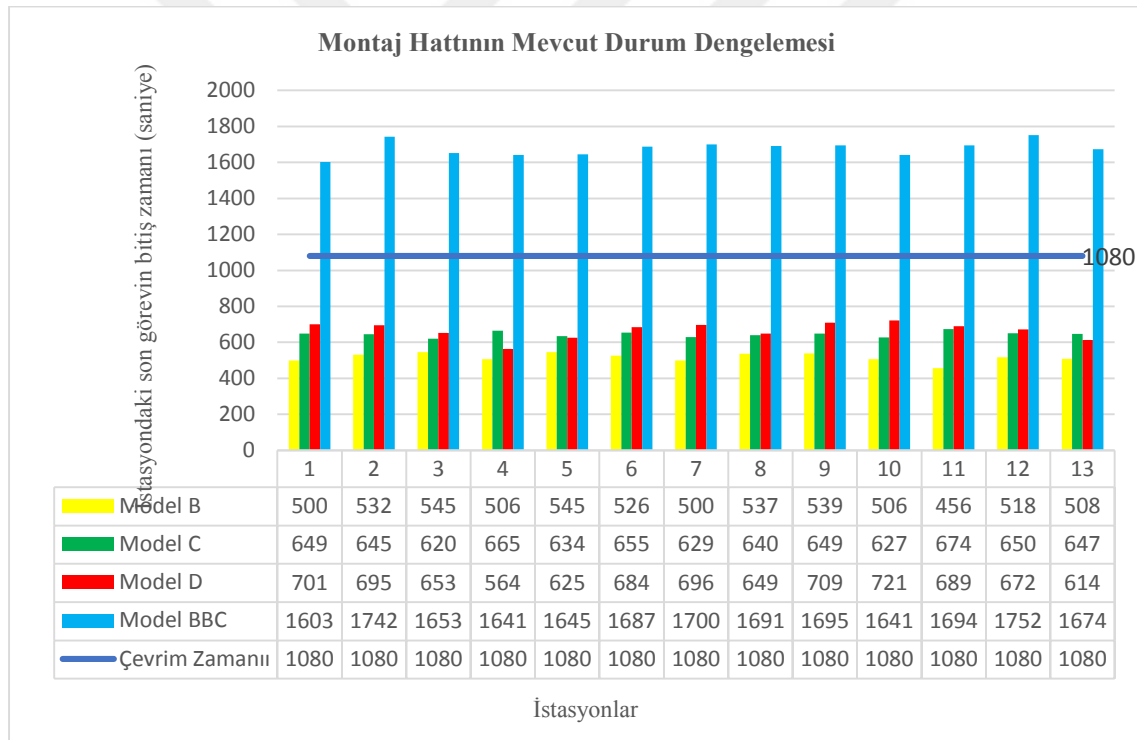
7.2. Montaj Hattının Dengelenmesi

Bu bölümde yapılan montaj hattı dengeleme çalışmasında ana ürün modeli *BBC* ve bir önceki alt bölüm kapsamında seçilen kombinasyonlar yani sanal ürünler olan *BBB*, *BDB* ve *BDC* dikkate alınmıştır. Problemin çözümü için uyarlanan matematiksel model Intel i7-7600U CPU ve 12 GB RAM içeren 64 Bit Windows 10 yüklü kişisel bilgisayar üzerinde GAMS 24.1.3 (64 Bit) programında yaklaşık üç hafta süresince kesintisiz çalıştırılmış ancak bir çözüm bulunamamıştır. Dolayısıyla, aşağıdaki alt başlıklar kapsamında sunulan problemler önerilen tavlama benzetimi algoritması kullanılarak çözülmüştür. Algoritma C# programlama dili ile kodlanmış olup 24 saat boyunca birden fazla kez yeniden başlatılarak çalıştırılmış ve tüm sonuçlar değerlendirilerek en iyi çözüm seçilmiştir.

7.3. Mevcut Durumla Karşılaştırma

İşletme kapsamında hali hazırda çevrim zamanı tek katlı ürünler için 18 dakika olarak uygulanmaktadır. Kompakt yani ana üründe bu süre $3 \cdot 18 = 54$ dakikadır. Hat, hali hazırda karışık modellenli düz montaj hattı yapısındadır.

Şekil 7.7’de görüldüğü gibi montaj hattının mevcut halinde tek tarafında çalışma yapılmaktadır ve her bir istasyonda bir işçi çalışmaktadır. Mevcut durum dengelemesinde toplamda 13 istasyon ve dolayısıyla 13 işçi bulunmaktadır. Her bir istasyonun uzunluğu 3 metre genişliği ise 2 metredir. Bu bilgiler ışığında montaj bandının kapladığı alan 78 metrekaredir.

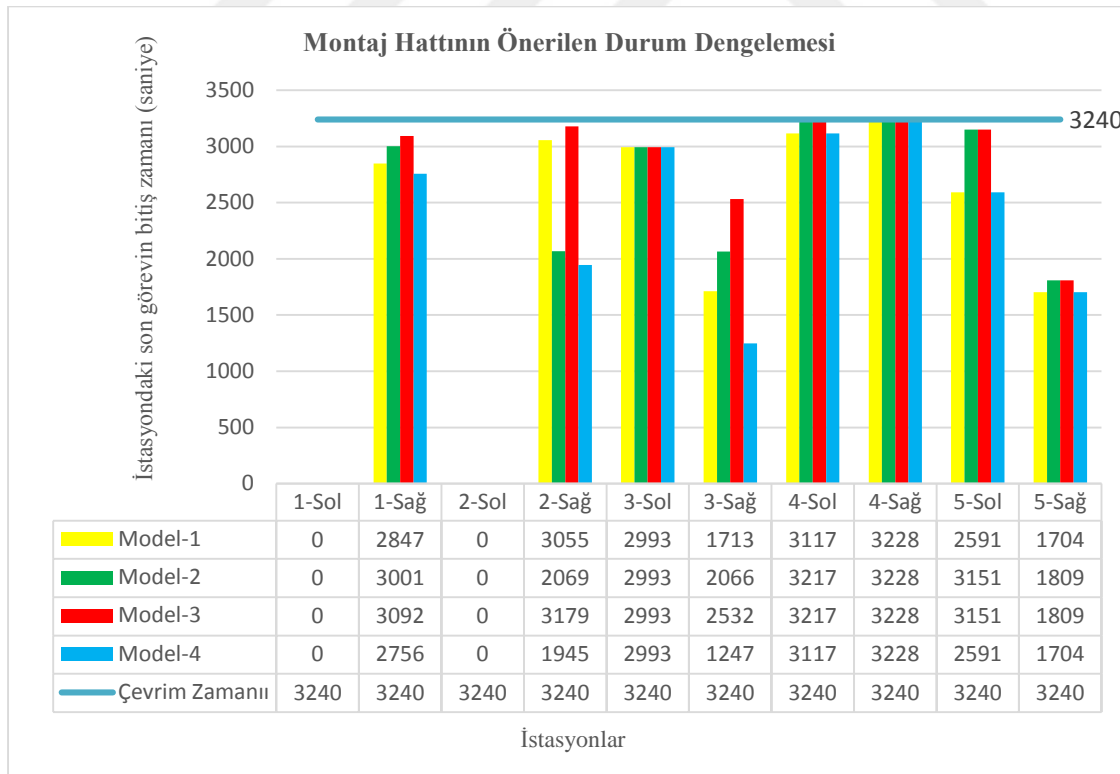


Şekil 7.7. Mevcut durum montaj dengelemesi

Yeni durumda bütün modeller üç katlı olduğu için çevrim süresi 54 dakikaya sabitlenerek tavlama benzetimi algoritması çalıştırılmış olup 24 saatin sonucunda bulunan çözüm EK 7’de, çözüme ilişkin özet bilgiler ise Şekil 7.7’de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde açılan ilk 2 istasyon tek, sonraki 3 istasyon ise çift istasyon yapısındadır. İlk 2 istasyonun sadece sağ tarafları açılmış olup sol tarafları kapalıdır. Sonraki 3 istasyonun sol ve sağ olmak üzere her iki tarafı da açıktır. Bu hat üzerinde dengeleme çalışmasına göre toplamda 5 istasyon

vardır. Bu 5 istasyonda çalışacak olan toplam işçi sayısı 8'dir. Çözüm sonucunda elde edilen sonuçlarla hali hazırda montaj hattındaki çalışma düzeni bir sonraki bölümde kıyaslanmış ve detaylı değerlendirme yapılmıştır.

Önerilen tavlama benzetim algoritması yoluyla elde edilen montaj hattı dengeleme sonuçları kıyaslanmış ve sonuçlar Çizelge 7.7'de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 7.8'de dengeleme sonuçları istasyon yükleri bazında sunulmuştur. Çizelge 7.7'de sunulan kıyaslama kriterleri değerlendirildiğinde mevcut durumdaki işçi sayısı %38, istasyon sayısı %62 ve montaj hattının kapladığı alan %38 oranında azalmıştır. Ayrıca montaj hattının mevcut çalışma yapısı ürünlerin zamanlarındaki değişkenliğin çok yüksek olmasından dolayı gecikmelidir. Önerilen çözüm yönteminde sanal ürün tasarımı ile ürünlerin tamamlanma zamanlarındaki değişkenlik büyük ölçüde yok edilmiştir. Bu sayede montaj hattı gecikmesiz hat yapısına dönüştürülmüş ve tüm istasyonların aynı çevrim zamanında senkron hareket etmesi sağlanmıştır. Dolayısıyla gecikmesiz hat yapısı ile zaman kayıplarının sebep olduğu verimsizliklerin önüne geçilmiştir.



