

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA BİLİM DALI**

**ÇİFT TARAFLI U TİPİ MONTAJ HATTI DENGEME
PROBLEMLERİNE SEZGİSEL BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI**

**Hazırlayan
Yılmaz DELİCE**

**Danışmanlar
Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY
Doç. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN**

Doktora Tezi

**Kasım 2014
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA BİLİM DALI**

**ÇİFT TARAFLI U TİPİ MONTAJ HATTI DENGEME
PROBLEMLERİNE SEZGİSEL BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Yılmaz DELİCE**

**Danışmanlar
Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY
Doç. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Birimi tarafından SDK-2013-4636 kodlu proje ile
desteklenmiştir.**

**Kasım 2014
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Yılmaz DELİCE

“Çift Taraflı U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Sezgisel Bir Çözüm Yaklaşımı” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Yılmaz DELİCE

Danışman

Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY

İşletme ABD Başkanı

Prof. Dr. Osman UNUTULMAZ

Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY ve **Doç. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN** danışmanlığında **Yılmaz DELİCE** tarafından hazırlanan “**Çift-taraflı, U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Sezgisel Bir Çözüm Yaklaşımı**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

27 / 11 / 2014

JÜRİ:

Danışman: Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY
 Üye: Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN
 Üye: Doç. Dr. Uğur ÖZCAN
 Üye: Doç. Dr. Duran TOKSARI
 Üye: Yrd. Doç. Dr. Erdal CANIYILMAZ

g. orkan
Prof. Dr. Filiz Çalışkan
Doç. Dr. Uğur Özcan
Doç. Dr. Duran Toksarı
Yrd. Doç. Dr. Erdal Caniyılmaz

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 27/11/2014 tarih ve 33 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

27/11/2014
 Prof. Dr. Lütfullah CEBECİ
 Enstitü Müdürü
 Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Hat dengeleme alanına yönlendirerek doktora tezimin yanı sıra, akademik çalışmalarına da yön sağlayan, her zaman yol gösterici ve geniş bakış açısı ile tezime önemli katkılarda bulunan değerli danışmanlarım Sayın Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY ve Sayın Doç. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN' a sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Değerli görüşlerini ve katkılarını benden esirgemeyen tez izleme komitesinin değerli üyesi olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdal CANIYILMAZ'a ve tez savunma jürisinde yer alarak tezimin olgunlaşmasına katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN'a, Sayın Doç. Dr. Uğur ÖZCAN'a ve Sayın Doç. Dr. Duran TOKSARI'ya sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Yüksek lisans ve doktora eğitimim sırasında üzerimde emekleri bulunan tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Tez çalışmasıyla ilgili teknik donanımlar için SDK-2013-4636 kodlu proje ile maddi destek sağlayan Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim. Tez çalışmama emeği geçen ve ismine yer veremediğim herkese sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Yaşamımın her anında özveriyle beni destekleyen ve bu günlere gelmemde çok büyük emeği olan kıymetli annem Mürüvet DELİCE'ye, hayatımın her aşamasında beni destekleyen ağabeylerim Taylan Deniz DELİCE ve Doç. Dr. Özgür DELİCE'ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Tüm bu çalışmalar sırasında oluşan sıkıntılarımı paylaşan, her durumda desteğini ve fedakarlığını esirgemeyen sevgili eşim Feride DELİCE'ye ve sabırla beni bekleyen çocuklarım Özge DELİCE ile Mürüvet Ezgi DELİCE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bu tezi 2004 yılında vefat eden babam Halim DELİCE'ye ithaf ediyorum.

Yılmaz DELİCE

Kayseri, Kasım 2014

ÇİFT TARAFLI U TİPİ MONTAJ HATTI Dengeleme Problemlerine Sezgisel Bir Çözüm Yaklaşımı

Yılmaz DELİCE

Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü

Doktora Tezi, Kasım 2014

Danışmanlar: Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY

Doç. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN

ÖZET

Bu tez çalışmasında bir çift-taraflı U-tipi montaj hattı dengeleme (ÇUMHD) yapısı ile bu montaj hattı dengeleme (MHD) yapısını çözmek için parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritmasının değiştirilmiş yeni bir tipi önerilmektedir. Önerilen algoritma verilen çevrim zamanı için birincil amaç olarak toplam istasyon sayısını, ikincil amaç olarak da toplam çift-istasyon sayısını minimize etmektedir.

İki farklı montaj hattı yapısının birleştirilerek yeni bir montaj hattı yapısının ortaya konduğu bu çalışmada çift-taraflı montaj hatları ile U-tipi montaj hatlarının avantajlı yönlerinin bir araya getirilmesi amaçlanmıştır. Böylece önceki modellere göre daha iyi dengelenmiş montaj hatlarının elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Geliştirilen PSO temelli bu sezgisele ait temel adımlar örnek bir çözüm üzerinde ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Ayrıca bu yeni algoritmanın etkinliğini değerlendirebilmek için literatürde yer alan test problemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu yeni MHD modeli için geliştirilmiş olan değiştirilmiş-PSO algoritmasının etkin bir biçimde çalıştığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çift-taraflı montaj hattı; U-tipi montaj hattı; Çift-taraflı U-tipi montaj hattı; Parçacık sürü optimizasyonu

**A HEURISTIC SOLUTION APPROACH FOR TWO SIDED U TYPE
ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEMS**

Yılmaz DELİCE

Erciyes University, Graduate School of Social Sciences

Ph.D. Dissertation, November 2014

Supervisors: Assoc. Prof. Dr. Mehmet S. İLKAY

Assoc. Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN

ABSTRACT

In this paper, a two-sided U-type assembly line balancing (TUALB) structure and a new type of algorithm based on the particle swarm optimization (PSO) to solve the TUALB problem are proposed. The proposed approach minimizes the total number of stations for a given cycle time as the primary objective and the number of mated-stations as a secondary objective.

In this study, in which a new structure of assembly line is offered while combining two different assembly line structures, it is aimed to combine all the advantageous aspects of the two-sided assembly lines and U-type assembly lines. Thus, in comparison with the previous models, better balanced solutions could be obtained.

Basic steps in the proposed approach with a PSO-basis is illustrated with an example problem. In addition, test problems available in the literature are used in order to evaluate the efficiency of the proposed algorithm, The experimental results show that the modified PSO algorithm which is developed for this new assembly line balancing model performs well.

Keywords: Two-sided assembly line; U-type assembly line; Two-sided U-type assembly line; Particle swarm optimization.

İÇİNDEKİLER

ÇİFT TARAFLI U TİPİ MONTAJ HATTI Dengeleme Problemlerine Sezgisel Bir Çözüm Yaklaşımı

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

ÇİFT TARAFLI U-TİPİ MONTAJ HATLARI

1.1. Üretim Sistemleri	5
1.2. Montaj Hatları.....	8
1.3. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması.....	12
1.4. Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Kullanılan Çözüm Yöntemleri.....	18
1.4.1. Kesin Çözüm Yöntemleri	19
1.4.2. Sezgisel Yöntemler.....	19
1.5. Çift-tarafli U-tipi Montaj Hatları İle İlgili Temel Kavramlar.....	20
1.6. Çift-tarafli U-tipi Montaj Hattı Yapısı.....	22
1.7. Çift-tarafli U-tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi	26

1.8. Problem Varsayımları.....	28
--------------------------------	----

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. U-Tipi MHD Problemi İle İlgili Literatür Araştırması	30
2.2. Çift- Taraflı MHD Problemi İle İlgili Literatür Araştırması	31
2.3. Çift- Taraflı U-Tipi MHD Problemi İle İlgili Literatür Araştırması	33

3. BÖLÜM

ÖNERİLEN DEĞİŞTİRİLMİŞ-PSO ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇİFT-TARAFLI U-TİPİ MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİ

3.1. ÇUMHD Problemi için Kullanılan Matematiksel Model Yapısı.....	36
3.2. Temel PSO Algoritması.....	40
3.3. Geliştirilen Değiştirilmiş-PSO Algoritması	43
3.3.1. Değiştirilmiş PSO Algoritmasının Başlatılması.....	44
3.3.2. Çözüm Prosedürü	48
3.3.3. Çözüm Değerlendirme Prosedürü.....	53
3.3.4. Güncelleme Prosedürü	54
3.3.5. Yeni Algoritmanın Sürü Yapısı.....	55
3.3.6. Algoritmaya Ait Kaba Kod (Pseudo Code).....	56
3.3.7. Ayrıntılı Çözüm Üretme Prosedürü.....	57
3.3.8. Örnek Bir Çözüm	58
3.4. Önerilen Algoritmanın Önceki Çalışmalardan Farkları	60

4. BÖLÜM

ÖNERİLEN DEĞİŞTİRİLMİŞ-PSO ALGORİTMASININ TEST PROBLEMLERİNE UYGULAMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

4.1. PSO Parametrelerinin Optimal Çözüm Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	63
4.2. Uygulama Sonuçları ve Değerlendirme	65
SONUÇ	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ	88

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
n	Toplam görev sayısı
i,j,h	Görev için kullanılan indisler ($1 \leq i,j,h \leq n$)
$Maxiter$	Maksimum adım sayısı
k	Adım sayısı için kullanılan indis ($1 \leq k \leq Maxiter$)
np	Toplam parçacık sayısı
p	Parçacıklar için kullanılan indis ($1 \leq p \leq np$)
sd	Montaj hattının yönünü gösteren indis (0 = sol, 1 = sağ)
CLF	Öncülü olmayan ya da tüm öncülleri atanmış görevlerden oluşan liste
CLB	Ardılı olmayan ya da tüm ardılları atanmış görevlerden oluşan liste
c_1,c_2	Bilişsel ve sosyal öğrenme faktörlerini gösteren iki pozitif sabit
r_1,r_2	Düzgün dağılımdan ($U[0-1]$) elde edilmiş iki rastgele gerçek sayı
w	Önceki hız değerinin yeni hız değeri üzerindeki etkisini gösteren 'eylemsizlik ağırlığı' (inertia weight).
$X_{p,i,j,sd}$	' p ' çözümünde, ' i ' görevinin hemen ardından ' j ' görevinin seçilme olasılık değerlerini her iki montaj hattı yönü için gösteren ilişkisel öncelik matrisi, her i,j için i ve $j \in \{1,2, \dots, n\}$ ve $sd \in \{0,1\}$
$V_{p,i,j,sd}$	$X_{p,i,j,sd}$ matrisindeki değişim miktarı değerlerini her iki montaj hattı yönü için gösteren hız matrisidir, her i,j için i ve $j \in \{1,2, \dots, n\}$ ve $sd \in \{0,1\}$
$PBX_{p,i,j,sd}$	İlgili adıma kadar her bir ' p ' parçacığının elde ettiği en iyi ilişkisel öncelik değerlerinden oluşan matristir
$GBX_{i,j,sd}$	İlgili adıma kadar tüm sürünün elde ettiği en iyi ilişkisel öncelik değerleri vektörüdür
$S_{p,i,5}$	Her bir ' p ' parçacığının her bir ' i ' görevi için ayrıntılı çözüm vektörünü saklayan çözüm matrisidir
$SR_{p,3}$	Her bir ' p ' parçacığı için tüm amaç fonksiyon değerlerini saklayan çözüm sonuç matrisidir
$PBS_{p,i,5}$	İlgili adıma kadar her bir ' p ' parçacığının elde ettiği en iyi çözüm matrisidir

$PBSR_{p,3}$	İlgili adıma kadar her bir ‘ p ’ parçacığının elde ettiği en iyi çözüm sonuç matrisidir (amaç fonksiyon değerleri)
$GBS_{i,5}$	İlgili adıma kadar tüm sürünün elde ettiği en iyi çözüm matrisidir
$GBSR_3$	İlgili adıma kadar tüm sürünün elde ettiği en iyi çözüm sonuç vektörüdür (amaç fonksiyon değerleri)
NM	Çift-istasyon sayısı
$Side$	Atama işlemi için seçilmiş hat yönünü gösterir, (0 = sol, 1 = sağ)
$Uside$	Ürün montajının yapılmaya başlandığı kola göre montaj hattı merkezinin yön değerini göstermektedir, (0 = sol, 1 = sağ)
$N(Side)$	Sırasıyla sol ve sağ taraftaki istasyon sayılarını göstermektedir
$ST(Side)$	Her bir montaj hattı yönü için aktif istasyona ait engellenemeyen bekleme zamanlarını da içeren istasyon zamanlarını göstermektedir, ($Side=0$, sol taraf istasyon için. $Side=1$, sağ taraf istasyon için)
$TS(i)$	‘ i ’ görevinin yön ($Side$) değerini saklamaktadır, (0 = L-tipi, 1 = R-tipi, 2 = E-tipi)
$AT(Side)$	İlgili montaj hattı yönündeki istasyonun sahip olduğu uygun çalışılabilir süreyi gösterir, ($Side=0$, sol taraf istasyon için. $Side=1$, sağ taraf istasyon için)
C	Çevrim zamanı
tt_i	Her bir ‘ i ’ görevinin görev zamanıdır, $i \in \{1,2, \dots, n\}$
tf_i	Her bir ‘ i ’ görevinin tamamlanma zamanıdır, $i \in \{1,2, \dots, n\}$
$P(i)$	Her bir ‘ i ’ görevinin hemen öncülleri kümesidir
ST_{max}	Her iki montaj hattı yönüne ait toplam istasyon zamanlarından büyük olanını göstermektedir