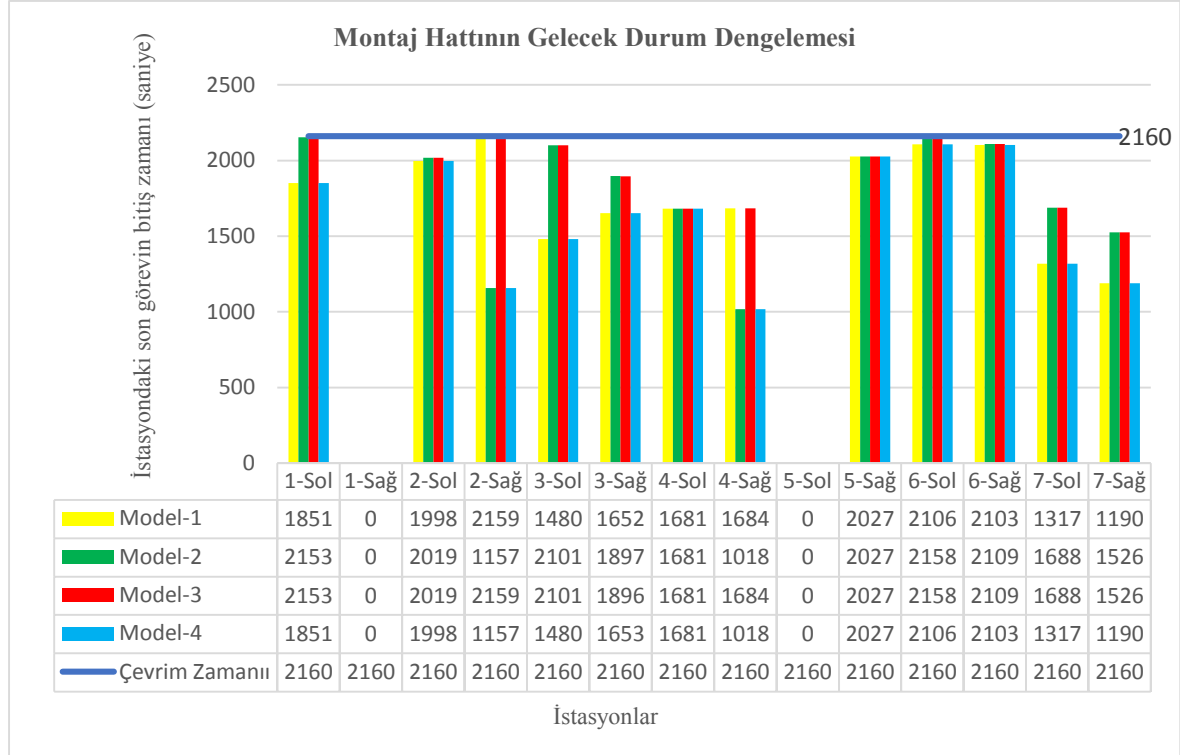
Şekil 7.8. Önerilen çözümdeki dengeleme sonuçları

Çizelge 7.7. Mevcut ve önerilen durum dengeleme sonuçlarının değerlendirilmesi

	Mevcut Durum	Önerilen Durum	Kazanç	Kazanç Yüzdesi
İşçi Sayısı	13	8	5	38%
İstasyon Sayısı	13	5	8	62%
Kapladığı Alan (metrekare)	78	48	30	38%

7.4. Yeni İhtiyaçlara Yönelik Montaj Hattı Dengelemesi

Yönetimin pazar araştırması ve ardından gelecek durum tahmin yöntemlerinin sonucu olarak uygulama çalışmasının yapıldığı montaj hattında yaklaşık %50 oranında kapasite artışına ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Montaj hattının belirlenen kombinasyonlar üzerinden kapasitesinin %50 oranında arttırılma planı sonucu günlük üretilecek ürün sayısı 10 adetten 15 adede çıkarılacak yani üç katlı yapıdaki ana ürün ve sanal ürünler için yeni çevrim zamanı 36 dakika olacaktır. Yeni durum için yine 24 saat boyunca çalıştırılan tavlama benzetimi algoritmasının ulaştığı tüm sonuçlar değerlendirilerek en iyi çözüm seçilmiştir. Elde edilen çözüm Şekil 7.9'da özetlenmiştir. Gelecek ihtiyaçlara göre dengeleme sonuçları incelendiğinde 2 tek, 5 çift olmak üzere toplamda 7 istasyon kullanılmaktadır. Tek istasyonların bir tanesinin sol bir tanesinin sağ tarafı açıktır. Diğer 5 istasyonun her iki tarafı da açıktır. İlgili montaj hattında kapasite artışı söz konusu iken burada çalışacak işçi sayısı toplamda 12'dir. Yeni duruma göre hattın kaplayacağı alan ise 72 metrekaredir.



Şekil 7.9. Gelecek ihtiyaçlara göre montaj hattı dengesine yönelik özet bilgiler

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çift taraflı montaj hatları, montaj hattının her iki tarafından montaj işlemlerinin yapılabilirdiği özellikle büyük boyutlu ürünlerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Literatürde çift taraflı montaj hattı dengeleme üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış bu çalışmaların büyük bir kısmı teoriktir. Bu tez çalışmasında ise bir işletmede hali hazırda aynı ürün ailesine ait, fakat birbirinde çok farklı ürün modellerinin üretiminin gerçekleştirildiği montaj hattında uygulama yapılmıştır.

Aynı hat üzerinde üretilen ürünlerin boyut olarak birbirinden farklı olmasından kaynaklanan denge kayıplarını yok etmek için iki aşamalı bir çözüm metodolojisi önerilmiştir. Birinci aşamada montaj hattında üretilen çok katlı ve tek katlı ürün modelleri değerlendirilmiş ve tek katlı ürün modellerini çok katlı modele benzetmek için sanal ürün kombinasyonları tasarlanmıştır. Kombinasyonların benzerlikleri Jaccard İndeksi ile hesaplanmış olup tüm kombinasyonlar arasından müşteri talebini karşılayacak, ana ürün modeline en benzer ve en az sayıda farklı kombinasyon ile sanal ürünler seçilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise ilk aşamada seçilen ürün kombinasyonları ve ana ürün modeli dikkate alınarak karışık modelli çift taraflı montaj hattı dengeleme çalışması yapılmıştır. Belirli bir çevrim zamanında birincil amaç olarak işçi sayısını ikincil amaç olarak ise istasyon sayısını diğer bir ifade ile hat uzunluğunu en küçüklemeyi amaçlayan bir matematiksel model önerilmiştir. Matematiksel modelin mevcut problemi çözmeye yetersiz kalmasından dolayı problemin çözümü için tavlama benzetim bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Montaj hattının hali hazırdaki çalışma durumu ile tavlama benzetiminin ulaştığı çözüm; işçi sayısı, istasyon sayısı, montaj hattının kapladığı alan gibi belirli kriterler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş, tüm bu kriterler bazında daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Ayrıca çalışmanın son kısmında işletmenin yeni ihtiyaçlarına cevap verecek montaj hattı dengesi tespit edilmiştir.

Bu tez kapsamında ele alınan problemler gerçek hayatta büyük boyutlu ürünlerin üretildiği birçok sektörde sıklıkla karşılaşılan problemler olup çözümleriyle ekonomik katkı elde edilecektir. Özellikle, boyut olarak birbirinden farklı ürünlerin üretimini gerçekleştiren sektörlerde stratejik seviyede karşılaşılan bu problemlerin çözümünde yapılacak küçük

iyileştirmelerle bile işletmeye oldukça yüksek kazanımlar sağlanabilecektir. Dolayısıyla çalışmanın ülke ekonomisine de katkısı olacaktır.

Gelecek alışmalar için problemin optimal sonucunu elde etmek amacıyla genetik algoritma, tabu arama, tavlama benzetimi gibi sezgisellerden elde edilen sonuçlar dal-sınır, dal-kesme gibi geliştirilecek kesin çözüm algoritmalarına girdi olarak alınabilir. Ayrıca görev zamanlarındaki değişimin modellenmesi amacıyla aynı hat üzerinde stokastik çift taraflı montaj hattı dengelemesi çalışması yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Aghajani, M., Ghodsi, R. and Javadi, B. (2014). Balancing of robotic mixed-model two-sided assembly line with robot setup times. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74(5), 1005-1016.
- Ahn, H. J. (2008). A new similarity measure for collaborative filtering to alleviate the new user cold-starting problem. *Information Science*, 178(1), 37–51.
- Akpınar, S. and Bayhan, G. M. (2011). A hybrid genetic algorithm for mixed-model assembly line balancing problem with parallel work stations and zoning constraints. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(3), 449-457.
- Akpınar, S. and Baykasoğlu, A. (2014). Modeling and solving mixed-model assembly line balancing problem with setups. Part II: A mixed integer linear programming model. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1), 177-187.
- Akpınar, S., Bayhan, G. M. and Baykasoğlu, A. (2013). Hybridizing ant colony optimizations via genetic algorithm for mixed model assembly line balancing problem with sequencing dependent setup times between tasks. *Applied Soft Computing*, 13(1), 574-589.
- Avcı, Y. (2008). *Sonlu Eleman Modeli Güncellemesi Tekniğinde Benzetilmiş Tavlama Algoritması Kullanılarak Mekanik Sistemlerde Hasar Tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 108-112.
- Azmi, N. M., Ahmad, R. and Zainuddin, Z. M. (2017). MILP model for integrated balancing and sequencing mixed-model two-sided assembly line with variable launching interval and assignment restrictions. *Journal of Physics Conference Series*, 78, 215-229.
- Bag, S., Kumar, S. K. and Tiwari, M. K. (2019). An efficient recommendation generation using relevant Jaccard similarity. *Information Science*, 483, 53-64.
- Bard, J. F., Shtub, A., and Joshi, S. B. (1994). Sequencing mixed-model assembly lines to level parts usage and minimize line length. *International Journal of Production Research*, 32(10), 2431-2454.
- Bartholdi, J. J. (1993). Balancing two-sided assembly lines: A case study. *International Journal of Production Research*, 31(10), 2447-2461.
- Battaia, O., Delorme, X., Dolgui, A., Hagemann, J., Horlemann, A., Kovalev, S. and Malyutin, S. (2015). Work force minimization for a mixed-model assembly line in the automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 170, 489–500.
- Baykasoğlu, A. and Dereli, T. (2008). Two-sided assembly line balancing using ant colony based heuristics. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 36(5-6), 582-588.

- Bayraktaroglu, A. E. (2007). *Basit U-tipi Montaj Hattı Dengelemede Analitik Yöntemlerin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 110-112.
- Becker, C. and Scholl, A. (2009). Balancing assembly lines with variable parallel workplaces: Problem definition and effective solution procedure. *European Journal of Operational Research*, 199(2), 359-374.
- Benjaoran, V., Sooksil, N. and Metham, M. (2019). Effect of demand variations on steel bars cutting loss. *International Journal of Construction Management*, 19(2), 137-148.
- Boysen, N., Kiel, M. and Scholl, A. (2010). Sequencing mixed-model assembly lines to minimize the number of work overload situations. *International Journal of Production Research*, 49(16), 4735-4760.
- Bukchin, J. and Rubinovitz, J. (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(20), 492-508.
- Bukchin, J., Dar-El, E. M. and Rubinovitz, J. (2002). Mixed-model assembly line design in a make to order environment. *Computers and Industrial Engineering*, 41(4), 405-421.
- Büyüközkan, K., Küçükkoç, İ., Satoğlu, Ş. and Zhang, D. Z. (2016). Lexicographic bottleneck mixed-model assembly line balancing problem: Artificial bee colony and tabu search approaches with optimised parameters. *Expert Systems with Applications*, 18, 1-36.
- Chen, W. and Srivastava, B. (1994). Simulated annealing procedures for forming machine cells in group technology. *European Journal of Operational Research*, 75, 100-111.
- Chutima, P. and Chimklai, P. (2012). Multi-objective two-sided mixed-model assembly line balancing using particle swarm optimization with negative knowledge. *Computer and Industrial Engineering*, 62(1), 39-55.
- Çerçioğlu, H. (2009). *Stokastik Paralel Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Modeller*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 30-33.
- Defersha, F. M. and Mohebalizadehgashti, F. (2018). Simultaneous balancing, sequencing, and workstation planning for a mixed model manual assembly line using hybrid genetic algorithm. *Computers and Industrial Engineering*, 119, 370-387.
- Delice, Y., Aydoğan, E. K., Özcan, U., and İlkay, M. S. (2017). A modified particle swarm optimization algorithm to mixed-model two-sided assembly line balancing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(1), 23-36.
- Dimitriadis, S. G. (2006). Assembly line balancing and group working: A heuristic procedure for workers groups operating on the same product and workstation. *Computers and Operations Research*, 33(9), 2757-2774.

- Erel, E. and Gökçen, H. (1999). Shortest-route formulation of mixed-model assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 116(1), 194-206.
- Erel, E. and Sarin, S. C. (1998). A survey of the assembly line balancing procedures. *Production Planning and Control*, 9(5), 414-434.
- Fang, Y., Liu, Q., Li, M., Laili, Y. and Pham, D. T. (2019). Evolutionary many-objective optimization for mixed-model disassembly line balancing with multi-robotic workstations. *European Journal of Operational Research*, 276(1), 160–174.
- Gökçen, H. and Erel, E. (1997). A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem. *International Journal of Production Economics*, 48(2), 177-185.
- Gökçen, H. and Erel, E. (1998). Binary integer formulation for mixed model assembly line balancing problem. *Computers and Industrial Engineering*, 34(2), 451-461.
- Grzechca, W. (2013). *Idle times analysis in two-sided assembly line balancing problem*. 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, 19-21.
- Gutjahr, A. L. and Nemhauser, G. L. (1964). An algorithm for the line balancing problem. *Management Science*, 11(2), 308-315.
- Güden, H., Vakvak, B., Özkan, E., Altıparmak, F. ve Deniz, B. (2006). Geniş amaçlı arama algoritması ile benzetim eniyilemesi: En iyi kanban sayısının bulunması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 16 (2), 2-15.
- Güner, E. ve Altıparmak, F. (2003). İki ölçütlü tek makineli çizelgeleme problemi için sezgisel bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 27-42.
- Hamzadayı, A. and Yıldız, G. (2012). A genetic algorithm based approach for simultaneously balancing and sequencing of mixed-model U-lines with parallel workstations and zoning constraints. *Computers and Industrial Engineering*, 62(1), 206-215.
- Hamzadayı, A. and Yıldız, G. (2013). A simulated annealing algorithm based approach for balancing and sequencing of mixed-model U-lines. *Computers and Industrial Engineering*, 66(4), 1070-1084.
- Haq, A. N., Jayaprakash, J. and Rengarajan, K. (2006). A hybrid genetic algorithm approach to mixed-model assembly line balancing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(4), 337-341.
- Helgeson, W. B., Salvesson, M. E. and Smith, W. W. (1954). *How to balance an assembly line* (10. Baskı). New York: Conn, 87-92.
- Hop, N. V. (2006). A heuristic solution for fuzzy mixed-model line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 798-810.

- İsmail, N., Esmaeilian, G. R., Hamed, M. and Sulaiman, S. (2011). *Balancing of parallel assembly lines with mixed-model product*. International Conference on Management and Artificial Intelligence, 6, 120-124.
- Jina, M. and Wu, S. D. (2002). A new heuristic method for mixed model assembly line balancing problem. *Computers and Industrial Engineering*, 44, 159-169.
- Kagita, V. R., Pujari, A. K., Padmanabhan V., Sahu, S. K. and Kumar, V. (2017). Conformal recommender system. *Information Science*, 40(1), 157–174.
- Karabatı, S. and Sayın, S. (2003). Assembly line balancing in a mixed-model sequencing environment with synchronous transfers. *European Journal of Operational Research*, 149(2), 417-429.
- Khorasani, D., Hejazi, S. R. and Moslehi, G. (2013). Two-sided assembly line balancing considering the relationships between tasks. *Computers and Industrial Engineering*, 66(4), 1096-1105.
- 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.
- Kim, Y. K., Song, W. S. and Kim, J. H. (2009). A mathematical model and a genetic algorithm for two-sided assembly line balancing. *Computers and Operations Research*, 36(3), 853-865.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. and Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Information Science*, 220, 671-680.
- Küçükkoç, İ. and Zhang, D. Z. (2014a). Mathematical model and agent based solution approach for the simultaneous balancing and sequencing of mixed-model parallel two-sided assembly lines. *International Journal of Production Economics*, 158(2), 314-333.
- Küçükkoç, İ. and Zhang, D. Z. (2014b). Simultaneous balancing and sequencing of mixed-model parallel two-sided assembly lines. *International Journal of Production Research*, 52(1), 3665-3687.
- Küçükkoç, İ. and Zhang, D. Z. (2015). Type-E parallel two-sided assembly line balancing problem: Mathematical model and ant colony optimisation based approach with optimised parameters. *Computers and Industrial Engineering*, 84(2), 56-69.
- Küçükkoç, İ. and Zhang, D. Z. (2016). Mixed-model parallel two-sided assembly line balancing problem: A flexible agent-based ant colony optimization approach. *Computer and Industrial Engineering*, 97(1), 58-72.
- Küçükkoç, İ., Li, Z., Karaoğlan, A. D. and Zhang, D. Z. (2018). Balancing of mixed-model two-sided assembly lines with underground workstations: A mathematical model and ant colony optimization algorithm. *International Journal of Production Economics* 205, 228-243.

- Lapierre, S. D. and Ruiz, A. B. (2004). Balancing assembly lines: An industrial Case Study. *The Journal of the Operational Research Society*, 55(6), 589–597.
- Lee, T. O., Kim, Y., and Kim, Y. K. (2001). Two-sided assembly line balancing to maximize work relatedness and slackness. *Computer and Industrial Engineering*, 40(3), 273-292.
- Lei, D. and Guo, X. (2016). Variable neighborhood search for the second type of two-sided assembly line balancing problem. *Computers and Operations Research*, 72(1), 183-188.
- Li, Z., Tang, Q. and Zhang, L. (2016). Minimizing energy consumption and cycle time in two-sided robotic assembly line systems using restarted simulated annealing algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 135(1), 508-522.
- Li, Z., Tang, Q. and Zhang, L. (2017). Two-sided assembly line balancing problem of type I: Improvements, a simple algorithm and a comprehensive study. *Computers and Operations Research*, 79(2), 78-93.
- Liu, Q., Li, Y., Fang, Y., Laili, Y. and Pham, D. T. (2018). Many-objective best-order-sort genetic algorithm for mixed-model multi-robotic disassembly line balancing. *Procedia CIRP*, 83(3), 14–21.
- Mamun, A., Khaled, A. A., Ali, S. M. and Chowdhury, M. M. (2012). A heuristic approach for balancing mixed-model assembly line of type-I using genetic algorithm. *International Journal of Production Research*, 50(18), 1-11.
- Manavizadeh, N., Hosseini, N. S., Rabbani, M. and Jolai, F. (2013). A simulated annealing algorithm for a mixed model assembly line U-line balancing type-I problem considering human efficiency and just-in-time approach. *Computers and Industrial Engineering*, 64(1), 669-685.
- Manavizadeh, N., Rabbani, M., Moshtaghi, D. and Jolai, F. (2012). Mixed-model assembly line balancing in the make-to-order and stochastic environment using multi-objective evolutionary algorithms. *Expert Systems with Applications*, 39(15), 12026-12031.
- Macaskill, J. L. C. (1972). Production-line balances for mixed model lines. *Management Science*, 19(4), 423–434.
- McMullen, P. R. (1998). JIT sequencing for mixed-model assembly lines with setups using Tabu Search. *Production Planning and Control: The Management of Operations*, 9(5), 504-510.
- McMullen, P. R. and Frazier, G. V. (1997). A heuristic for solving mixed-model line balancing problems with stochastic task durations and parallel stations. *International Journal of Production Economics*, 51(3), 177-190.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A. and Teller, E. (1953). Equation of the state calculation by fast computing machines. *Journal of Chemical Physics*, 21(6), 1087-1092.