Kısaltmalar Açıklama

MHD	Montaj hattı dengeleme
UMHD	U-tipi montaj hattı dengeleme
ÇMHD	Çift-tarafli montaj hattı dengeleme
ÇUMHD	Çift-tarafli U-tipi montaj hattı dengeleme
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. MHD Birincil Kısıtları	13
Tablo 1.2. MHD İkincil Kısıtları	13
Tablo 1.3. MHD Sınıflandırılması (Scholl,1999 ve Becker ve Scholl, 2006)	16
Tablo 1.4. MHD Problemlerinde Kullanılan Amaç Fonksiyonları	17
Tablo 2.1. U-tipi MHD Literatürü	30
Tablo 2.2. Çift- Taraflı MHD Literatürü	32
Tablo 3.1. Probleme ait Görev Matrisi	45
Tablo 3.2. Probleme ait Öncelik Matrisi	46
Tablo 3.3. Görev Seçim Prosedürü	52
Tablo 3.4. Pozisyon (X) değerlerini Güncelleme Yaklaşımı	54
Tablo 3.5. Önerilen Algoritmanın Sürü Yapısı	56
Tablo 3.6. Sürüdeki 3 Parçacığın 2 Adım Boyunca Hareketleri	59
Tablo 3.7. 5 adet İstasyon Bulunan Sonuç Yerleşimi	60
Tablo 4.1. Örnek Problemler	63
Tablo 4.2. Parametre ve Parametre Düzeyleri	63
Tablo 4.3. Sağ Çözüme ait ANOVA Sonuçları	64
Tablo 4.4. Sol Çözüme ait ANOVA Sonuçları	64
Tablo 4.5. Algoritma Parametre Değerleri	65
Tablo 4.6. Küçük Boyutlu Test Problemlerine Ait Sonuçlar	66
Tablo 4.7. Büyük Boyutlu Test Problemlerine Ait Sonuçlar	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bir Üretim Sisteminin Temel Elemanları.....	5
Şekil 1.2. Üretim Miktarına veya Akışına Göre Üretim Sistemleri	6
Şekil 1.3. Düz Montaj Hattı.....	9
Şekil 1.4. U-tipi Montaj Hattı.....	10
Şekil 1.5. Çift-terafı Montaj Hattı	11
Şekil 1.6. MHD Problemlerinin Sınıflandırması (Ghosh ve Gagnon, 1989).....	16
Şekil 1.7. Tek, Karma ve Çok Modelli Hatlar.....	17
Şekil 1.8. MHD Problemine Ait Çözüm Yöntemleri.....	18
Şekil 1.9. Öncelik Diyagramı	22
Şekil 1.10. Gölge Diyagram.....	22
Şekil 1.11. Tek Modelli ÇUMHD	23
Şekil 1.12. Montajın Giriş Kolundan Başladığı Durum	25
Şekil 1.13. Montajın Çıkış Kolundan Başladığı Durum.....	25
Şekil 1.14. Çift-terafı U-tipi Montaj Hattı	26
Şekil 3.1. PSO Algoritmasının Pseudo Kodu.....	41
Şekil 3.2. Değiştirilmiş-PSO Algoritmasının Genel Yapısı.....	44
Şekil 3.3. 12 Görevli Test Problemi Kim vd. (2000).....	45
Şekil 3.4. Algoritma Çözüm Prosedürü	49
Şekil 3.5. Bir Adet Geçişli-İstasyon Bulunan Çift-terafı U-tipi Montaj Hattı	51
Şekil 3.6. Dengelenmiş Çözüm	58
Şekil 3.7. Elde Edilen Sonucun Yerleşimi	60

GİRİŞ

Günümüzde dünya çapında yapılan üretimlerin önemli bir kısmı montaj hatlarında gerçekleştirilmektedir. Malzeme taşıma sistemleri vasıtasıyla birbirlerine bağlanmış istasyonlardan oluşan montaj hatları, üretilmesi amaçlanan ürün veya yarı ürünlerin bir üretim hattında bir araya getirilerek birleştirilmesi ve son aşamada amaçlanan ürün veya yarı ürünlerin elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. İlk montaj hattı örneğinin 1913 yılında Henry FORD tarafından geliştirildiğine inanılmaktadır (Erel, E. ve Sarin S.C., 1998). Akış tipi üretim sistemlerinden olan montaj hatlarında, montaj hattının etkin bir biçimde dengelenmesi yoğun rekabet ortamında faaliyet göstermek zorunda olan üretim işletmeleri için büyük bir önem arz etmektedir. Müşteri taleplerinin hızla değiştiği bu yoğun rekabet ortamında üretimin gerçekleştirildiği montaj hatlarını daha iyi dengeleyerek sistem etkinliğini arttıran imalat işletmeleri, rakiplerine rekabet üstünlüğü sağlayabilirler.

Bir montaj hattı dengeleme (MHD) işlemi, temelde görev olarak adlandırılan küçük iş parçalarının belirli kısıtlar altında istasyonlara atanması işlemidir. Bir ya da daha fazla sayıda amaca ulaşmak için yapılan bu atama işlemi belirli kısıtlar altında yürütülmektedir. Bu problemin ilk olarak Salveson (1955) tarafından matematiksel olarak tanımlanmasından günümüze kadar geçen süre içerisinde, MHD problemi ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak üretilen ürün modellerinin sayısı, kullanılan montaj hatlarının yerleşim şekli ve kontrol durumu ile görev zamanlarının farklı durumları ele alınmış ve böylece farklı montaj hattı yapıları ortaya konmuştur.

Düz montaj hatlarında öncülleri tamamlanmış görevler dizisi seri yerleşime sahip bir dizi istasyona atanarak birbirinin ardı sıra işlenmektedir. Ancak bu basit montaj hattı modeli, MHD problemlerinde karşılaşılabilecek farklı problemler için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle literatürde günümüze kadar farklı montaj hattı yapıları önerilmiştir. Esnek üretim felsefesinin etkisi ile doğan U-tipi montaj hattı dengeleme

(UMHD) problemi ilk olarak Miltenburg ve Wijngaard (1994) tarafından ortaya konmuştur. Hattın başlangıcı ile sonunun aynı yönde olduğu bu yapıda herhangi bir istasyonda hem öncülleri hem de ardılları tamamlanmış görevler işlenebilmektedir. Bu özellik hattın dengelenmesinde daha fazla alternatifin mümkün olmasını sağlayarak daha iyi sonuçların elde edilmesine imkan tanımaktadır. Ayrıca U şeklindeki bu model, işçi sayısı ve yerleşiminin daha kolay değiştirilebilir olmasından dolayı, değişen şartlara daha kolay uyum sağlayabilmektedir.

Düz montaj hatlarında montaj işlemi tek bir yönden yapılabilmektedir. Ancak, otomotiv ürünleri gibi büyük hacimli ürünlerin montajı sırasında bazı işlerin tek veya çift yürütülmesi gerekliliği, düz montaj hattı yapısının yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Montaj işlemlerinin karşılıklı olarak yerleştirilmiş iki eş-istasyondan oluşan bir dizi çift-istasyonda yürütüldüğü çift-terafı montaj hattı dengeleme (ÇMHD) problemi ilk olarak Bartholdi (1993) tarafından ortaya konmuştur. Çift-terafı hatlar düz hatlara göre; daha kısa montaj hattı, daha az montaj süresi, daha düşük araç-gereç maliyeti ve daha az taşıma maliyeti gibi avantajlara sahiptir (Kim et. al., 2009).

Montaj hattı dengeleme problemleri, kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin NP-Zor sınıfına girmektedir (Ajtenblit ve Wainwright, 1998). Bu bakımdan, başlangıçta matematiksel modeller ile çözülmeye çalışılan hat dengeleme problemleri, daha sonraları ele alınan problem boyutlarının büyümesi ve bu durumun da makul bir süre içerisinde optimum sonuçların elde edilmesini güçleştirmesi nedeniyle bu problemlerin çözümünde sezgisel yaklaşımlar kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, çift-terafı montaj hatlarını U şeklinde tasarlayarak bir montaj hattı yapısı önermek ve bu hattın etkin bir biçimde dengelenmesi için sezgisel bir çözüm yaklaşımı geliştirmektir. Bu çalışmada geliştirilen montaj hattı yapısı tek modelli bir ürüne göre tasarlanmış ve deterministik görev zamanları kullanılmıştır. Geliştirilen sezgisel çözüm yaklaşımının etkinliğinin ölçümünde literatürde yer alan test problemleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada ortaya konan sezgisel çözüm yaklaşımı, Kennedy ve Eberhart (1995)'ın kuş ve balık sürülerinin yiyecek aramasından esinlenerek geliştirdikleri PSO

algoritmasının değiştirilmiş yeni bir şeklidir. Değiştirilmiş-PSO olarak adlandırılabilir bu çözüm yaklaşımı, çift-terafı U-tipi montaj hattı dengeleme problemi için toplam istasyon sayısı ile toplam çift-istasyon (mated station) sayısını en aza indirmeye çalışmaktadır. Bu yeni sezgisel algoritmasının kodlanmasında Borland Delphi 7 programlama dili kullanılmıştır.

Tezin birinci bölümünde, çift-terafı U-tipi montaj hattı yapısı ele alınmıştır. Bu bölümde öncelikle üretim sistemi, üretim sistemlerinin sınıflandırılması ve montaj hatlarının bu sınıflandırmadaki yeri incelenmiştir. Daha sonra, montaj hattı kavramı, çift-terafı düz montaj hatları ve U-tipi montaj hatları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu bölümün son kısmında çift-terafı U-tipi montaj hattı ile ilgili temel kavramlar ve çift-terafı U-tipi montaj hattı yapısı detaylı bir şekilde incelenmiş ve çift-terafı U-tipi montaj hattı dengeleme (ÇUMHD) problemi tanımlanmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, öncelikle MHD problemine ilişkin daha sonra ise sırasıyla U-tipi montaj hatları ve çift-terafı montaj hatları ile ilgili literatür incelemesi tez çalışmasının sınırları dahilinde yapılmıştır. Ardından ÇUMHD problemi ile ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalardan ayrıntılı bir biçimde bahsedilmiştir. Bu bölümde son olarak MHD problemi için sezgisel çözüm yöntemleri ile ilgili literatür incelemesi yapılmıştır.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, öncelikle geleneksel PSO yapısı ve literatür bilgisi verildikten sonra ÇUMHD problemini çözmek için geliştirilmiş olan değiştirilmiş-PSO algoritması ayrıntılı bir biçimde ele alınmıştır. Model ile ilgili olarak geliştirilen yapılar ve algoritma adımları açıklanmıştır. Önerilen sezgisel çözüm yaklaşımı belirli bir çevrim zamanı için toplam istasyon sayısı ve toplam çift-istasyon sayısını en küçükleyecek şekilde çalışmaktadır. Örnek bir çözüm ile yeni çözüm yaklaşımının çalışma biçimi görselleştirilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde öncelikle, önerilen PSO algoritmasının performansını değerlendirmek için yararlanılan dördü küçük boyutlu, üçü ise büyük boyutlu olmak üzere toplam yedi adet literatür test problemi ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Ardından algoritmaya ait belirli parametreler için deney tasarımı yapılarak

elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Son olarak, ilgili test problemleri için önerilen algoritmanın elde ettiği sonuçlar tablolar halinde sunulmuş ve ayrıntılı bir değerlendirme yapılmıştır.