- Mosadegh, H., Zandieh, M. and Ghomi, S. M. (2012). Simultaneous solving of balancing and sequencing problems with station-dependent assembly times for mixed-model assembly lines. *Applied Soft Computing*, 12(4), 1359-1370.
- Oesterlea, J. and Amodeob, L. (2014). Efficient multi-objective optimization method for the mixed-model-line assembly line design problem. *Procedia CIRP*, 17, 82-87.
- Özcan, U. and Toklu, B. (2009). Balancing of mixed-model two-sided assembly lines. *Computer and Industrial Engineering*, 69, 217-227.
- Özbakır, L. and Tapkan, P. (2011). Bee colony intelligence in zone constrained two-sided assembly line balancing problem. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11947-11957.
- Özcan, U. (2009). *Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Çözüm Önerileri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Ankara, 50-54.
- Özcan, U. (2010). Balancing stochastic two-sided assembly lines: A chance constrained, piecewise-linear, mixed integer program and a simulated annealing algorithm. *European Journal of Operational Research*, 205(1), 81-97.
- Özcan, U. and Toklu, B. (2009a). A tabu search algorithm for two-sided assembly line balancing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 43(7), 822-829.
- Özcan, U. and Peker, A. (2007). Karışık modellenli U-tipi montaj hatlarında hat dengeleme ve model sıralama problemleri için yeni bir sezgisel yaklaşım. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22(2), 277-286.
- Özcan, U. and Toklu, B. (2009b). Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models. *Computers and Operations Research*, 36(6), 1955-1965.
- Özcan, U., Kellegöz, T. and Toklu, B. (2011). A genetic algorithm for the stochastic mixed-model U-line balancing and sequencing problem. *International Journal of Production Research*, 49(6), 1605-1626.
- 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, 111-115.
- Öztürk, C., Tunalı, B., Hnich, B. and Örnek, M. A. (2013, June). *Cyclic scheduling of flexible mixed model assembly lines*. Paper presented at the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control International Federation of Automatic Control, Saint Petersburg, Russia.
- Öztürk, C., Tunalı, B., Hnich, B. and Örnek, M. A. (2012, May). *A constraint programming model for balancing and scheduling of flexible mixed-model assembly lines with parallel stations*. Paper presented at the Proceedings of the 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Bucharest, Romania.

- Öztürk, C., Tunalı, S., Hnich, B. and Örnek, M.A. (2015). Cyclic scheduling of flexible mixed model assembly lines with parallel stations. *Journal of Manufacturing Systems*, 36(1), 147-158.
- Parisa S. P., Rebeloa, R. D. and Ferreira, J. S. (2018). Balancing mixed-model assembly systems in the footwear industry with a variable neighbourhood descent method. *Computers and Industrial Engineering*, 121(2), 161–176.
- Purnomo, H. D. and Wee, H. M. (2014). Maximizing production rate and workload balancing in a two-sided assembly line using harmony search. *Computers and Industrial Engineering*, 76(1), 222-230.
- Purnomo, H. D., Wee, H. M. and Rau, H. (2013). Two-sided assembly lines balancing with assignment restrictions. *Mathematical and Computer Modelling*, 57(1), 189-199.
- Rabbani, M., Kazemi, S. M. and Manavizadeh, N. (2012). Mixed-model U-line balancing type-I problem: A new approach. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(2), 131-138.
- 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(2), 74-90.
- Salveson, M. E. (1955). The assembly line balancing problem. *The Journal Industrial Engineering*, 6(3), 18-25.
- Samouei, P. and Dezfoulian, H. R. (2017). A note on 2-ANTBAL: An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided assembly lines. *Computers and Industrial Engineering*, 110(1), 229-230.
- Samouei, P. and Ashayeri, J. (2019). Developing optimization and robust models for a mixed-model assembly line balancing problem with semi-automated operations. *Applied Mathematical Modelling*, 72(3), 259–275.
- Sahu, A. and Pradhan, S. K. (2018). Comparative analysis and optimization of mixed model assembly line using genetic algorithm. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 25075–25084.
- Sepahi, A. and Naini, S. G. J. (2016). Two-sided assembly line balancing problem with parallel performance capacity. *Applied Mathematical Modelling*, 40(14), 6280-6292.
- Scholl, A. and Boysen, N. (2009). Designing parallel assembly lines with split workplaces: Model and optimization procedure. *International Journal of Production Economics*, 119(1), 90-100.
- Scholl, A. (1999). *Balancing and Sequencing Assembly Lines* (İkinci Baskı). ABD: Springer-Verlag Co, 125-129.
- Simaria, A. S. and Vilarinho, P. M. (2004). A genetic algorithm based approach to the mixed-model assembly line balancing problem of type II. *Computers and Industrial Engineering*, 47(4), 391-407.

- Simaria, A. S. and Vilarinho, P. M. (2009). 2-ANTBAL: An Ant colony optimization algorithm for balancing two-sided assembly lines. *Computer and Industrial Engineering*, 56(2), 489-506.
- Şahin R. (2004). *Çok Kriterli Dinamik Tesis Düzenleme Probleminin Tavlama Benzetimi ile Çözülmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 62-65.
- Şimşek, D. (2014). *A Two Stage Approach For Hybrid-Assembly Line Design*, The Degree of Master Of Science, Middle East Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 98-104.
- Taha, R. B., El-Kharbotly, A. K., Sadek, Y. M. and Afia, N. H. (2011). A genetic algorithm solving two-sided assembly line balancing problems. *Ain Shams Engineering Journal*, 2(4), 227-240.
- Tang, Q., Li, Z. and Zhang, L. (2016). An effective discrete artificial bee colony algorithm with idle time reduction techniques for two-sided assembly line balancing problem of type-II. *Computers and Industrial Engineering*, 97(5), 146-156.
- Tang, Q., Li, Z., Zhang, L. and Zhang, C. (2017). Balancing stochastic two-sided assembly line with multiple constraints using hybrid teaching-learning-based optimization algorithm. *Computers and Operations Research*, 82(11), 102-113.
- Tanyaş, M. ve Baskak M. (2013). *Üretim Planlama ve Stok Kontrol* (3. Baskı). Türkiye: İrfan Yayıncılık, 259-265.
- Tapkan, P., Özbakır, L. and Baykasoğlu, A. (2012). Modeling and solving constrained two-sided assembly line balancing problem via bee algorithms. *Applied Soft Computing*, 12(11), 3343-3355.
- Tapkan, P., Özbakır, L. and Baykasoğlu, A. (2016). Bee algorithms for parallel two-sided assembly line balancing problem with walking times. *Applied Soft Computing*, 39(4), 275-291.
- Taş O. (2007). *Havayolu Şirketlerinde Uçuşların Atanması Probleminin Tavlama Benzetimi İle Çözülmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 115-119.
- Taube, F. and Minner, S. (2017). Resequencing mixed-model assembly lines with restoration to customer orders. *Omega*, 78(5), 99-111.
- Tiacci, L. (2015). Coupling a genetic algorithm approach and a discrete event simulator to design mixed-model un-paced assembly lines with parallel work stations and stochastic task times. *International Journal of Production Economics*, 159, 319-333.
- Tiacci, L. (2017). Mixed-model U-shaped assembly lines: Balancing and comparing with straight lines with buffers and parallel workstations. *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 286-305.

- Tuna, T. (2014). *Depo Planlaması ve Ürünlerin Depolara Atanması Probleminin Sezgisel Algoritmalar ile Çözümü*, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 51-54.
- Tuncel, G. and Aydın, D. (2014). Two-sided assembly line balancing using teaching-learning based optimization algorithm. *Computers and Industrial Engineering*, 74(4), 291-299.
- Uğraş S. (2005). *Hücreyel İmalat Sisteminde Verimlilik Bazlı Etkili Bir Yaklaşım: Tavlama Benzetimi Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 69-72.
- 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.
- Vilarinho, P. M. and Simaria, A. S. (2006). ANTBAL: An ant colony optimization algorithm for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations. *International Journal of Production Research*, 44(2), 291-303.
- Wang, K., Li, X. and Gao, L. (2019). A multi-objective discrete flower pollination algorithm for stochastic two-sided partial disassembly line balancing problem. *Computers and Industrial Engineering*, 130(2), 634-649.
- Wu, E-F., Jin, Y., Bao, J. S., and Hu, X. F. (2008). A branch-and-bound algorithm for two-sided assembly line balancing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39 (9), 1009-1015.
- Xiaofeng, H., Erfei, W. and Ye, J. (2008). A station-oriented enumerative algorithm for two-sided assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 186(1), 435-440.
- Xiaofeng, H., Erfei, W., Jinsong, B. and Ye, J. (2010). A branch and bound algorithm to minimize the line length of a two-sided assembly line. *European Journal of Operational Research*, 206(3), 703-707.
- Yağmağan, B. (2011). Mixed-model assembly line balancing using a multi-objective ant colony optimization approach. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12453-12461.
- Yağmağan, B. ve Emel, E. (2015). Yasak arama algoritmasına dayalı, pürüzsüzleştirme yaklaşımı içeren karışık modelli montaj hattı dengeleme. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30(1), 57-69.
- Yanasse, H. H. and Lamosa, M. J. P. (2006). An integrated cutting stock and sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1353-1370.
- Yang, C. and Gao, J. (2016). Balancing mixed-model assembly lines using adjacent cross-training in a demand variation environment. *Computers and Operations Research*, 65, 139-148.

- Yang, C., Gao, J. and Sun, L. (2013). A multi-objective genetic algorithm for mixed-model assembly line rebalancing. *Computers and Industrial Engineering*, 65(1), 109-116.
- Yuan, B., Zhang, C., Shao, X. and Jiang, Z. (2015). An effective hybrid honey bee mating optimization algorithm for balancing mixed-model two-sided assembly lines. *Computers and Operations Research*, 53, 32-41.
- Zeltzer, L., Limere, V., Aghezzaf, E. H. and Landeghem, H. V. (2013, 19-21 June). *Balancing mixed-model assembly lines in real world complex workstations*. Paper presented at the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control International Federation of Automatic Control, Saint Petersburg, Russia.