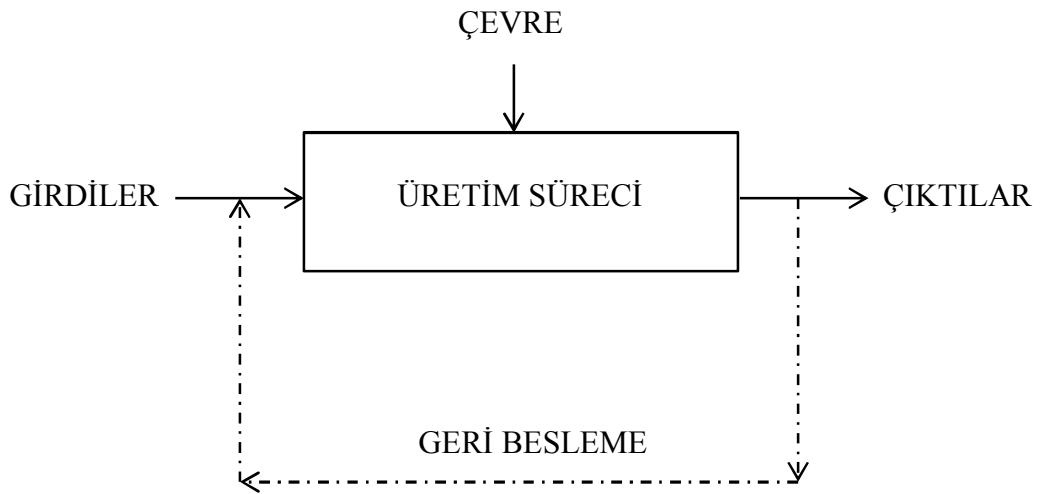
Çalışmanın sonuç bölümünde, önerilen ÇUMHD modeli ve bu modeli çözmek için geliştirilen yeni sezgisel çözüm yaklaşımı ile ilgili genel değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen bulgular ortaya konmuş ve çalışmadan elde edilen tecrübeler doğrultusunda ileriye yönelik yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

1. BÖLÜM

ÇİFT TARAFLI U-TİPİ MONTAJ HATLARI

1.1. Üretim Sistemleri

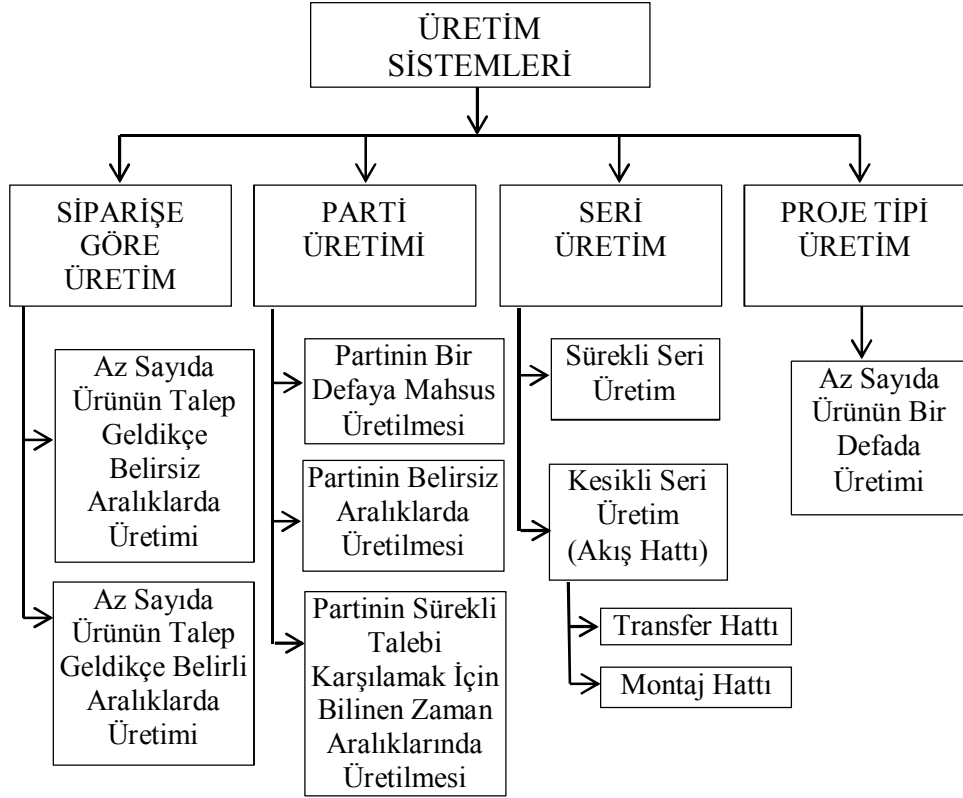
Üretim, girdilerin bir dönüştürme sürecinden geçirilmek suretiyle mal veya hizmet şeklinde bir değere dönüştürülmesi faaliyeti olarak tanımlanabilir (Heizer and Render, 2008). Genel anlamda bir sistem, belirli bir amacı gerçekleştirmek için birbirleri ve çevresi ile süreçlere dayalı olarak etkileşimde bulunan elemanlar bütünü olarak tanımlanabilir. Üretim sistemi ise, müşteri ihtiyaç ve talepleri doğrultusunda mal veya hizmet üretmek amacıyla gerekli girdilerin temin edilmesi, bu girdilerin üretim süreçlerinden geçirilerek çıktıya dönüştürülmesi ile üretim süreci ve müşterilerden gelen geri bildirimlerden oluşan bir bütün olarak tanımlanabilir. Kocu (2013), bir üretim sisteminin; girdiler, üretim süreci, çıktılar, çevre ve geri besleme olmak üzere beş elemandan oluştuğunu belirtmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Bir Üretim Sisteminin Temel Elemanları

Üretim sisteminde yer alan girdiler; hammadde, enerji, vb. olabilir. Bu konudaki yeni yaklaşım, daha önceden girdi olarak kabul edilen işgücü, makine ve bilgi gibi faktörlerin girdiden ayrılarak kaynak olarak tanımlanmasıdır. Bu ayrımda, üretim sürecine girerek değişime uğrayan veya harcanan varlıklar girdi, üretim sürecinde kullanılan ancak değişime uğramayan varlıklar ise kaynak olarak tanımlanmaktadır. Üretim süreci, üretim girdilerinin kaynak kullanılarak çıktıya dönüştürülmesini sağlayan bir dizi faaliyettir. Üretim sisteminin çıktıları ise mal veya hizmet olabilir. Üretim sisteminin diğer bir elemanı olan çevre ise müşteriler, tedarikçiler, hissedarlar, rakipler ve düzenleyici kuruluşlar gibi kontrol edilemeyen faktörlerden oluşmaktadır.

Üretim sistemleri; üretim yöntemleri, mamul cinsi, üretim miktarı veya üretim akışı gibi farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bu kısımda tezde ele alınan konu ile ilgisi bakımından sadece üretim sistemlerinin üretim miktarına veya akışına göre sınıflandırılması ele alınarak Şekil 1.2’de gösterilmiştir (Kobu, 2013).



Şekil 1.2. Üretim Miktarına veya Akışına Göre Üretim Sistemleri

Siparişe göre üretim; zaman, miktar ve kalite bakımlarından belirli bir müşterinin özel olarak istediği bir mamulün üretilmesi olarak tanımlanabilir. Bu üretim şeklinde üretilen ürün miktarı sayılabilecek kadar azdır. Parti tipi üretimde ürünler, belirli bir talebi ya da özel bir siparişi karşılamak için belirli miktarlardan oluşan partiler halinde üretilmektedir. Proje tipi üretimde ise tek bir mamul bir kez üretilmektedir ve herhangi bir akış söz konusu değildir.

Seri üretimde yüksek miktardaki talebin karşılanabilmesi için üretim miktarı da yüksek seviyede gerçekleşmektedir. Seri üretimin diğer özelliği de ürün çeşitliliğinin düşük olmasıdır. Seri üretimin, sürekli seri üretim ve kesikli seri üretim olmak üzere iki farklı türü vardır. Sürekli seri üretimde ürünler kendiliğinden akarken kesikli seri üretimde ürünler tek tek birimler halinde birbirini takip eden iş istasyonlarında gerekli işlemlerin yapılmasının ardından akarlar. Akış hattı olarak da bilinen kesikli seri üretim ise kendi içerisinde transfer hattı ve montaj hattı olmak üzere iki farklı türe ayrılmaktadır.

Seri üretim sistemleri dört ana kural üzerine kurulmuştur (Gökçen, 1994). Bunlar:

- **İş Akışı Prensibi:** Seri üretim sistemlerinde işin, malzemenin ve ürünlerin düzgün ve düzenli bir şekilde üretim tesisleri boyunca akmaları beklenmektedir.
- **İkame Edilebilen Parça Kullanımı:** Montaj hatları, ikame edilebilen (birbirinin yerine konulabilen) parçaların kullanımının çok önemli olduğu bir yapıdadır. Üretimde kullanılan yarı mamul ve parçaların beklenen doğruluk standartlarında olmasıyla; ana ürünü oluşturan parçalar birbirinin yerine kullanılabilir.
- **En Küçük Uzaklık Prensibi:** İş akışının sürekliliğinin sağlanması ve kullanım alanının en iyi şekilde değerlendirilmesi, büyük ölçüde, kullanılan akış modelinin akılcı ve etken olmasına bağlıdır. Bu durumda üretim merkezlerinin birbirine yakın olmaları, hareketli bantlar ve benzeri malzeme aktarım ekipmanları ile birbirine bağlanmış olmaları gereklidir.
- **İş Yükünün Bölünmesi:** İş yükünün bölünüp rasyonelleştirilmesi veya montaj hatlarında işgücünün bölünmesi, seri üretim sistemlerinin önemli özelliklerinden birisidir.

Ürün yapısına, ürün çeşitliliğine, müşteri taleplerine, işletmenin sahip olduğu teknolojik alt yapıya ve işletmenin stratejik hedeflerine bağlı olarak her işletme kendine özgü bir montaj hattı tasarlayabilir (Özcan, 2009). Bu bölümde, tez konusu ile yakından ilgili olan montaj hattı yapıları incelenerek tasarım ve kullanım açısından çift- taraflı U-tipi montaj hatlarından farklı oldukları yönler belirtilmektedir. Ayrıca tez konusunu oluşturan çift- taraflı U-tipi montaj hatları ile ilgili temel kavram ve tanımlamalar da detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Son olarak ÇUMHD problemi tanımlanarak önemli yönleri ayrıntılı bir biçimde ele alınmaktadır.

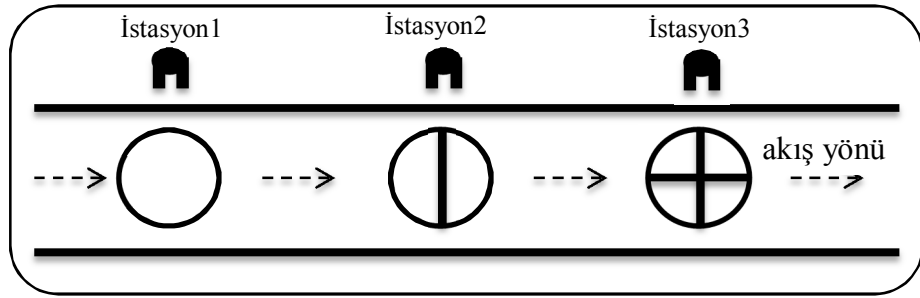
1.2. Montaj Hatları

Ürünler çoğunlukla belirli sayıdaki parçalardan oluşmaktadır. Genellikle bu parçalar da belirli sayıdaki alt parçanın bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Endüstrileşme süreci sonucunda ortaya çıkan; bir işin bileşenlerine ayrılarak farklı işçiler tarafından yapılması fikri üretimin seri (kitlesel) bir biçimde yapılabileceği düşüncesini ortaya koymuştur. Böylece malzemeler, üzerinde farklı iş istasyonlarının bulunduğu bir hat üzerinden geçirilerek üretim işlemi gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Malzemelerin, akış hattı boyunca işgücü veya donanımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; önceden belirlenmiş bir çevrim süresi içerisinde, aralarındaki öncelik ilişkisi kısıtı da göz önünde bulundurularak birleştirilmesiyle oluşturulan istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme montaj hattı denir. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler, ürün durumuna getirilecek yarı ürün önlerinden geçerken, kendilerine ait iş öğeleriyle ilgili belirli işlemleri yaparlar. Bu işlem sonucunda hatta giren parça ve yarı ürünler, gereken tüm işler yapılmış şekilde, hattın sonundan ürün olarak çıkarlar (Tanyaş, 2012).

Montaj hatları yüksek miktarda standartlaşmış ürünlerin endüstriyel üretimine özgü akış temelli üretim sistemleridir. Bu üretim hatları düşük hacimlerdeki farklı ürünlerin üretilmesinde de önem kazanmıştır. Montaj hatlarında bir ürünün montajı, birçok parça bileşen ve alt montajın bir araya getirilmesi ve bunların üzerinde bir takım işlemlerin yapılmasıyla gerçekleştirilmektedir (Gökçen, 1994).