EKLER

EK-1. Tek katlı ürün modellerinin görev süreleri

Görev i	B	C	D	Görev i	B	C	D	Görev i	B	C	D	Görev i	B	C	D
1	23	23	23	43	109	109	109	85	56	56	56	127	10	10	0
2	13	13	13	44	24	24	24	86	59	59	59	128	185	185	185
3	5	5	5	45	15	15	15	87	95	95	95	129	0	0	137
4	5	5	5	46	0	191	0	88	40	40	40	130	0	0	80
5	5	5	5	47	464	464	464	89	78	78	78	131	0	0	85
6	0	171	0	48	520	520	520	90	121	121	121	132	0	0	20
7	0	171	0	49	49	49	49	91	77	77	77	133	0	0	71
8	0	171	0	50	100	100	100	92	17	17	17	134	0	0	83
9	0	39	0	51	200	200	200	93	49	49	49	135	0	0	460
10	0	39	0	52	676	676	676	94	30	30	30	136	0	0	20
11	0	39	0	53	37	37	37	95	74	74	74	137	0	0	53
12	109	109	0	54	140	140	140	96	50	50	50	138	0	0	64
13	83	83	83	55	65	65	65	97	68	68	68	139	0	0	60
14	27	27	27	56	90	90	90	98	13	13	13	140	0	0	335
15	27	27	27	57	90	90	90	99	9	9	9	141	0	0	19
16	27	27	27	58	66	66	66	100	2	2	2	142	0	0	86
17	29	29	0	59	80	80	80	101	0	84	0	143	0	0	14
18	9	9	9	60	8	8	8	102	0	52	0	144	0	0	60
19	114	114	114	61	42	42	42	103	0	46	0	145	0	0	10
20	47	47	47	62	85	85	85	104	45	45	45	146	0	0	56
21	28	28	28	63	62	62	62	105	0	59	0	147	0	0	40
22	68	68	68	64	25	25	25	106	42	42	0	148	0	0	30
23	41	41	0	65	15	15	15	107	17	17	17	149	0	0	11
24	18	18	0	66	34	34	34	108	19	19	19	150	0	0	106
25	206	206	206	67	41	41	41	109	11	11	11	151	0	0	20
26	12	12	12	68	7	7	7	110	14	14	14	152	0	0	12
27	26	26	26	69	33	33	33	111	86	86	86	153	0	0	19
28	247	0	247	70	146	146	146	112	60	60	60	154	0	0	20
29	0	4	0	71	26	26	26	113	6	6	0	155	0	0	32
30	0	4	0	72	18	18	18	114	0	12	0	156	0	0	13
31	0	4	0	73	0	18	0	115	0	12	0	157	0	0	26
32	0	78	0	74	25	25	25	116	0	12	0	158	0	0	40
33	0	78	0	75	25	25	25	117	0	24	0	159	0	0	26
34	0	78	0	76	75	75	75	118	28	28	28	160	0	0	16
35	0	82	0	77	75	75	75	119	30	30	30	161	0	0	10
36	0	82	0	78	93	93	93	120	25	25	25	162	0	0	25
37	0	82	0	79	21	21	21	121	35	35	35	163	0	0	17
38	0	170	0	80	49	49	49	122	60	60	60	164	0	0	23
39	0	63	0	81	23	23	23	123	92	92	92	165	0	0	9
40	0	49	0	82	53	53	53	124	35	35	35				
41	84	84	84	83	60	60	60	125	7	7	7				
42	8	8	8	84	37	37	37	126	6	6	6				

EK-2. Tek katlı ürün modellerinin ortak görev tablosu

Görev i	B	C	D	Toplam Ortak Görev Sayısı	Görev i	B	C	D	Toplam Ortak Görev Sayısı
1	1	1	1	3	50	1	1	1	3
2	1	1	1	3	51	1	1	1	3
3	1	1	1	3	52	1	1	1	3
4	1	1	1	3	53	1	1	1	3
5	1	1	1	3	54	1	1	1	3
6	0	1	0	1	55	1	1	1	3
7	0	1	0	1	56	1	1	1	3
8	0	1	0	1	57	1	1	1	3
9	0	1	0	1	58	1	1	1	3
10	0	1	0	1	59	1	1	1	3
11	0	1	0	1	60	1	1	1	3
12	1	1	0	2	61	1	1	1	3
13	1	1	1	3	62	1	1	1	3
14	1	1	1	3	63	1	1	1	3
15	1	1	1	3	64	1	1	1	3
16	1	1	1	3	65	1	1	1	3
17	1	1	0	2	66	1	1	1	3
18	1	1	1	3	67	1	1	1	3
19	1	1	1	3	68	1	1	1	3
20	1	1	1	3	69	1	1	1	3
21	1	1	1	3	70	1	1	1	3
22	1	1	1	3	71	1	1	1	3
23	1	1	0	2	72	1	1	1	3
24	1	1	0	2	73	0	1	0	1
25	1	1	1	3	74	1	1	1	3
26	1	1	1	3	75	1	1	1	3
27	1	1	1	3	76	1	1	1	3
28	1	0	1	2	77	1	1	1	3
29	0	1	0	1	78	1	1	1	3
30	0	1	0	1	79	1	1	1	3
31	0	1	0	1	80	1	1	1	3
32	0	1	0	1	81	1	1	1	3
33	0	1	0	1	82	1	1	1	3
34	0	1	0	1	83	1	1	1	3
35	0	1	0	1	84	1	1	1	3
36	0	1	0	1	85	1	1	1	3
37	0	1	0	1	86	1	1	1	3
38	0	1	0	1	87	1	1	1	3
39	0	1	0	1	88	1	1	1	3
40	0	1	0	1	89	1	1	1	3
41	1	1	1	3	90	1	1	1	3
42	1	1	1	3	91	1	1	1	3
43	1	1	1	3	92	1	1	1	3
44	1	1	1	3	93	1	1	1	3
45	1	1	1	3	94	1	1	1	3
46	0	1	0	1	95	1	1	1	3
47	1	1	1	3	96	1	1	1	3
48	1	1	1	3	97	1	1	1	3
49	1	1	1	3	98	1	1	1	3

EK-2. (devam) Tek katlı ürün modellerinin ortak görev tablosu

Görev j	B	C	D	Toplam Ortak Görev Sayısı	Görev j	B	C	D	Toplam Ortak Görev Sayısı
99	1	1	1	3	133	0	0	1	1
100	1	1	1	3	134	0	0	1	1
101	0	1	0	1	135	0	0	1	1
102	0	1	0	1	136	0	0	1	1
103	0	1	0	1	137	0	0	1	1
104	1	1	1	3	138	0	0	1	1
105	0	1	0	1	139	0	0	1	1
106	1	1	0	2	140	0	0	1	1
107	1	1	1	3	141	0	0	1	1
108	1	1	1	3	142	0	0	1	1
109	1	1	1	3	143	0	0	1	1
110	1	1	1	3	144	0	0	1	1
111	1	1	1	3	145	0	0	1	1
112	1	1	1	3	146	0	0	1	1
113	1	1	0	2	147	0	0	1	1
114	0	1	0	1	148	0	0	1	1
115	0	1	0	1	149	0	0	1	1
116	0	1	0	1	150	0	0	1	1
117	0	1	0	1	151	0	0	1	1
118	1	1	1	3	152	0	0	1	1
119	1	1	1	3	153	0	0	1	1
120	1	1	1	3	154	0	0	1	1
121	1	1	1	3	155	0	0	1	1
122	1	1	1	3	156	0	0	1	1
123	1	1	1	3	157	0	0	1	1
124	1	1	1	3	158	0	0	1	1
125	1	1	1	3	159	0	0	1	1
126	1	1	1	3	160	0	0	1	1
127	1	1	0	2	161	0	0	1	1
128	1	1	1	3	162	0	0	1	1
129	0	0	1	1	163	0	0	1	1
130	0	0	1	1	164	0	0	1	1
131	0	0	1	1	165	0	0	1	1
132	0	0	1	1					

EK-3. Üç katlı ürün modellerinin görev tarafları

Görev i	L	R	E	Görev i	L	R	E	Görev i	L	R	E	Görev i	L	R	E	Görev i	L	R	E
1	1			53		1		105	1			157			1	209			1
2			1	54	1			106			1	158		1		210		1	
3		1		55			1	107		1		159	1			211	1		
4	1			56		1		108		1		160			1	212			1
5			1	57	1			109	1			161		1		213		1	
6		1		58			1	110			1	162	1			214	1		
7	1			59		1		111		1		163			1	215			1
8			1	60	1			112			1	164		1		216		1	
9		1		61			1	113	1			165	1			217			1
10	1			62		1		114			1	166			1	218	1		
11			1	63	1			115		1		167		1		219			1
12		1		64			1	116	1			168	1			220		1	
13	1			65		1		117			1	169			1	221			1
14			1	66	1			118		1		170		1		222	1		
15		1		67			1	119	1			171	1			223			1
16		1		68		1		120			1	172			1	224		1	
17		1		69	1			121		1		173		1		225			1
18		1		70			1	122			1	174	1			226	1		
19		1		71		1		123	1			175			1	227			1
20		1		72			1	124			1	176		1		228		1	
21		1		73			1	125		1		177	1			229			1
22	1			74	1			126	1			178			1	230	1		
23			1	75			1	127			1	179		1		231			1
24		1		76		1		128		1		180	1			232		1	
25			1	77			1	129	1			181			1	233			1
26	1			78			1	130			1	182		1		234	1		
27			1	79		1		131		1		183		1		235			1
28		1		80		1		132	1			184	1			236		1	
29	1			81		1		133			1	185			1	237			1
30			1	82		1		134		1		186		1		238	1		
31		1		83		1		135	1			187	1			239			1
32	1			84		1		136			1	188			1	240		1	
33			1	85		1		137		1		189		1		241			1
34		1		86		1		138	1			190	1			242	1		
35	1			87		1		139			1	191			1	243			1
36			1	88		1		140		1		192		1		244		1	
37		1		89		1		141	1			193	1			245			1
38	1			90		1		142			1	194			1	246	1		
39			1	91			1	143		1		195		1		247			1
40		1		92			1	144	1			196	1			248		1	
41	1			93	1			145			1	197			1	249			1
42			1	94			1	146		1		198		1		250	1		
43		1		95		1		147	1			199	1			251			1
44			1	96	1			148			1	200			1	252		1	
45	1			97			1	149		1		201		1		253	1		
46			1	98		1		150	1			202			1	254			1
47		1		99	1			151			1	203			1	255		1	
48	1			100			1	152		1		204			1	256			1
49			1	101		1		153	1			205	1			257	1		
50		1		102	1			154			1	206			1	258			1
51	1			103			1	155		1		207		1		259		1	
52			1	104		1		156	1			208	1			260			1

EK-3. (devam) Üç katlı ürün modellerinin görev tarafları

Görev i	L	R	E	Görev i	L	R	E	Görev i	L	R	E	Görev i	L	R	E	Görev i	L	R	E
261	1			282		1		303		1		324		1		345	1		
262			1	283		1		304	1			325		1		346			1
263		1		284		1		305			1	326			1	347		1	
264			1	285		1		306		1		327	1			348	1		
265	1			286	1			307	1			328			1	349			1
266			1	287			1	308			1	329		1		350		1	
267		1		288		1		309		1		330	1			351	1		
268			1	289		1		310			1	331			1	352			1
269	1			290	1			311			1	332		1		353		1	
270			1	291			1	312	1			333	1			354	1		
271		1		292		1		313			1	334			1	355			1
272			1	293	1			314		1		335		1		356		1	
273	1			294			1	315			1	336	1			357			1
274			1	295		1		316			1	337			1	358			1
275		1		296			1	317			1	338		1		359	1		
276	1			297	1			318			1	339	1			360			1
277			1	298			1	319	1			340			1	361		1	
278		1		299		1		320			1	341		1					
279			1	300			1	321		1		342	1						
280	1			301	1			322		1		343			1				
281			1	302			1	323		1		344		1					

EK-4. Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu

Görev i	BBC	BDB	BDC	BBB	Birleştirilmiş Öncelikler
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1
5	2	2	2	2	2
6	3	3	3	3	3
7	4	4	4	4	4
8	5	5	5	5	5
9	6	6	6	6	6
10	4	4	4	4	4
11	5	5	5	5	5
12	6	6	6	6	6
13	4	4	4	4	4
14	5	5	5	5	5
15	6	6	6	6	6
16	9, 12, 15	0	9, 12, 15	0	9, 12, 15
17	16	0	16	0	16
18	17	0	17	0	17
19	18	0	18	0	18
20	19	0	19	0	19
21	20	0	20	0	20
22	7, 10, 13	7, 10, 13	7, 10, 13	7, 10, 13	7, 10, 13
23	8, 11, 14	0	0	8, 11, 14	8, 11, 14
24	21	9, 12, 15	21	9, 12, 15	21
25	0	8, 11, 14	8, 11, 14	0	8, 11, 14
26	22	22	22	22	22
27	23	25	25	23	23, 25
28	24	24	24	24	24
29	22	22	22	22	22
30	23	25	25	23	23, 25
31	24	24	24	24	24
32	29	29	29	29	29
33	30	30	30	30	30
34	31	31	31	31	31
35	32	32	32	32	32
36	33	33	33	33	33
37	34	34	34	34	34
38	22	22	22	22	22
39	23	0	0	23	23
40	24	24	24	24	24
41	26, 35, 38	26, 35, 38	26, 35, 38	26, 35, 38	26, 35, 38
42	27, 36, 39	27, 36	27, 36	27, 36, 39	27, 36, 39
43	28, 37, 40	28, 37, 40	28, 37, 40	28, 37, 40	28, 37, 40
44	0	42	42	0	42
45	41	41	41	41	41
46	42	42	42	42	42
47	43	43	43	43	43
48	45	45	45	45	45
49	46	46	46	46	46

EK-4. (devam) Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu

Görev i	BBC	BDB	BDC	BBB	Birleştirilmiş Öncelikler
50	47	47	47	47	47
51	48	48	48	48	48
52	49	49	49	49	49
53	50	50	50	50	50
54	51	51	51	51	51
55	52	52	52	52	52
56	53	53	53	53	53
57	54	54	54	54	54
58	55	0	0	55	55
59	56	56	56	56	56
60	57	57	57	57	57
61	58	0	0	58	58
62	59	59	59	59	59
63	48	48	48	48	48
64	49	49	49	49	49
65	50	50	50	50	50
66	63	63	63	63	63
67	64	64	64	64	64
68	65	65	65	65	65
69	66	66	66	66	66
70	67	67	67	67	67
71	68	68	68	68	68
72	0	44	44	0	44
73	0	72	72	0	72
74	57	57	57	57	57
75	52	52, 73	52, 73	52	52, 73
76	0	53	0	53	53
77	0	75	75	0	75
78	0	77	77	0	77
79	19	0	19	0	19
80	20	0	20	0	20
81	21	0	21	0	21
82	79	0	79	0	79
83	80	0	80	0	80
84	81	0	81	0	81
85	82	0	82	0	82
86	83	0	83	0	83
87	84	0	84	0	84
88	85, 86, 87	0	85, 86, 87	0	85, 86, 87
89	88	0	88	0	88
90	0	0	0	0	0
91	0	78	78	0	78
92	0	91	91	0	91

EK-4. (devam) Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu

Görev i	BBC	BDB	BDC	BBB	Birleştirilmiş Öncelikler
93	60, 74	60, 74	60, 74	60, 74	60, 74
94	61, 75	55, 92	55, 92	61, 75	61, 92
95	62, 89, 90	62, 76	62, 89, 90	62, 76	62, 76, 89, 90
96	93	93	93	93	93
97	94	94	94	94	94
98	95	95	95	95	95
99	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0
101	0	0	0	0	0
102	22	22	22	22	22
103	23	25	25	23	23, 25
104	24	24	24	24	24
105	0	0	0	0	0
106	0	0	0	0	0
107	0	0	0	0	0
108	104	0	104	0	104
109	102, 105	102, 105	102, 105	102, 105	102, 105
110	103, 106	103, 106	103, 106	103, 106	103, 106
111	107, 108	107	107, 108	107	107, 108
112	109, 110, 111	109, 110, 111	109, 110, 111	109, 110, 111	96, 97, 98, 109, 110, 111
113	99	99	99	99	99
114	100	100	100	100	100
115	101	101	101	101	101
116	112	112	112	112	112
117	112	112	112	112	112
118	112	112	112	112	112
119	116	116	116	116	116
120	117	117	117	117	117
121	118	118	118	118	118
122	119, 120, 121	119, 120, 121	119, 120, 121	119, 120, 121	119, 120, 121
123	113	113	113	113	113
124	114	114	114	114	114
125	115	115	115	115	115
126	122	122	122	122	122
127	122	122	122	122	122
128	122	122	122	122	122
129	126	126	126	126	126
130	127	127	127	127	127
131	128	128	128	128	128
132	129	129	129	129	129
133	130	130	130	130	130
134	131	131	131	131	131
135	129	129	129	129	129

EK-4. (devam) Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu

Görev i	BBC	BDB	BDC	BBB	Birleştirilmiş Öncelikler
136	130	130	130	130	130
137	131	131	131	131	131
138	132, 135	132, 135	132, 135	132, 135	132, 135
139	133, 136	133, 136	133, 136	133, 136	133, 136
140	134, 137	134, 137	134, 137	134, 137	134, 137
141	138	138	138	138	138
142	139	139	139	139	139
143	140	140	140	140	140
144	69, 96, 141	69, 96, 141	69, 96, 141	69, 96, 141	69, 141
145	70, 97, 142	70, 97, 142	70, 97, 142	70, 97, 142	70, 142
146	71, 98, 143	71, 98, 143	71, 98, 143	71, 98, 143	71, 143
147	144	144	144	144	144
148	145	145	145	145	145
149	146	146	146	146	146
150	144	144	144	144	144
151	145	145	145	145	145
152	146	146	146	146	146
153	144	144	144	144	144
154	145	145	145	145	145
155	146	146	146	146	146
156	153	153	153	153	153
157	154	154	154	154	154
158	155	155	155	155	155
159	156	156	156	156	156
160	157	157	157	157	157
161	158	158	158	158	158
162	150	150	150	150	150
163	151	151	151	151	151
164	152	152	152	152	152
165	162	162	162	162	162
166	163	163	163	163	163
167	164	161	164	161	161, 164
168	165	165	165	165	165
169	166	166	166	166	166
170	167	167	167	167	167
171	168	168	168	168	168
172	169	169	169	169	169
173	170	170	170	170	170
174	147, 159, 171	147, 159, 171	147, 159, 171	147, 159, 171	147, 159, 171
175	148, 160, 172	148, 160, 172	148, 160, 172	148, 160, 172	148, 160, 172
176	149, 161, 173	149, 161, 173	149, 161, 173	149, 161, 173	149, 173
177	174	174	174	174	174
178	175	175	175	175	175

EK-4. (devam) Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu

Görev i	BBC	BDB	BDC	BBB	Birleştirilmiş Öncelikler
179	176	176	176	176	176
180	0	0	0	0	0
181	0	0	0	0	0
182	0	0	0	0	0
183	0	0	0	0	0
184	0	0	0	0	0
185	0	0	0	0	0
186	0	0	0	0	0
187	0	0	0	0	0
188	0	0	0	0	0
189	0	0	0	0	0
190	184	184	184	184	184
191	185	185	185	185	185
192	186	186	186	186	186
193	184	184	184	184	184
194	185	185	185	185	185
195	186	186	186	186	186
196	190, 193	190, 193	190, 193	190, 193	190, 193
197	191, 194	191, 194	191, 194	191, 194	191, 194
198	192, 195	192, 195	192, 195	192, 195	192, 195
199	190, 193	190, 193	190, 193	190, 193	190, 193
200	191, 194	191, 194	191, 194	191, 194	191, 194
201	192, 195	192, 195	192, 195	192, 195	192, 195
202	0	200	200	0	200
203	0	202	202	0	202
204	0	203	203	0	203
205	196, 199	196, 199	196, 199	196, 199	196, 199
206	197, 200	197, 204	197, 204	197, 200	197, 204
207	198, 201	198, 201	198, 201	198, 201	198, 201
208	205	205	205	205	205
209	206	206	206	206	206
210	207	207	207	207	207
211	208	208	208	208	208
212	209	209	209	209	209
213	210	210	210	210	210
214	0	0	0	0	0
215	0	0	0	0	0
216	0	0	0	0	0
217	0	0	0	0	0
218	0	0	0	0	0
219	0	0	0	0	0
220	0	0	0	0	0
221	0	0	0	0	0