Otomotiv gibi birçok endüstride montaj hatları yaygın olarak kullanılmaktadır ve pazar taleplerini karşılamak amacıyla genellikle yüksek hacimli düşük maliyetli

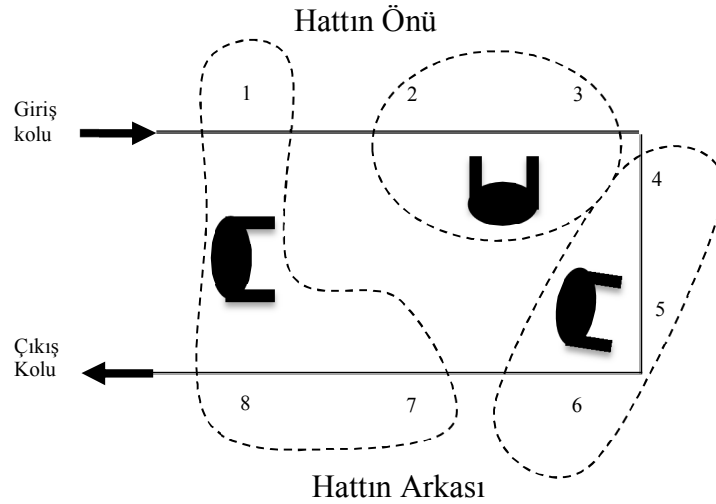
standartlaşmış homojen ürünlerin üretimi için tasarlanmıştır. Tipik bir düz montaj hattı, bir operatör tarafından çevrim zamanı olarak adlandırılan sınırlı bir zaman dilimi içerisinde görev olarak adlandırılan bir dizi iş parçasının periyodik olarak üzerinde yürütüldüğü bir dizi ardışık istasyondan oluşmaktadır. Her bir görev, görev zamanı olarak adlandırılan belirli bir zaman diliminde yürütülerek istasyondan istasyona taşınır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Düz Montaj Hattı

Düz montaj hatları, monoton ve sıkıcı işler, düşük düzeyde beceriye sahip operatörler ve üretim sisteminin duyarlılık ve kararlılığının hatalara ve talep değişim oranlarına bağımlılığı gibi dezavantajlara sahiptirler. Bu dezavantajlar neticesinde motivasyonu düşük operatörler, çeşitli kalite sorunları ve yüksek stok tutma zorunluluğu nedeniyle sabit çıktı oranı şeklinde bazı olumsuz sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Müşteri beklentileri, rekabet faktörleri ve teknolojik ilerlemeler sonucunda düz montaj hatlarının yetersiz kalması nedeniyle yeni montaj hattı yapıları geliştirilmiştir. Toyota firması ilk olarak tam zamanında üretim felsefesinin tam olarak uygulanabildiği U-tipi hat yerleşimini ortaya koymuştur. Düz montaj hatlarının yanı sıra U-tipi montaj hatları da endüstride yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. U-tipi montaj hatlarını düz montaj hatlarından ayıran temel özellik U-tipi hattın giriş ve çıkışının aynı yönde olmasıdır (Şekil 1.4). Bu yerleşimin en dikkat çekici ve önemli avantajı, üretim miktarındaki değişimlere adaptasyonda gerekli işçi sayısını değiştirebilme esnekliğini sağlayabilmesidir (Scholl and Klein, 1999).



Şekil 1.4. U-tipi Montaj Hattı

Düz montaj hatlarında operatörler taşıma bandı boyunca düz bir biçimde sıralanırken U-tipi montaj hatlarında ise operatörler montaj hattının önünde ve arkasındaki görevleri yapabilecek şekilde konumlandırılırlar. U-tipi hatlar tam zamanında üretim sisteminin önemli bir bileşeni olarak son zamanlarda çok popüler olmuştur. Tam zamanında üretim ilkelerinin üretim sürecine eklenmesi sonucunda birçok üretici üretim süreçlerini U şeklinde tasarladıkları montaj hatlarında yürütmektedir.

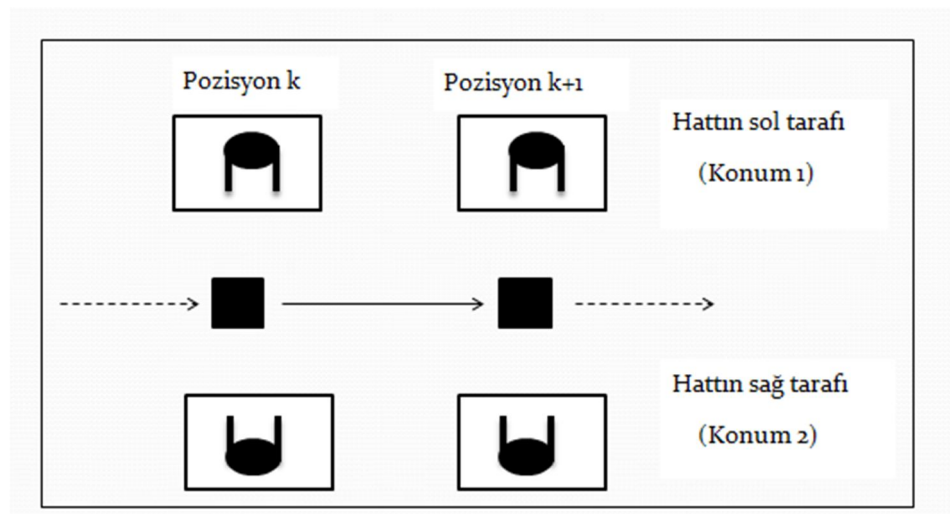
Düz montaj hatları ile kıyaslandığında U-tipi montaj hatları birçok faydaya sahiptir. Örneğin pazarda meydana gelebilecek değişimlere adapte olunması gereken durumlarda gerekli işçi sayısının artırılması ya da azaltılmasında çok fazla esneklik sağlamaktadır (Aigbedo and Monden, 1997). Ayrıca, U-tipi hatlar, firmanın dış çevresindeki değişimlere uyum sağlama çabaları ile problem çözmeyi kolaylaştırması ve operatör ihtiyacını azaltmasının yanında operatörler arasındaki iletişimi ve görülebilirliği de geliştirmektedir (Miltenburg 1998). U-tipi hatların etkin bir biçimde çalışabilmesi için operatörlerin pek çok operasyonu gerçekleştirebilecek yeterlilikte olması gerekmektedir.

Hattın başlangıcı ile sonunun aynı yönde olduğu U şeklindeki bu yapıda klasik istasyon yapısının yanı sıra, montaj hattının başlangıcındaki ve sonundaki iş istasyonlarının birleşmesiyle oluşan geçişli-istasyonlar da bulunabilmektedir. Bir geçişli-istasyonda hattın önünde öncülleri yapılmış bir yarı mamulün montaj görevi yapılırken, hattın

arkasında öncülleri tamamlanmış farklı bir yarı mamulün kalan diğer montaj görevleri yapılmaktadır. Atanabilir aday görevler belirlenirken hem öncülleri hem de ardılları atanmış görevler kullanıldığı için hattın dengelenmesi sırasında daha fazla alternatif ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle U-tipi montaj hatları, düz montaj hatlarına göre eşit ya da daha iyi dengelenmiş (daha az istasyon sayısı) sonuçlar ortaya koymaktadır.

Geleneksel olarak düz montaj hatlarının sadece tek bir tarafı kullanılabilir. Ancak otomotiv endüstrisinde olduğu gibi büyük boyutlu ürünlerin üretildiği birçok endüstride montaj hattının sol ve sağ tarafı paralel bir biçimde kullanılabilir şekilde tasarlanmaktadır. Bu türdeki bir üretim hattında iş parçasının etrafından dolaşmak daha fazla zaman kaybına neden olacağı için operatör hattın sadece bir tarafında (sol (L) ya da sağ taraf (R)) çalışmaktadır.

Bartholdi (1993), hattın karşılıklı taraflarında çalışan operatörlerin aynı parça üzerindeki görevleri eşzamanlı olarak yerine getirebildikleri çift-tarafli montaj hattı yapısını ortaya koymuştur (Şekil 1.5). Çift-tarafli montaj hatlarında bazı görevlerin hattın sadece tek bir tarafında yürütülmesi tercih edilebilirken (L-tip / R-tip görev) diğerleri ise her iki tarafta da (E-tip görev) yürütülebilmektedir. Çift-tarafli düz montaj hatlarında hattın sol ve sağ tarafında karşılıklı yer alan ve eş-istasyon olarak adlandırılan iki istasyon birlikte aynı çift-istasyon içerisinde paralel olarak kullanılabilir.



Şekil 1.5. Çift-tarafli Montaj Hattı

Bartholdi (1993), çift-terafli montaj hatlarının pratikte tek terafli montaj hatlarına kıyasla aşağıdaki özelliklere sahip olduğunu belirtmiştir:

- Daha kısa montaj hattı uzunluğu,
- Daha düşük malzeme taşıma maliyeti
- Daha az operatör hareketleri,
- Daha kısa hazırlık zamanları,
- Daha düşük toplam üretim zamanı,
- Daha düşük montaj araç-gereç maliyetleri,

Ayrıca aynı ürün ve aynı çevrim zamanı için bir çift-terafli montaj hattında ihtiyaç duyulan istasyon sayısı, tek terafli montaj hattı dengesi için gerekli istasyon sayısına daima eşit veya daha küçüktür (Bartholdi, 1993).

Bu montaj hattı yapıları dışında, istasyonların yükleme, boşaltma ve parçayı bir istasyondan diğerine aktarmak için dönebilen masanın etrafına kurulduğu ve kendi içinde tek-turlu ve çok-turlu olarak çeşitleri bulunan dairesel transferli montaj hatları, üretim sisteminin esnekliğini arttırarak hata duyarlılığının azalmasına neden olan, yerel çevrim zamanını arttırarak daha etkin dengeleme yapılabilmesine olanak sağlayan ve istasyon arızalarının daha iyi yönetilebilmesini sağlayan paralel montaj hatları ile mümkün olduğu sürece üretilen bütün ürünler için ortak bir hat düzeni oluşturmanın amaçlandığı asimetrik montaj hatları da literatürde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

1.3. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Ürün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin montaj istasyonlarına kayıp süreleri en aza indirecek şekilde atanması sürecine montaj hattı dengeleme denir (Tanyaş, 2012). Montaj hattı sisteminin birincil kısıtları altında bir performans ölçütünün optimize edileceği şekilde bir dizi görevin ard arda sıralanmış istasyonlara atanması problemi, montaj hattı dengeleme problemi olarak adlandırılmaktadır. Montaj hattı dengeleme işleminin yapılabilmesi için gerekli tüm görevler, bu görevlere ait görev süreleri ve aralarındaki öncelik ilişkileri belirli olmalıdır. Görevlerin herhangi bir istasyona atanması sırasında öncelik diyagramında gösterilen görevler arasındaki

öncelik ilişkilerinin korunmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca her bir istasyona atanan görevlerin toplam görev zamanları ve boş bekleme sürelerinin çevrim zamanını aşmaması gerekmektedir.

Görevlerin istasyonlara atanması sırasında göz önünde bulundurulacak birincil kısıtlar Tablo 1.1’de de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. MHD Birincil Kısıtları

	KISIT	TANIM
1	Atama Kısıtı	Bir görev sadece bir istasyona atanabilir.
2	Öncelik İlişkileri Kısıtı	Bir görevin belirli bir istasyona atanabilmesi için kullanılan montaj hattı yapısına bağlı olarak o görevin öncelik şemasındaki bütün öncelik ilişkileri sağlanmalı.
3	Çevrim Zamanı Kısıtı	Herhangi bir istasyonda yer alan görevlerin görev zamanları ve boş bekleme sürelerinin toplamı, ‘çevrim zamanı’ olarak adlandırılan süreyi aşamaz.

Birincil kısıtların yanında farklı montaj hattı yapılarında ele alınan ikincil kısıtlar ise Tablo 1.2’de listelenmiştir.

Tablo 1.2. MHD İkincil Kısıtları

	KISIT	TANIM
1	Konum Kısıtı	Montaj yapılan nesnenin konumu ile operatörlerin hattaki konumları arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.
2	Sabit Donanım Kısıtı	Montaj hatlarının bütünleşik parçaları olan tezgah ve test araçları gibi sabit donanımlar, değiştirilemez istasyonları oluşturmaktadır.
3	İstasyon Yüğü	Hattın başında olabilecek aksamaların, tüm hatta etkisini azaltabilmek için montaj hattında bazı istasyonların yüklerinin, çevrim süresinin %100’ünden az olmasının tercih edilmesidir.
4	Aynı İstasyona Atanma (Pozitif Bölgeleme) Kısıtı	Belirli görevlerin aynı ya da birbirini izleyen istasyonlara atanması gerekliliğidir.
5	Aynı İstasyona Atanmama (Negatif Bölgeleme) Kısıtı	Belirli görevlerin aynı ya da birbirini izleyen istasyonlara atanmaması gerekliliğidir.

MHD işleminde amaç, kurulan montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için; üretim süresi içinde her bir operatöre mümkün olan en az boş süre bırakılacak şekilde görevlerin istasyonlara atanması yani istasyonlar arasındaki işlem süresi farkları toplamının en aza indirilmesidir.

MHD problemlerinin kombinatoriyel en iyileme problemlerinin NP-Zor sınıfından olması nedeniyle (Gutjahr ve Nemhauser, 1964), problem boyutlarının artması en iyi sonuca ulaşmayı çok zor bir hale getirmektedir. Problem yapısındaki hesaplama karmaşıklığı NP-Zor tip bir problem olmasına neden olmaktadır. m görev ve r öncelik ilişkisinin bulunduğu bir problemdeki olası görev sıralaması $\frac{m!}{2^r}$ formülü ile hesaplanabilir (Baybars, 1986).

Literatürde MHD problemlerinin sınıflandırılmasına yönelik olarak birçok çalışmaya rastlanmaktadır (Baybars, 1986; Ghosh and Gagnon, 1989; Kim et.al.,1996; Erel and Sarin, 1998; Scholl, 1999; Scholl and Becker, 2006; Becker and Scholl, 2006; Rekiek and Delchambre, 2006; Boysen et al. 2007; Battaia and Dolgui, 2013, Sivasankaran and Shahabudeen, 2014).