EK-4. (devam) Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu

Görev i	BBC	BDB	BDC	BBB	Birleştirilmiş Öncelikler
222	177, 218	177, 218	177, 218	177, 218	177, 218
223	178, 219	178, 219	178, 219	178, 219	178, 219
224	179, 220	179, 220	179, 220	179, 220	179, 220
225	0	221	221	0	221
226	177, 218	177, 218	177, 218	177, 218	177, 218
227	178, 219	178, 219	178, 219	178, 219	178, 219
228	179, 220	179, 220	179, 220	179, 220	179, 220
229	0	221	221	0	221
230	0	0	0	0	0
231	0	0	0	0	0
232	0	0	0	0	0
233	0	0	0	0	0
234	0	0	0	0	0
235	0	0	0	0	0
236	0	0	0	0	0
237	0	0	0	0	0
238	211	211	211	211	211
239	212	212	212	212	212
240	213	213	213	213	213
241	0	212	212	0	212
242	222, 226, 238	222, 226, 238	222, 226, 238	222, 226, 238	222, 226, 238
243	223, 227, 239	223, 227, 239	223, 227, 239	223, 227, 239	223, 227, 239
244	224, 228, 240	224, 228, 240	224, 228, 240	224, 228, 240	224, 228, 240
245	0	225, 229, 241	225, 229, 241	0	225, 229, 241
246	242	242	242	242	242
247	243	243	243	243	243
248	244	244	244	244	244
249	0	245	245	0	245
250	246	246	246	246	246
251	247	247, 249	247, 249	247	247, 249
252	248	248	248	248	248
253	214, 230, 250	214, 230, 250	214, 230, 250	214, 230, 250	214, 230, 250
254	215, 231, 251	215, 231, 251	215, 231, 251	215, 231, 251	215, 231, 251
255	216, 232, 252	216, 232, 252	216, 232, 252	216, 232, 252	216, 232, 252
256	0	217, 233, 251	217, 233, 251	0	217, 233, 251
257	250	250	250	250	250
258	251	251	251	251	251
259	252	252	252	252	252
260	0	251	251	0	251
261	234, 250	234, 250	234, 250	234, 250	234, 250
262	235, 251	235, 251	235, 251	235, 251	235, 251
263	236, 252	236, 252	236, 252	236, 252	236, 252
264	0	237, 251	237, 251	0	237, 251

EK-4. (devam) Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu

Görev i	BBC	BDB	BDC	BBB	Birleştirilmiş Öncelikler
265	257	257	257	257	257
266	258	258	258	258	258
267	259	259	259	259	259
268	0	260	260	0	260
269	250	250	250	250	250
270	251	251	251	251	251
271	252	252	252	252	252
272	0	251	251	0	251
273	253, 261, 265, 269	253, 261, 265, 269	253, 261, 265, 269	253, 261, 265, 269	253, 261, 265, 269
274	254, 262, 266, 270	254, 256, 262, 264, 266, 268, 270, 272	254, 256, 262, 264, 266, 268, 270, 272	254, 262, 266, 270	254, 256, 262, 264, 266, 268, 270, 272
275	255, 263, 267, 271	255, 263, 267, 271	255, 263, 267, 271	255, 263, 267, 271	255, 263, 267, 271
276	0	0	0	0	273
277	0	0	0	0	274
278	0	0	0	0	275
279	0	0	0	0	274
280	273, 276	273, 276	273, 276	273, 276	276
281	274, 277	274, 277, 279	274, 277, 279	274, 277	277, 279
282	275, 278	275, 278	275, 278	275, 278	278
283	201	0	201	0	201
283	201	0	201	0	201
284	283	0	283	0	283
285	284	0	284	0	284
286	280	280	280	280	280
287	281	281	281	281	281
288	285	282	285	282	282, 285
289	285	0	285	0	285
290	286	286	286	286	286
291	287	0	0	287	287
292	288	288	288	288	288
293	290	290	290	290	290
294	291	287	287	291	291
295	292	292	292	292	292
296	0	287	287	0	287
297	293	293	293	293	293
298	294	294	294	294	294
299	295	295	295	295	295
300	0	296	296	0	296
301	0	0	0	0	0
302	0	0	0	0	0
303	0	0	0	0	0
304	123	123	123	123	123

EK-4. (devam) Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu

Görev i	BBC	BDB	BDC	BBB	Birleştirilmiş Öncelikler
305	124	124	124	124	124
306	125	125	125	125	125
307	297	297	297	297	297
308	298	298	298	298	298
309	299	299	299	299	299
310	0	298	298	0	298
311	0	0	0	0	310
312	301, 304, 307	301, 304, 307	301, 304, 307	301, 304, 307	301, 304, 307
313	302, 305, 308	302, 305, 308	302, 305, 308	302, 305, 308	302, 305, 308
314	303, 306, 309	303, 306, 309	303, 306, 309	303, 306, 309	303, 306, 309
315	0	300, 310, 311	300, 310, 311	0	300, 311
316	0	315	315	0	315
317	0	0	0	0	0
318	0	0	0	0	0
319	0	0	0	0	0
320	0	0	0	0	0
321	0	0	0	0	0
322	289	0	289	0	289
323	289	0	289	0	289
324	289	0	289	0	289
325	0	0	0	0	0
326	0	316	316	0	316
327	180	180	180	180	180
328	181	181, 326	181, 326	181	181, 326
329	182, 183, 322, 323, 324	182	182, 183, 322, 323, 324	182	182, 183, 322, 323, 324
330	0	0	0	0	0
331	0	0	0	0	0
332	0	0	0	0	0
333	0	0	0	0	0
334	0	0	0	0	0
335	0	0	0	0	0
336	0	0	0	0	0
337	0	0	0	0	0
338	0	0	0	0	0
339	187	187	187	187	187
340	188	188	188	188	188
341	189	189	189	189	189
342	293	293	293	293	293
343	294	294	294	294	294
344	295	295	295	295	295
345	0	0	0	0	0
346	0	0	0	0	0
347	297	297	297	297	297

EK-4. (devam) Üç katlı ürün modellerinin birleştirilmiş öncelik ilişkisi tablosu

Görev i	BBC	BDB	BDC	BBB	Birleştirilmiş Öncelikler
348	298	298	298	298	298
349	299	299	299	299	299
350	0	0	0	0	0
351	0	0	0	0	0
352	0	0	0	0	0
353	0	0	0	0	0
354	327	327	327	327	327
355	328	0	0	328	328
356	329	329	329	329	329
357	0	315	315	0	315
358	0	315	315	0	315
359	312, 319, 330, 333, 336, 339, 342, 345, 348, 351, 354	312, 319, 330, 333, 336, 339, 342, 345, 348, 351, 354	312, 319, 330, 333, 336, 339, 342, 345, 348, 351, 354	312, 319, 330, 333, 336, 339, 342, 345, 348, 351, 354	312, 319, 330, 333, 336, 339, 342, 345, 348, 351, 354
360	313, 320, 331, 334, 337, 340, 343, 346, 349, 352, 355	313, 317, 318, 328, 331, 334, 337, 340, 343, 346, 349, 352, 357, 358	313, 317, 318, 328, 331, 334, 337, 340, 343, 346, 349, 352, 357, 358	313, 320, 331, 334, 337, 340, 343, 346, 349, 352, 355	313, 317, 318, 320, 331, 334, 337, 340, 343, 346, 349, 352, 355, 357, 358
361	314, 321, 325, 332, 335, 338, 341, 344, 347, 350, 353, 356	314, 321, 332, 335, 338, 341, 344, 347, 350, 353, 356	314, 321, 325, 332, 335, 338, 341, 344, 347, 350, 353, 356	314, 321, 332, 335, 338, 341, 344, 347, 350, 353, 356	314, 321, 325, 332, 335, 338, 341, 344, 347, 350, 353, 356

EK-5. Üç katlı ürün modellerinin görev süreleri

Görev j	BBC	BDB	BDC	BBB	Görev j	BBC	BDB	BDC	BBB	Görev j	BBC	BDB	BDC	BBB
1	23	23	23	23	53	28	28	28	28	105	15	15	15	15
2	23	23	23	23	54	68	68	68	68	106	15	15	15	15
3	23	23	23	23	55	68	68	68	68	107	15	15	15	15
4	13	13	13	13	56	68	68	68	68	108	191	0	191	0
5	13	13	13	13	57	41	41	41	41	109	464	464	464	464
6	13	13	13	13	58	41	0	0	41	110	464	464	464	464
7	5	5	5	5	59	41	41	41	41	111	464	464	464	464
8	5	5	5	5	60	18	18	18	18	112	997	997	997	997
9	5	5	5	5	61	18	0	0	18	113	49	49	49	49
10	5	5	5	5	62	18	18	18	18	114	49	49	49	49
11	5	5	5	5	63	206	206	206	206	115	49	49	49	49
12	5	5	5	5	64	206	206	206	206	116	100	100	100	100
13	5	5	5	5	65	206	206	206	206	117	100	100	100	100
14	5	5	5	5	66	12	12	12	12	118	100	100	100	100
15	5	5	5	5	67	12	12	12	12	119	200	200	200	200
16	171	0	171	0	68	12	12	12	12	120	200	200	200	200
17	171	0	171	0	69	26	26	26	26	121	200	200	200	200
18	171	0	171	0	70	26	26	26	26	122	2027	2027	2027	2027
19	39	0	39	0	71	26	26	26	26	123	37	37	37	37
20	39	0	39	0	72	0	85	85	0	124	37	37	37	37
21	39	0	39	0	73	0	20	20	0	125	37	37	37	37
22	109	109	109	109	74	247	247	247	247	126	140	140	140	140
23	109	0	0	109	75	247	247	247	247	127	140	140	140	140
24	109	109	109	109	76	0	247	0	247	128	140	140	140	140
25	0	137	137	0	77	0	71	71	0	129	65	65	65	65
26	83	83	83	83	78	0	83	83	0	130	65	65	65	65
27	83	83	83	83	79	4	0	4	0	131	65	65	65	65
28	83	83	83	83	80	4	0	4	0	132	90	90	90	90
29	27	27	27	27	81	4	0	4	0	133	90	90	90	90
30	27	27	27	27	82	78	0	78	0	134	90	90	90	90
31	27	27	27	27	83	78	0	78	0	135	90	90	90	90
32	27	27	27	27	84	78	0	78	0	136	90	90	90	90
33	27	27	27	27	85	82	0	82	0	137	90	90	90	90
34	27	27	27	27	86	82	0	82	0	138	66	66	66	66
35	27	27	27	27	87	82	0	82	0	139	66	66	66	66
36	27	27	27	27	88	170	0	170	0	140	66	66	66	66
37	27	27	27	27	89	63	0	63	0	141	80	80	80	80
38	29	29	29	29	90	49	0	49	0	142	80	80	80	80
39	29	0	0	29	91	0	460	460	0	143	80	80	80	80
40	29	29	29	29	92	0	20	20	0	144	8	8	8	8
41	9	9	9	9	93	84	84	84	84	145	8	8	8	8
42	9	9	9	9	94	84	84	84	84	146	8	8	8	8
43	9	9	9	9	95	84	84	84	84	147	42	42	42	42
44	0	80	80	0	96	8	8	8	8	148	42	42	42	42
45	114	114	114	114	97	8	8	8	8	149	42	42	42	42
46	114	114	114	114	98	8	8	8	8	150	85	85	85	85
47	114	114	114	114	99	109	109	109	109	151	85	85	85	85
48	47	47	47	47	100	109	109	109	109	152	85	85	85	85
49	47	47	47	47	101	109	109	109	109	153	62	62	62	62
50	47	47	47	47	102	24	24	24	24	154	62	62	62	62
51	28	28	28	28	103	24	24	24	24	155	62	62	62	62