Endüstriyel üretimdeki çok farklı şartlar nedeniyle, montaj hattı yapıları çok çeşitlilik göstermektedir. Montaj hatları için aşağıda listelenen çeşitli teknik ve organizasyonel açılardan farklı sınıflandırmalar yapmak mümkündür:

- Montajı yapılacak ürün sayısı,
- Hat kontrolü,
- Görev zamanlarındaki değişkenlik,
- Hat yerleşimi,
- Atama kısıtları,
- Otomasyon seviyesi,
- İstasyon türleri,

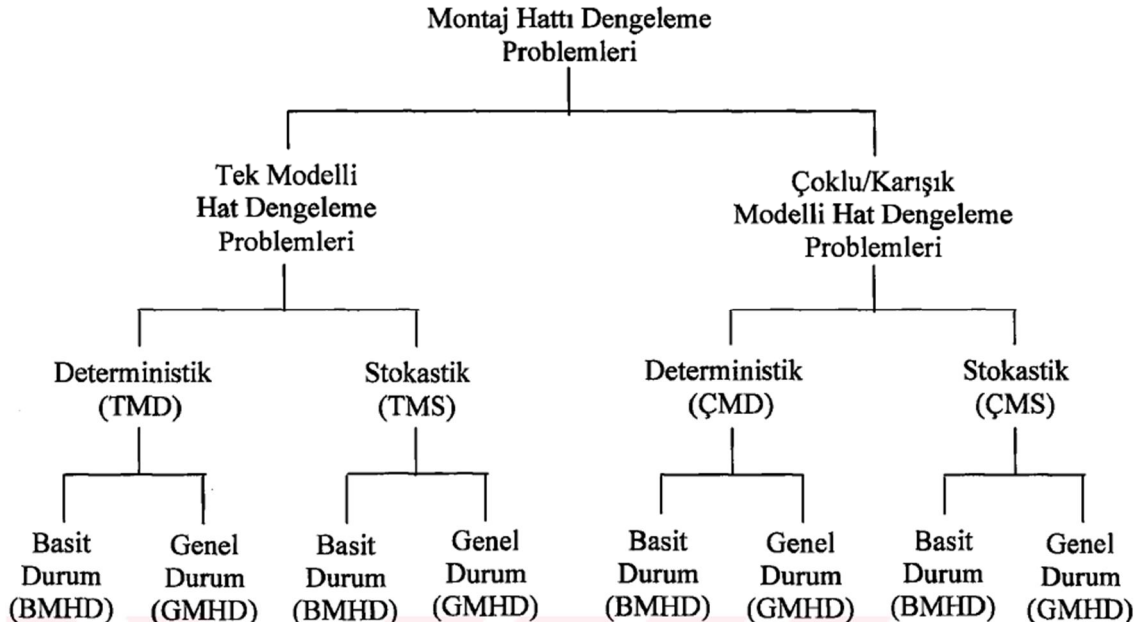
Montaj hatları, montajı yapılacak ürün sayısı bakımından tek modelli, çok modelli ve karma modelli olarak farklı sınıflara ayrılabilir. Hat kontrolü açısından adımlı ve adımlı

olmayan montaj hatları olarak sınıflandırılabilir. Görev zamanlarındaki değişkenlik açısından ele alındığında deterministik görev zamanlı, stokastik görev zamanlı ve dinamik görev zamanlı montaj hatları olarak sınıflara ayrılabilir. Montaj hattının yerleşimi açısından ise montaj hatlarını, düz montaj hattı, U-tipi montaj hattı, paralel montaj hattı, çift- taraflı montaj hattı ve beslemeli montaj hattı olarak farklı sınıflara ayırmak mümkündür.

Baybars (1986) deterministik modeller ve kesin çözüm yöntemleri üzerine yaptığı çalışmada MHD problemlerini, basit MHD problemi ve genel MHD problemi olmak üzere iki gruba ayırmıştır. Tek bir ürünün montajının yapıldığı basit MHD problemi yapısında deterministik (kesin) ve birbirinden bağımsız işlem sürelerine sahip görevler düz bir şekilde yerleştirilmiş tek yönlü ve özdeş istasyonlarda yürütülmektedir. Basit MHD probleminin bir uzantısı şeklinde olan genel MHD probleminde ise basit MHD probleminin sahip olduğu bazı varsayımlar genelleştirilmekte ya da kaldırılmaktadır. Eğer modele bir takım kısıtlamalar veya faktörler (paralel istasyonlar, bölgeleme kısıtları vb.) dahil edilirse, problem genel MHD problemine dönüşmektedir (Ghosh ve Gagnon, 1989). Ayrıca basit MHD yapısına göre günümüzde daha yaygın olarak kullanılan paralel, U-tipi ve çift- taraflı montaj hatları da genel MHD başlığı altında incelenmektedir.

Baybars (1986) tarafından yapılan sınıflandırma Ghosh ve Gagnon (1989) tarafından genişletilerek MHD problemleri öncelikle hatta üretilen ürün sayısının tek modelli veya çok/karma modelli olması bakımından iki alt başlık altında toplanmıştır. Yapılan bu sınıflandırmada her bir model ele alınan görev zamanları bakımından deterministik ve stokastik olmak üzere iki aşamada ele alınmış daha sonra ortaya çıkan her bir farklı sınıf da genel durum ve basit durum için ayrı ayrı ele alınmıştır.

Aşağıda yer alan Şekil 1.6'da MHD problemleri için Gosh ve Gagnon (1989) tarafından ortaya konmuş olan sınıflandırma görülmektedir:



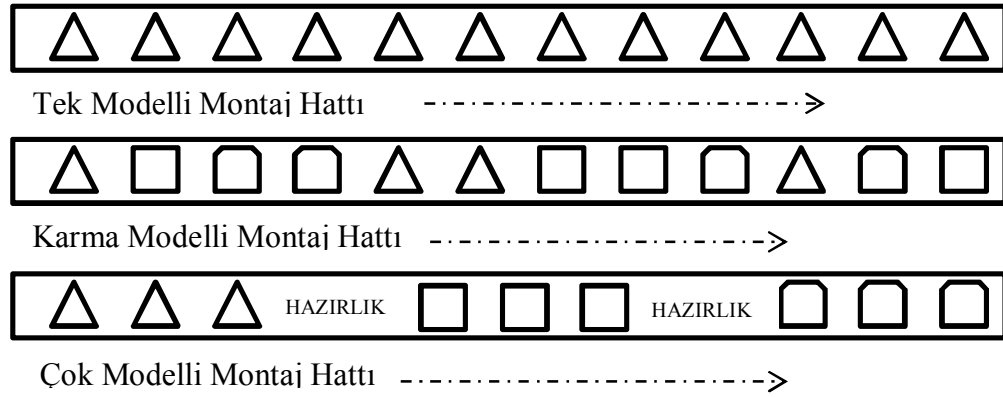
Şekil 1.6. MHD Problemlerinin Sınıflandırması (Ghosh ve Gagnon, 1989)

Ayrıca Scholl (1999) ile Becker ve Scholl (2006) da yaptıkları çalışmada montaj hatlarını Tablo 1.3'te görüldüğü gibi sınıflandırmışlardır.

Tablo 1.3. MHD Sınıflandırılması (Scholl,1999 ve Becker ve Scholl, 2006)

Tek Modelli MHD	Montaj hattı üzerinde tek tip ürün (model) üretilmektedir. Farklı istasyonlarda ürüne ait belirli görevler yürütülmektedir.
Karma Modelli MHD	Farklı müşteri beklentilerinin karşılanabilmesi için birden fazla benzer tipteki model aynı anda üretilmektedir. Farklı modellere ait temel işlemler birbirine oldukça benzemektedir.
Çok Modelli MHD	Farklı modeller birbirinden ayrı yığınlar halinde üretilmektedir. Her bir yığın için hat yeniden dengelenebilir. Partiler arasında hazırlık zamanları oluşabilmektedir.

Burada geçen montaj hattı yapıları grafiksel olarak Şekil 1.7'de gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Tek, Karma ve Çok Modelli Hatlar

MHD problemlerinde farklı amaç fonksiyonları kullanılmaktadır (Kim vd., 1999; Scholl ve Becker, 2006; Becker ve Scholl, 2006). Literatürde kullanılan yedi adet amaç fonksiyonu Tablo 1.4'te gösterilmiştir.

Tablo 1.4. MHD Problemlerinde Kullanılan Amaç Fonksiyonları

Tip-1 (Basit MHD-1)	Verilen bir çevrim zamanı için istasyon sayısının minimize edilmesidir.
Tip-2 (Basit MHD-2)	Verilen istasyon sayısı için çevrim zamanının minimize edilmesidir.
Tip-3 (Basit MHD-3)	İstasyon işyükleri arasındaki dengenin maksimize edilmesidir.
Tip-4 (Basit MHD-4)	Öncelik ilişkilerinin el verdiği ölçüde birbiriyle ilişkili görevlerin aynı istasyona atanması problemdir.
Tip-5 (Basit MHD-5)	Tip-3 ve tip-4'te kullanılan amaçların birlikte maksimize edilmesidir.
Tip-E (Basit MHD-E)	Çevrim zamanı ve istasyon sayısı arasındaki ilişkiyi dikkate alarak, bu iki amacın eş zamanlı olarak minimize edilmesiyle hat etkinliğinin maksimize edilmesidir.
Tip-F (Basit MHD-F)	Verilen bir istasyon sayısı ve çevrim zamanı birleşimi için uygun bir hat dengesinin mümkün olup olmadığının belirlenmesidir.

Meyers ve Stephens (2005) MHD'nin amaçlarını aşağıdaki başlıklarla listelemiştir:

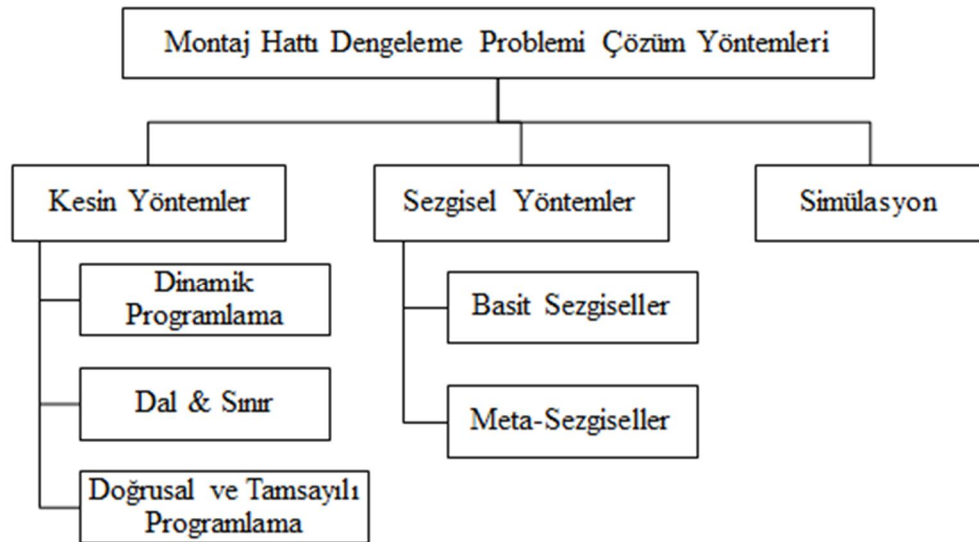
- İşçiler arasındaki işyükünü dengelemek,
- Darboğaz işlemlerini tanımlamak,
- Montaj hattının hızını belirlemek,
- İstasyon sayısını tespit etmek,

- İşçilik maliyetini belirlemek,
- Fabrika yerleşimine yardım etmek,
- Üretim maliyetini azaltmak,

1.4. Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Kullanılan Çözüm Yöntemleri

MHD problemleri için ortaya konan çözüm yöntemleri yaygın olarak iki kategoriye ayrılmıştır: kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler. Temel hat dengeleme problemi olan basit MHD problemi bile NP-Zor'dur. Bu nedenle, birçok hat dengeleme probleminde kesin metotlar ile optimal çözümü elde etmek için gerekli hesaplama zamanı, ele alınan örneğin boyutuyla üstel olarak artmaktadır. Sonuç olarak, geniş ölçekli durumlar ile baş edebilmek için sezgisel yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Ayrıca, montaj hattının dinamik karakterini belirleyebilmek için simülasyon yöntemi de kullanılmaktadır.

MHD problemleri için çözüm yöntemleri sınıflandırması (Rekiek and Delchambre, 2006) şekil 1.8'te gösterilmiştir.



Şekil 1.8. MHD Problemine Ait Çözüm Yöntemleri

1.4.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde dinamik programlama ve dal-sınır metotları gibi kesin çözüm yöntemleri kullanılmaktadır. Bunların dışında farklı matematiksel modellerden de yararlanılabilir. Literatürde aşağıda belirtilen matematiksel modeller kullanılmaktadır (Battaia and Dolgui, 2013):

- Karma tamsayılı programlama
- Doğrusal olmayan tamsayılı programlama
- Hedef ve bulanık hedef programlar
- Şans-kısıtlı programlar
- Kısıt memnuniyet programları

1.4.2. Sezgisel Yöntemler

Montaj hattı dengeleme probleminin NP-Zor olması nedeniyle, karar ortamında uygun zamanın çok sınırlı olduğu durumlar ya da geniş ölçekli örnekler için sezgisel yaklaşım metotlarının kullanımı kaçınılmazdır.