EK-5. (devam) Üç katlı ürün modellerinin görev süreleri

Görev j	BBC	BDB	BDC	BBB	Görev j	BBC	BDB	BDC	BBB	Görev j	BBC	BDB	BDC	BBB
157	25	25	25	25	209	23	23	23	23	261	74	74	74	74
158	25	25	25	25	210	23	23	23	23	262	74	74	74	74
159	15	15	15	15	211	53	53	53	53	263	74	74	74	74
160	15	15	15	15	212	53	53	53	53	264	0	25	25	0
161	15	15	15	15	213	53	53	53	53	265	50	50	50	50
162	34	34	34	34	214	60	60	60	60	266	50	50	50	50
163	34	34	34	34	215	60	60	60	60	267	50	50	50	50
164	34	34	34	34	216	60	60	60	60	268	0	17	17	0
165	41	41	41	41	217	0	20	20	0	269	68	68	68	68
166	41	41	41	41	218	37	37	37	37	270	68	68	68	68
167	41	41	41	41	219	37	37	37	37	271	68	68	68	68
168	7	7	7	7	220	37	37	37	37	272	0	23	23	0
169	7	7	7	7	221	0	12	12	0	273	13	13	13	13
170	7	7	7	7	222	56	56	56	56	274	13	13	13	13
171	33	33	33	33	223	56	56	56	56	275	13	13	13	13
172	33	33	33	33	224	56	56	56	56	276	9	9	9	9
173	33	33	33	33	225	0	19	19	0	277	9	9	9	9
174	146	146	146	146	226	59	59	59	59	278	9	9	9	9
175	146	146	146	146	227	59	59	59	59	279	0	9	9	0
176	146	146	146	146	228	59	59	59	59	280	2	2	2	2
177	26	26	26	26	229	0	20	20	0	281	2	2	2	2
178	26	26	26	26	230	95	95	95	95	282	2	2	2	2
179	26	26	26	26	231	95	95	95	95	283	84	0	84	0
180	18	18	18	18	232	95	95	95	95	284	52	0	52	0
181	18	18	18	18	233	0	32	32	0	285	46	0	46	0
182	18	18	18	18	234	40	40	40	40	286	45	45	45	45
183	18	0	18	0	235	40	40	40	40	287	45	45	45	45
184	25	25	25	25	236	40	40	40	40	288	45	45	45	45
185	25	25	25	25	237	0	13	13	0	289	59	0	59	0
186	25	25	25	25	238	78	78	78	78	290	42	42	42	42
187	25	25	25	25	239	78	78	78	78	291	42	0	0	42
188	25	25	25	25	240	78	78	78	78	292	42	42	42	42
189	25	25	25	25	241	0	26	26	0	293	17	17	17	17
190	75	75	75	75	242	121	121	121	121	294	17	17	17	17
191	75	75	75	75	243	121	121	121	121	295	17	17	17	17
192	75	75	75	75	244	121	121	121	121	296	0	335	335	0
193	75	75	75	75	245	0	40	40	0	297	19	19	19	19
194	75	75	75	75	246	77	77	77	77	298	19	19	19	19
195	75	75	75	75	247	77	77	77	77	299	19	19	19	19
196	93	93	93	93	248	77	77	77	77	300	0	19	19	0
197	93	93	93	93	249	0	26	26	0	301	11	11	11	11
198	93	93	93	93	250	17	17	17	17	302	11	11	11	11
199	21	21	21	21	251	17	17	17	17	303	11	11	11	11
200	21	21	21	21	252	17	17	17	17	304	14	14	14	14
201	21	21	21	21	253	49	49	49	49	305	14	14	14	14
202	0	53	53	0	254	49	49	49	49	306	14	14	14	14
203	0	64	64	0	255	49	49	49	49	307	86	86	86	86
204	0	60	60	0	256	0	16	16	0	308	86	86	86	86
205	49	49	49	49	257	30	30	30	30	309	86	86	86	86
206	49	49	49	49	258	30	30	30	30	310	0	86	86	0
207	49	49	49	49	259	30	30	30	30	311	0	14	14	0
208	23	23	23	23	260	0	10	10	0	312	60	60	60	60

EK-6. Üç katlı ürün modellerinin görev tarafları

Görev j	R	L	E	Görev j	R	L	E	Görev j	R	L	E	Görev j	R	L	E	Görev j	R	L	E
1		1		53	1			105		1		157			1	209			1
2			1	54		1		106			1	158	1			210	1		
3	1			55			1	107	1			159		1		211		1	
4		1		56	1			108	1			160			1	212			1
5			1	57		1		109		1		161	1			213	1		
6	1			58			1	110			1	162		1		214		1	
7		1		59	1			111	1			163			1	215			1
8			1	60		1		112			1	164	1			216	1		
9	1			61			1	113		1		165		1		217			1
10		1		62	1			114			1	166			1	218		1	
11			1	63		1		115	1			167	1			219			1
12	1			64			1	116		1		168		1		220	1		
13		1		65	1			117			1	169			1	221			1
14			1	66		1		118	1			170	1			222		1	
15	1			67			1	119		1		171		1		223			1
16	1			68	1			120			1	172			1	224	1		
17	1			69		1		121	1			173	1			225			1
18	1			70			1	122			1	174		1		226		1	
19	1			71	1			123		1		175			1	227			1
20	1			72			1	124			1	176	1			228	1		
21	1			73			1	125	1			177		1		229			1
22		1		74		1		126		1		178			1	230		1	
23			1	75			1	127			1	179	1			231			1
24	1			76	1			128	1			180		1		232	1		
25			1	77			1	129		1		181			1	233			1
26		1		78			1	130			1	182	1			234		1	
27			1	79	1			131	1			183	1			235			1
28	1			80	1			132		1		184		1		236	1		
29		1		81	1			133			1	185			1	237			1
30			1	82	1			134	1			186	1			238		1	
31	1			83	1			135		1		187		1		239			1
32		1		84	1			136			1	188			1	240	1		
33			1	85	1			137	1			189	1			241			1
34	1			86	1			138		1		190		1		242		1	
35		1		87	1			139			1	191			1	243			1
36			1	88	1			140	1			192	1			244	1		
37	1			89	1			141		1		193		1		245			1
38		1		90	1			142			1	194			1	246		1	
39			1	91			1	143	1			195	1			247			1
40	1			92			1	144		1		196		1		248	1		
41		1		93		1		145			1	197			1	249			1
42			1	94			1	146	1			198	1			250		1	
43	1			95	1			147		1		199		1		251			1
44			1	96		1		148			1	200			1	252	1		
45		1		97			1	149	1			201	1			253		1	
46			1	98	1			150		1		202			1	254			1
47	1			99		1		151			1	203			1	255	1		
48		1		100			1	152	1			204			1	256			1
49			1	101	1			153		1		205		1		257		1	
50	1			102		1		154			1	206			1	258			1
51		1		103			1	155	1			207	1			259	1		
52			1	104	1			156		1		208		1		260			1

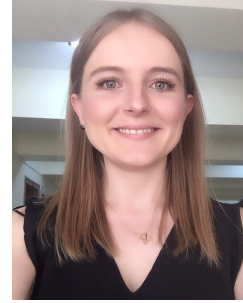
EK-6. (devam) Üç katlı ürün modellerinin görev tarafları

Görev j	R	L	E	Görev j	R	L	E	Görev j	R	L	E	Görev j	R	L	E	Görev j	R	L	E
261		1		282	1			303	1			324	1			345		1	
262			1	283	1			304		1		325	1			346			1
263	1			284	1			305			1	326			1	347	1		
264			1	285	1			306	1			327		1		348		1	
265		1		286		1		307		1		328			1	349			1
266			1	287			1	308			1	329	1			350	1		
267	1			288	1			309	1			330		1		351		1	
268			1	289	1			310			1	331			1	352			1
269		1		290		1		311			1	332	1			353	1		
270			1	291			1	312		1		333		1		354		1	
271	1			292	1			313			1	334			1	355			1
272			1	293		1		314	1			335	1			356	1		
273		1		294			1	315			1	336		1		357			1
274			1	295	1			316			1	337			1	358			1
275	1			296			1	317			1	338	1			359		1	
276		1		297		1		318			1	339		1		360			1
277			1	298			1	319		1		340			1	361	1		
278	1			299	1			320			1	341	1						
279			1	300			1	321	1			342		1					
280		1		301		1		322	1			343			1				
281			1	302			1	323	1			344	1						

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MERİÇ, Gizem
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 21.01.1990, Edirne
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0553 344 06 86
 Faks : 0312 265 05 17
 e-mail : gizem.meric00@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2013
Lise	Malkara Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Ulusoy Elektrik	Sürekli İyileştirme Mühendisi
2013-2014	Özgüney Elektrik	Üretim Planlama Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Meriç, G., Kellegöz, T. (2019). *Virtual product design for balancing of two-sided mixed model assembly lines connected to produce multi-layered products*, 4. International Conferences on computational mathematics and Engineering Sciences, Antalya.

Hobiler

Kitap okuma, Sinema, Seyahat etme



GAZİ GELECEKTİR..