Yaklaşım metotları optimal çözümü garanti etmezler ancak genellikle kabul edilebilir uygun çözümleri yine kabul edilebilir çözüm süresi içerisinde elde edebilirler. Bu yaklaşımlar aşağıdaki şekildedir:

- **Basit sezgiseller:** Bu sezgisellerin hiç birisi optimal sonucu garanti edemez ancak elde edilen sonuçlar kabul edilebilir durumdadır. Bu metotlar arasında en yaygın olanları; Sıralanmış pozisyon ağırlığı (Ranked Positional Weight) tekniği (Helgeson and Birnie, 1961), Kilbridge ve Wester (1961), ile Moodie ve Young'a (1965) ait sezgisellerdir. Sıralanmış pozisyon ağırlığı yöntemi MHD problemlerinin çözümü için önerilen ilk sezgiseldir.
- **Meta-sezgiseller:** Bu yaklaşımlar çok sayıda optimizasyon yönteminin çözümünde kullanılabilir. Belirli bir probleme meta-sezgisel uygulamak için meta-sezgisel yapısını takip etmek gerekir. Bu metotlar hem çok sayıda hem de çeşitli olmasına rağmen şu sınıflara ayrılmıştır: Komşuluk metotları, Evrimsel yaklaşımlar ve Sürü zekası temelli meta-sezgiseller.

1.5. Çift- Taraflı U-tipi Montaj Hatları İle İlgili Temel Kavramlar

Tez çalışmasında ortaya konan çift-taraflı U-tipi montaj hattı yapısı hem çift-taraflı montaj hattının hem de U-tipi montaj hattının avantajlarını üzerinde barındırmaktadır. Düz montaj hatlarının temel özellikleri ile birlikte bu yeni hat yapısı hem çift-taraflı montaj hatlarının hem de U-tipi montaj hatlarının temel özelliklerini de taşımaktadır. Önerilen ÇUMHD yapısı ile ilgili temel kavramlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Montaj: Çeşitli parçaları bir araya getirerek tamamlanmış bir ürün ortaya koymaktır.

Görev: Ürün montajı için tamamlanması gereken toplam işin küçük bir parçasıdır. Ayrıca istasyonlarda yürütülen ve daha fazla bölünemeyecek kadar küçük olan işlem (operasyon) olarak da ifade edilebilir.

Görev Zamanı: Bir görevin yerine getirilmesi için gereken süredir.

İstasyon: Çift-taraflı U-tipi hatların giriş ve çıkış kollarının sağ ve sol taraflarına konumlandırılmış yapılması öngörülen toplam iş miktarının bir kısmının yerine getirildiği yerlerdir. Her istasyonda bir operatörün çalışabildiği varsayımı nedeniyle istasyon sayısı operatör sayısını da temsil etmektedir. Bu yapıda klasik istasyonlara ek olarak montaj hattının orta kısmında geçişli-istasyonlar da oluşabilmektedir.

Çift-istasyon: Çift-taraflı montaj hattı üzerine yerleştirilmiş karşılıklı istasyon çiftlerine çift-istasyon denir. Çift-istasyon sayısı montaj hattının uzunluğunu da temsil etmektedir.

İş yükü: Herhangi bir istasyona atanan görevler kümesini ifade etmektedir.

İstasyon zamanı: Herhangi bir istasyona atanan görevlerin görev sürelerinin toplamını ifade etmektedir.

Öncelik ilişkisi: Görevlerin hangi sırayla yürütülmesi gerektiğini belirten görev sırasını ifade eder.

Çevrim zamanı: Standart bir akış temposuyla bir üretim hattından tamamlanıp çıkan ardi ardına iki ürün arasındaki zaman farkıdır ve ‘C’ ile gösterilir. Bir diğér ifadeyle bir iş istasyonunda belirlenen görevlerin yerine getirilmesi için gerekli zamanı ifade eder. Çevrim zamanı montaj hattındaki en büyük görev zamanından daha küçük olmamalıdır.

Görev yönü: Çift-terafli montaj hatlarında bazı görevler hattın sadece tek bir tarafında yapılabilirler. Bu görevlere L-tipi (sol taraf) ve R-tipi (sağ taraf) görevler denir. Bazı görevler ise hattın herhangi bir tarafında yürütülebilirler. Bu görevlere ise E-tipi (her iki taraf) görevler adı verilir.

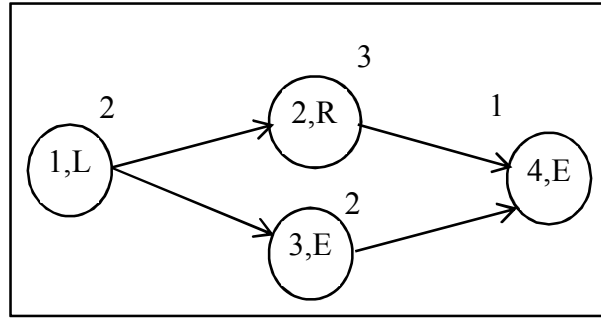
Başlangıç zamanı: Bir görevin tüm öncülleri tamamlandıktan sonra operasyon sırasına bağılı olarak yerine getirilmeye başlandığı zamanı ifade etmektedir.

Bitiş zamanı: Bir görevin operasyon sırasına bağılı olarak tamamlandığı zamanı ifade etmektedir. Başlangıç zamanı ile görev süresinin toplamı olarak da ifade edilebilmektedir. Bir görevin bitiş zamanı çevrim zamanından büyük olamaz.

Boş zaman: Çevrim zamanı ile istasyon zamanı arasındaki farktır. Çift-terafli montaj hatlarında boş zamanlar iki ardışık görev arasında, bir istasyondaki ilk görevden önce veya bir istasyondaki son görevden sonra ortaya çıkabilir.

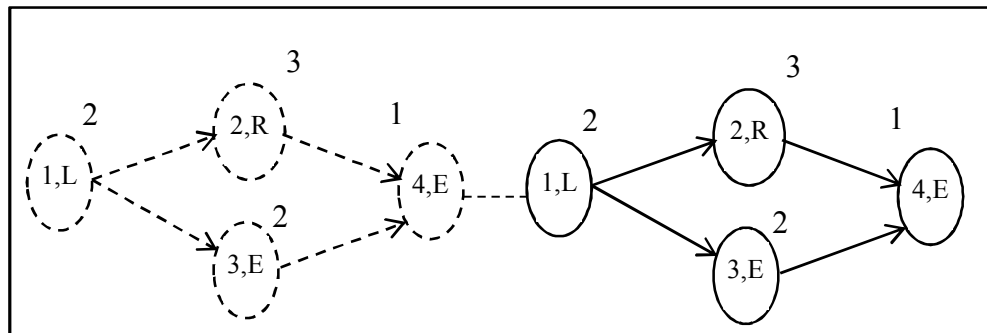
Operasyon sırası: Bir istasyona atanan görevlerin öncelik ilişkileri dikkate alınarak oluşturulan yerine getirilme sırasını ifade etmektedir.

Öncelik diyagramı: Görevler arasındaki öncelik ilişkilerini, görev zamanlarını ve görev yönlerini göstermede kullanılan bir şemadır. Şekil 1.9’da görev numaraları ve görev yönleri daire içerisinde, görev zamanları ise dairenin üst kısmında yer almaktadır. Örneğın 1 numaralı görevin görev yönü L (sol), görev zamanı ise 2 olarak verilmiştir. Öncelik diyagramında görevleri temsil eden düğümler, görev zamanları, görev yönleri ve öncelik ilişkisini belirten oklar bulunmaktadır.



Şekil 1.9. Öncelik Diyagramı

Gölge diyagramı: U-tipi hatlarda bulunabilen geçişli-istasyonlara görev ataması sırasında kullanılan, Urban (1998) tarafından ortaya atılan ve Şekil 1.10'da gösterilen gölge diyagram, orjinal diyagramın soluna görevlerin sondan başa doğru eklenmesi ile oluşmaktadır.



Şekil 1.10. Gölge Diyagram

1.6. Çift- Taraflı U-tipi Montaj Hattı Yapısı

Bu tez çalışmasında deterministik görev zamanlı, tek modellenli çift-taraflı U-tipi montaj hattı yapısı tasarlanmıştır. İki farklı montaj hattı yapısının birleştirilerek yeni bir montaj hattı yapısının ortaya konduğu bu çalışmada çift-taraflı montaj hatları ile U-tipi montaj hatlarının avantajlı yönlerinin bir araya getirilmesi amaçlanmıştır. Çift-taraflı montaj hatları ile U-tipi montaj hatlarının bir araya getirilmesi ile oluşturulacak olan yeni montaj hattı modeli, büyük boyutlu ürünlerin üretiminde etkin sonuçlar verecektir.

Montaj hatları için görevlerin sahip oldukları tüm öncelik ilişkileri öncelik diyagramı vasıtasıyla görselleştirilebilmektedir. Montaj hattının sahip olduğu özellikler nedeniyle ÇUMHD yapısı için gölge diyagram bulunan öncelik diyagramı kullanılmaktadır. Öncelik diyagramındaki her bir görev, U biçimindeki montaj hattı yerleşimine sahip olan her biri birbirine yüz yüze bakan (sol ve sağ istasyonlar) bir dizi çift-istasyon (mated-station) üzerinde yürütülmektedir. Örnek bir tek modelli ÇUMHD yapılandırması Şekil 1.11’de gösterilmiştir.

	Çift-istasyon 1			Çift-istasyon 2	
Sol-taraf (L)	Eş-İstasyon 1			Eş-İstasyon 3	
	p		h		<i>Atanmış görev(ler)</i>
Sağ-taraf (R)	i		r		<i>Atanmış görev(ler)</i>
	Eş-İstasyon 2			Eş-İstasyon 4	
Sağ-taraf (R)	Eş-İstasyon 8			Eş-İstasyon 6	
	<i>Atanmış görev(ler)</i>			<i>Atanmış görev(ler)</i>	
Sol-taraf (L)	<i>Atanmış görev(ler)</i>			<i>Atanmış görev(ler)</i>	
	Eş-İstasyon 7			Eş-İstasyon 5	
	Çift-istasyon 4			Çift-istasyon 3	

Şekil 1.11. Tek Modelli ÇUMHD

Şekil 1.11’de görev numaraları dikdörtgen şekillerin içerisindeki ilgili pozisyonlarda yer almaktadırlar. Taralı dikdörtgenler ise boş zamanları göstermektedir. İki karşılıklı birbirine bakan istasyon çifti çift-istasyon olarak adlandırılır (örneğin eş- istasyon1 ve 2) ve her birisi diğerinin eş-istasyonu olarak tanımlanır. ÇUMHD problemi dengelenirken aynı çift-istasyona atanmış görevler arasında engellenemeyen boş zamanlar oluşmaktadır. Bu durum çift-terafli montaj hatları ile düz montaj hatları arasındaki en önemli farklardandır. Bu durumun varlığı çift-terafli montaj hatlarını dengelemeyi daha da zorlaştırmaktadır. Örneğin, h ve p görevlerinin 1 numaralı istasyona atandığını, i ve r görevlerinin bu istasyonun eş-istasyonuna atandığını ve i görevinin h görevinin birincil öncülü olduğunu varsayarsak, h görevi i görevi tamamlanmadan başlayamayacak ve boş zaman oluşacaktır.

Bu yeni montaj hattı modeli, giriş ve çıkış kolu olarak adlandırılan karşılıklı iki paralel kola sahiptir. Her birisinin sol ve sağ pozisyona sahip olduğu bu iki kol (sol ve sağ) da montaj işlemi için eş zamanlı olarak kullanılmaktadır. Bir başka deyişle, bu montaj hattı yapısında görev atama işlemi için dört farklı konum mevcuttur.

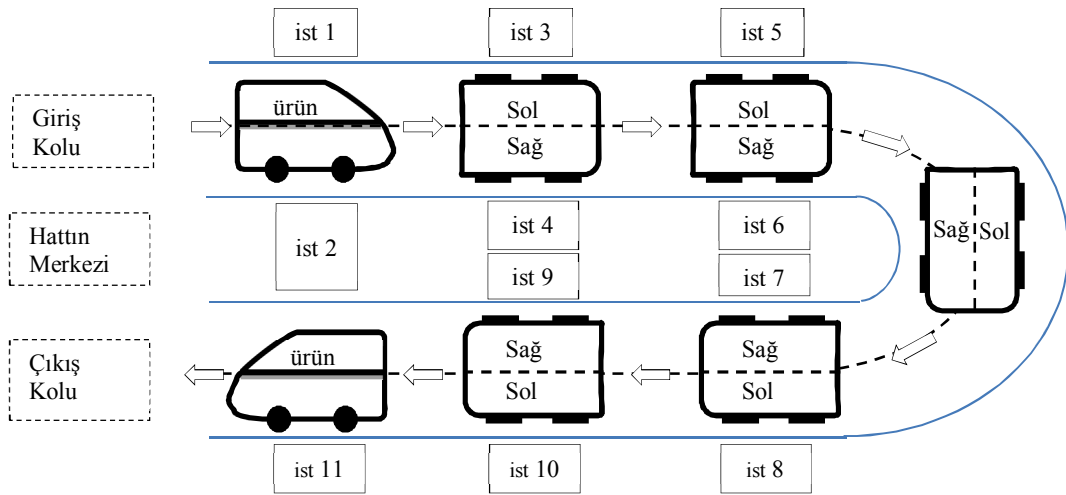
Çift-terafı düz montaj hatlarından ve geleneksel U-tipi montaj hatlarından farklı olarak, önerilen yeni montaj hattı modeli bazı yeni özelliklere sahiptir. Birinci özellik, montaj hattının herhangi bir kolundaki sol ve sağ tarafların bir birinden farklı özellikte olmasıdır. U şeklindeki bu yeni montaj hattının dışta kalan tarafları sadece çift-terafı montaj hattı özelliği (atanabilir görevler kümesi sadece öncülleri atanmış görevlerden oluşur) taşırken hattın içte kalan tarafları ise hem çift-terafı montaj hattı hem de U-tipi montaj hattı özelliği (atanabilir görevler kümesi öncülleri ya da ardılları atanmış görevlerden oluşur) taşımaktadır.

İkinci özellik ise, ürünün montajının yapılmaya başlandığı kola bağılı olarak farklı tiplerdeki görevlerin hattın merkezinde yürütülecek olmasıdır. Sırasıyla Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'de de görüldüğü gibi ürünün montaj hattına giriş kolundan girmesi durumunda R ve E tipi görevler montaj hattının merkezinde işlenebilir hale gelirken, çıkış kolundan girmesi durumunda ise L ve E tipi görevler montaj hattının merkezinde işlenebilir hale gelmektedir. Bundan dolayı ürünün montaj hattına giriş yaptığı kola bağılı olarak farklı çözümler elde edilebilmektedir. Bu durum çözüm aşamasında her iki farklı alternatifin de ele alınması gerektiği gerçeğini ortaya koymaktadır.

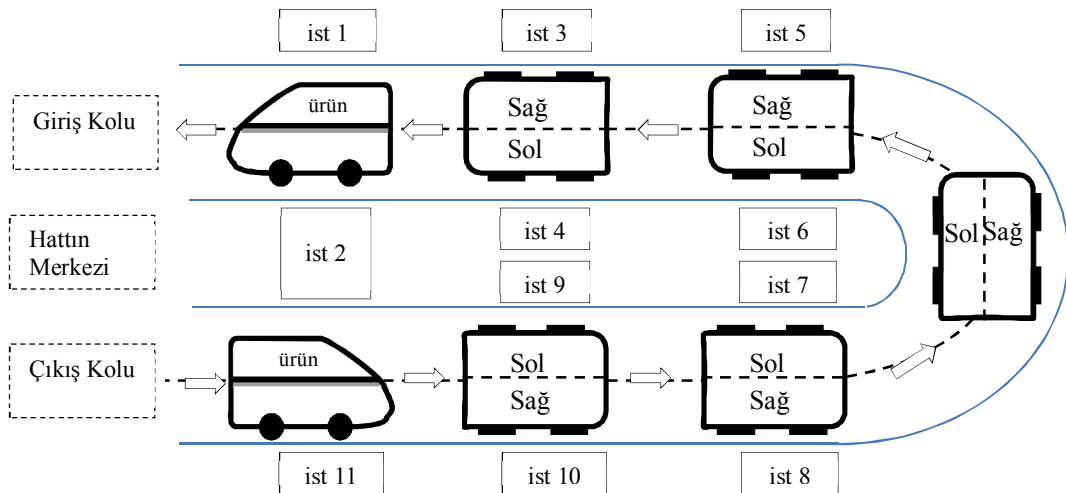
Montaj hattının merkezinin U-tipi montaj hattı özelliği taşıması nedeniyle atama işlemleri neticesinde geçişli-istasyonlar da oluşabilmektedir (Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'de görülen istasyon 2). Bu montaj hattı modelinde hattın ortasında yer alan konumların (Şekil 1.14 Konum 2 ve 3) U-tipi montaj hattı özelliği taşıması nedeniyle U-tipi montaj hattı kısıtlamalarına sahip olmasına ek olarak hattın her iki kolu da çift-terafı montaj hattı özelliği taşıması nedeniyle tüm konumlar (Şekil 1.14 Konum 1, 2, 3 ve 4) çift-terafı montaj hattı kısıtlamalarına sahiptir.

Çift-terafı düz montaj hattı yapısında belirli görevler görev yönlerine bağılı olarak hattın bir tarafında yığılmaya neden olabilmektedir. Bu durum görevlerin ağırlıklı olarak bir

yönde işlenmesi zorunluluğu söz konusu olduğunda karşımıza çıkmaktadır. Böyle bir durumda U-tipi tasarımın getirdiği avantajların etkisiyle, hattın daha iyi bir biçimde dengelenmesi mümkün olabilmektedir. Çünkü U-tipi montaj hatlarında istasyonlara atanacak aday görevlerin belirlenmesinde düz hatlardaki gibi öncülleri atanmış olan görevlerin seçilmesinin yanında ardılları atanmış olan görevler de seçilebilmektedir. Bu nedenle ilgili istasyona atanabilecek aday görev sayısı artmaktadır. Bu da oluşabilecek çözüm alternatifleri sayısını arttırmakta ve düz hatlara göre daha iyi çözümlerin elde edilmesi olasılığını ortaya çıkarmaktadır.



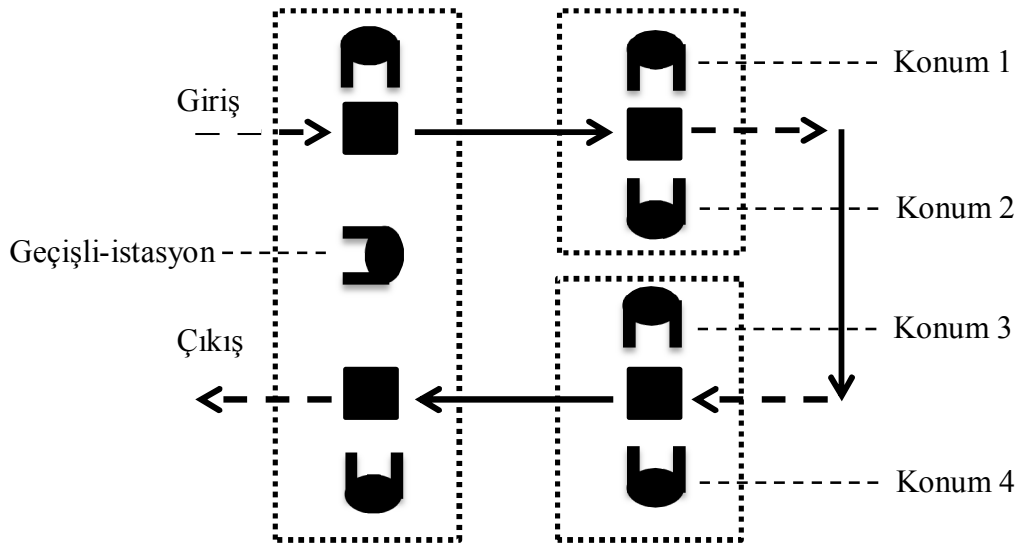
Şekil 1.12. Montajın Giriş Kolundan Başladığı Durum



Şekil 1.13. Montajın Çıkış Kolundan Başladığı Durum

Bunun yanında, geleneksel çift-terafli düz montaj hattının U şekline dönüştürülmesi ile daha kısa montaj hattı tasarımı elde edilmektedir. Böylelikle U-tipi hatların sahip olduğu avantajlar çift-terafli montaj hattı yapısında da elde edilmiş olmaktadır. Bu avantajlar istasyonların birbirlerine daha yakın olması nedeniyle görülebilirlik, çalışanlar arasındaki iletişim ve esnekliğin yeniden ayarlanabilmesi olarak sıralanabilir.

Ortaya konulan tüm bu durumlar her iki montaj hattı yapısının birleşimi ile oluşturulacak olan ve Şekil 1.14’de görülen ÇUMHD modelinin daha iyi çözüm sonuçları elde edeceğini göstermektedir.



Şekil 1.14. Çift-terafli U-tipi Montaj Hattı

1.7. Çift-terafli U-tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Çift-terafli U-tipi montaj hattı dengeleme problemi, belirli kısıtlar altında belirli bir çevrim zamanı için U şeklinde tasarlanmış çift-terafli montaj hattındaki çift-istasyon sayısını en küçükleyecek şekilde görevlerin istasyonlara atanması olarak tanımlanabilir. Ancak burada unutulmaması gereken aynı çift-istasyon sayısına sahip iki farklı çözümdeki toplam istasyon sayısının birbirinden farklı olabileceği gerçeğidir. Bu nedenle ÇUMHD problemi çözülürken çift-istasyon sayısı ile birlikte toplam istasyon sayısının da en küçüklenmesi gerekmektedir.

ÇUMHD probleminde görev yönü kısıtı bulunmaktadır. Bazı görevler hattın solunda ya da sağında işlenebilirken diğerleri her iki yönden birinde de işlenebilmektedir. Ayrıca aralarında yakın öncelik ilişkisi bulunan görevlerin aynı çift-istasyona atanması boş zamanlara neden olabilmektedir. Bu özellikler düz montaj hatlarına oranla ele alınan problemin çözümünün daha zor olmasına neden olmaktadır.

Önerilen yeni ÇUMHD yapısı, UMHD ve ÇMHD yapılarının özelliklerine sahip olmasına ek olarak montaj hatlarının konumuna bağlı olarak bazı farklı özelliklere de sahiptir. Bu da ortaya konan problemin daha zor olmasına neden olmaktadır. Örneğin ÇUMHD probleminde U şeklindeki montaj hatlarının dış tarafı (Şekil 1.14’de Konum 1 ve 4) ile merkezi (Şekil 1.14’de Konum 2 ve 3) birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Montaj hattının orta kısmında yer alan istasyonlar, dıştaki istasyonlardan farklı olarak U-tipi montaj hattı özellikleri de taşımaktadır. Bu nedenle ürün montajının yapılmaya başlandığı kola (giriş ya da çıkış kolu) bağlı olarak merkezdeki istasyonlara atanabilecek aday görevler kümesi değişmektedir. Bu durum çok farklı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. En iyi sonuca ulaşabilmek için problem her iki alternatif durum için de ayrı ayrı çözülmektedir.

MHD problemlerinin boyutlarının büyümesi nedeniyle ele alınan arama uzayı çok genişlemektedir. Bu durum kesin çözüm yöntemleri kullanılarak kabul edilebilir süreler içerisinde arzu edilir çözümlerin elde edilememesine neden olmaktadır. Gerçek yaşam şartlarının getireceği çeşitli kısıtlama ve durumlar da düşünüldüğünde oluşan karmaşık durum nedeniyle ÇUMHD probleminin çözümünün çok daha zor olacağı anlaşılmaktadır. Son zamanlarda MHD problemlerini çözmek için sezgisel çözüm yaklaşımları yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Kuş ve balık sürülerinin davranışlarından esinlenerek Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından önerilen PSO algoritması başlangıçta sürekli problemler için geliştirilmiş bir optimizasyon tekniği olsa da son zamanlarda kesikli kombinatoriyel problemlerin çözümünde de yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Ancak temel PSO algoritmasının erken yakınsama problemlerine sahip olması optimum çözümlere ulaşmayı engelleyebilmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında sahip olduğu erken yakınsama sorununu ortadan kaldırmak için temel PSO algoritmasının yapısında bazı değişiklikler yapılarak yeni bir değiştirilmiş-

PSO algoritması ortaya konmuştur. ÇUMHD probleminin çözümü için önerilen yeni çözüm yaklaşımı kullanılmıştır.

1.8. Problem Varsayımları

Tez çalışmasında ÇUMHD problemi için yeni bir değiştirilmiş-PSO algoritması önerilmiştir. Ele alınan ÇUMHD problemi aşağıdaki varsayımlara sahiptir:

- Montaj hattında tek model üretilmektedir.
- Operatörler U hattının her iki tarafında görevleri paralel olarak yürütürler. Aynı pozisyonda, hattın ortasında geçişli-istasyonlara izin verilmektedir.
- Bazı görevler sadece hattın belirli bir tarafında (sol ya da sağ) yürütülebilirken diğerleri her iki tarafta da yürütülebilirler.
- Görev zamanları deterministiktir ve atandıkları istasyondan bağımsızdırlar.
- Operatör hareket/yer değiştirme zamanları ihmal edilmektedir.
- Paralel görevlere ve paralel istasyonlara izin verilmemektedir.
- Ara stok kullanımına izin verilmemektedir.

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Montaj hatlarının dengelenmesi düşüncesi ilk olarak Bryton (1954) tarafından ortaya konmuştur. Montaj hatlarının dengelenmesi konusunda yayınlanmış ilk bilimsel çalışma Salveson (1955) ' a aittir. Salveson, tek modelli ve deterministik görev zamanlı düz Montaj Hattı Dengeleme problemini matematiksel model şeklinde düzenleyerek bir doğrusal programlama çözümü önermiştir. Jackson (1956) basit montaj hattı dengeleme problemi için numaralandırma yöntemini geliştirmiştir. Ayrıca literatürde Bowman (1960), Helgeson ve Birnie (1961), Hoffman (1963), Gutjahr ve Nemhauser (1964), Patterson ve Albrecht (1975), Talbot ve Patterson (1984), Baybars (1986a ve 1986b), Johnson (1991), Ghosh ve Gagnon (1989), Hoffman (1992), Boctor (1995), Erel ve Sarin (1998), Scholl (1999) Lapierre ve Ruiz (2004) ile Scholl ve Becker (2006)' a ait çalışmalar yer almaktadır.

Montaj hattı literatüründe stokastik görev zamanı, paralel istasyon, kaynak kısıtı ve hazırlık zamanı gibi birçok gerçek yaşam durumu da incelenmiştir (Baybars, 1986; Ghosh and Gagnon, 1989; Erel and Sarin, 1998; Scholl and Becker, 2006; Becker and Scholl, 2006; Boysen et al., 2007; Battaia and Dolgui, 2013; Sivasankaran and Shahabudeen, 2014).

Bu tez çalışması tek modelli, deterministik görev zamanlı, çift- taraflı U-Tipi MHD problemlerine yönelik olduğundan, çalışmadaki temel başlıklarda “deterministik görev zamanlı” ve “tek modelli” ifadeleri kullanılmamıştır. Yapılan literatür araştırmasının kapsamı da deterministik görev zamanlı MHD problemleri ile sınırlandırılmıştır. Bu nedenle yapılan literatür araştırması, öncelikle deterministik görev zamanlı UMHD problemleri ile deterministik görev zamanlı ÇMHD problemlerine yönelik yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Ardından da ÇUMHD problemi ile ilgili kapsamlı literatür

incelemesi verilmektedir. Son olarak ise MHD ile ilgili literatürde önerilmiş sezgisel çözüm yöntemlerinden bahsedilmektedir.

2.1. U-Tipi MHD Problemi İle İlgili Literatür Araştırması

U-tipi montaj hattı dengeleme konusunda yapılan ilk çalışma Miltenburg ve Wijngaard'a (1994) aittir. Ayrıca Ohno ve Nakade (1997), Urban (1998), Sparling ve Miltenburg (1998), Miltenburg (1998), Scholl ve Klein (1999), Cheng vd. (2000), Miltenburg (2000), Erel vd. (2001), Miltenburg (2001), Ağpak ve Gökçen (2001), Ağpak ve Gökçen (2002), Miltenburg (2002), Gökçen vd. (2005), Gökçen ve Ağpak (2006), Kim vd. (2006), Urban ve Chiang (2006), Toklu ve Özcan (2008), Hwang vd. (2008), Sabuncuoğlu vd. (2009), Hwnag ve Katayama (2009), Kara ve Tekin (2009) UMHD için yapılan çalışmalardan bazılarıdır. UMHD ile ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalar yazar, yöntem ve problem özellikleri bakımından Tablo 2.1'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. U-tipi MHD Literatürü

Yazar(lar)	Yöntem	Problem Özellikleri
Miltenburg ve Wijngaard (1994)	Dinamik Programlama & (RPWT) Sezgiseli	Tip 1
Miltenburg (1998)	Dinamik Programlama, Tesis Yerleşimi, Çoklu U-Hattı	Tip 1 ve Çelişen Amaçlar
Sparling and Miltenburg (1998)	4-aşamalı Kestirim Çözüm Algoritması (Matematiksel-Sezgisel)	Tip1, Düzgün İş Yükü Dağılımı
Ajenblit ve Weinwright (1998)	Genetik Algoritma	Tip 1
Urban (1998)	Matematiksel Model	Tip 1
Scholl ve Klein (1999)	Dal-sınır Temelli Sezgisel (ULINO)	Tip E (Hat Etkinliği)
Kim ve ark (2000b)	Yapay-zeka Arama Tekniği (Birlikte Gelişim Algoritması)	Tip-1 (Karma-model)
Erel ve ark. (2001)	Tavlama Benzetimi Temelli Yaklaşım	Tip 1
Miltenburg (2002)	Genetik Algoritma	Karma-model, Düzgün iş yükü dağılımı
Aase ve ark. (2003)	Dal-sınır Prosedürü (UOPT)	Tip 1
Aase ve ark. (2004)	Matematiksel Model / Dal Sınır Algoritması	Tip 1
Martinez and Duff (2004)	10 Sezgisel Kurallı Genetik Algoritma	Tip 1
Gökçen ve ark. (2005)	Matematiksel Model (En Kısa Yol Formülü)	Tip 1

Tablo 2.1'in Devamı

Gökçen ve Ağpak (2006)	Tamsayılı Programlama Temelli Hedef Programlama	Çok Kriterli Karar Verme
Kim et al. (2006)	Endosimbiyotik Gelişim Algoritması	Düzenli İş Yükü Dağılımı
Baykasoğlu (2006)	Tavlama Benzetimi Algoritması	Çok Amaçlı
Kara et al. (2007)	Tavlama Benzetimi Algoritması Temelli Yaklaşım	Tip 1, Karma-model, Düzenli İş Yükü Dağılımı
Hwang ve ark. (2008)	Genetik Algoritma	Çok Amaçlı
Baykasoğlu ve Dereli (2009)	Karınca Kolonisi Algoritması	Tip 1
Özcan ve Toklu (2009)	Sezgisel Algoritma	Tip 1
Sabuncuoğlu ve ark. (2009)	Karınca Kolonisi Algoritması	Tip 1
Hwang and Katamaya (2009)	Genetik Algoritma	Tip 1, Karma-model, Düzenli İş Yükü Dağılımı
Zhang & Cheng (2010)	Bulanık Tamsayılı Programlama	Tip 1
Kazemi et al. (2011)	Matematiksel Model ve Genetik Algoritma	Tip 1, Karma-model
Hamzadayi & Yıldız (2012)	Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi	Tip 1, Karma-model
Nourmohammadi et al. (2014)	Yayılmacı Rekabetçi Algoritma (ICA)	Çok Amaçlı

2.2. Çift-taraflı MHD Problemi İle İlgili Literatür Araştırması

Çift-taraflı montaj hattı ile ilgili ilk çalışma Bartholdi (1993) tarafından yapılmıştır. Literatürde çift-taraflı montaj hatları üzerine birçok çalışma bulunmaktadır (Kim et al. 2000, Lee et al. 2001, Lapierre and Ruiz 2004, Baykasoğlu and Dereli 2008, Hu et al. 2008, Wu et al. 2008, Simaria and Vilarinho 2009, Kim et al. 2009, Özcan and Toklu 2009a-c, Özcan et al. 2010, Özcan and Toklu 2010, Özcan 2010, Xiaofeng et al. 2010, Özbakir and Tapkan 2010, Özbakir and Tapkan 2011, Chutima and Chimklai 2012, Rabbani et al. 2012, Roshani et al. 2012, Tapkan et al. 2012a-b, Purnomo et al. 2013, Chutima and Jitmetta 2013, Yuan et al. 2013, Khorasanian et al. 2013, Kucukkoc and Zhang 2014, Chutima and Naruemitwong 2014, Wang et al. 2014, Li et al. 2014, Aghajani et al. 2014).

ÇMHD ile ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalar yazar, yöntem ve problem özellikleri bakımından Tablo 2.2’de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Çift-taraflı MHD Literatürü

Yazar(lar)	Yöntem	Problem Özellikleri
Bartholdi (1993)	Kullanıcı Etkileşimli Program ve Bir Atama Kuralı	ÇMHDP – 1
Kim ve ark. (2000)	Genetik Algoritmalar	ÇMHDP - 1 (Pozisyon Kısıtlı)
Lee ve ark. (2001)	Grup Atama Prosedürü	ÇMHDP - 1, ÇMHDP -2
Lapierre & Ruiz (2004)	Öncelik-temelli Sezgisel	ÇMHDP - 1
Baykasoglu ve Dereli (2008)	Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması	ÇMHDP - 1 (Bölgeleme Kısıtlı)
Hu ve ark. (2008)	Sezgisel (İstasyon-temelli Numaralandırma Algoritması)	ÇMHDP - 1
Wu ve ark. (2008)	Dal-sınır Algoritması	ÇMHDP – 1
Simaria ve Vilarinho (2009)	Matematiksel Model ve Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması	ÇMHDP - 1 (Karma-modelli Üretim)
Kim ve ark. (2009)	Matematiksel Model, Genetik Algoritmalar	ÇMHDP – 2
Özcan ve Toklu. (2009a)	Matematiksel Model	ÇMHDP - 1 ve ÇMHDP - 2 (Çok Amaçlı Yaklaşım)
Özcan ve Toklu. (2009b)	Tabu Araması Algoritması	ÇMHDP - 5 (Hat Etkinliği ve Düzgünlük İndeksi)
Özcan ve Toklu (2009c)	Matematiksel Model, Tavlama Benzetimi	ÇMHDP - 1 (Karma-modelli Üretim)
Özcan et al. (2010)	Tabu Arama Algoritması	ÇMHDP - 1 (Paralel Çift-taraflı Montaj hattı)
Xiaofeng et al. 2010	Dal-sınır Algoritması	ÇMHDP – 1
Özcan and Toklu (2010)	Matematiksel Model ve 2-COMSOAL/S Sezgiseli	ÇMHDP - 1 (Hazırlık Zamanlı)
Hu et al. (2010)	Dal-sınır Yaklaşımı	ÇMHDP – 1
Özbakir and Tapkan 2010	Arı Algoritması	(Bulanık Çok Amaçlı)
Özbakir and Tapkan (2011)	Arı Algoritması	ÇMHDP – 1 (Bölge Kısıtlı)

Tablo 2.2'nin Devamı

Taha et al. (2011)	Genetik Algoritma	ÇMHDP – 1
Roshani et al. (2012)	Matematiksel Model ve Tavlama Benzetimi Algoritması	ÇMHDP - 1 (Maliyet-Yönelimli)
Tapkan et al. (2012a)	Arı Algoritması ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması	ÇMHDP - 1
Chutima and Chimklai (2012)	Parçacık Sürü Algoritması (Negatif Bilgi Temelli)	Çok Amaçlı (Çelişen Amaçlar-Pareto)
Tapkan et al.2012b	Arı Algoritması	Bulanık Çok Amaçlı
Purnomo et al. (2013)	Sezgisel ve İteratif FFR Kuralı	ÇMHDP - 2
Chutima and Jitmetta 2013	Biyogeografi Temelli Algoritma	Çok Amaçlı (Hazırlık Zamanı ve Yardımcı Faaliyet Minimizasyonu)
Yuan et al. 2013	Tepe Tırmanma Algoritması / Tamsayı Programlama	ÇMHDP - 1 (Çok Kısıtlı)
Khorasanian et al. 2013	Tavlama Benzetimi	ÇMHDP – 1 ve Görevler Arası Uyum
Kucukkoc and Zhang 2014	Ajan Temelli Karınca Koloni Algoritması	Çok Amaçlı (Karma-modelli, Paralel)
Chutima and Naruemitwong 2014	Bir Pareto Biyogeografi Temelli Algoritma	Çok Amaçlı (Öğrenme Etkili)
Wang et al. 2014	Bir Hibrit Yayılımcı Rekabetçi Algoritma / Gecikme Kabullü Tepe Tırmanma (LAHC) Algoritması	ÇMHDP – 1 (İşçi Sayısı Ve Görev Kısıtları)
Li et al. 2014	Öğretme-Öğrenme Temelli Algoritma	Çok Amaçlı
Aghajani et al. 2014	Tavlama Benzetimi	Robotik Karışık Modelli ÇMHDP –II

2.3. Çift-terafı U-Tipi MHD Problemi İle İlgili Literatür Araştırması

Son yıllarda U-tipi hatlar ve çift-terafı hatlar düz hatlara göre çeşitli avantajlara sahip olmaları nedeniyle yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar. ÇUMHD problemleri ile ilgili şu ana kadar yapılan çalışmalar çok sınırlı miktardadır.

İlk olarak Yegül vd. (2010) her iki hattın avantajlı yönlerini bir araya getirmek amacıyla hibrit bir tasarım ortaya koymuşlar ve bu hat yapısı için bir çözüm prosedürü

geliştirmişlerdir. Çalışmalarında giriş kolu çift-terafli, çıkış kolu ise düz biçimde olan ve U şeklinde tasarlanmış bir montaj hattı yapısını ortaya koymuşlardır. Giriş kolundaki operatörler hattın her iki tarafında bulunurken çıkış kolundaki operatörler ise hattın iç kısmına yerleştirilmişlerdir. Bu tasarımda görevlerin atanabileceği 3 farklı pozisyon bulunmaktadır. Yegül vd. toplam istasyon sayısını minimize etmek için çok-geçişli rastgele atama hat dengeleme algoritması önermişlerdir. Önerdikleri algoritma görevlerin sıralanması ve çizelgelenmesini de sağlamaktadır. Ayrıca hattın hangi yönünün U-tipi hat özelliği taşımasına bağlı olarak farklı dengeleme çözümlerinin ortaya çıktığını ve bunlardan daha küçük olanın çözüm olarak belirlendiğini belirtmişlerdir.

Rabbani vd. (2012) çoklu U şeklinde yerleşime sahip karma modelli, çift-terafli montaj hatları için bir karma tamsayılı programlama modeli formüle etmişlerdir. Ayrıca problemi çözmek için genetik algoritma temelli bir sezgisel önermişlerdir. U şeklinde tasarlanmış çift-terafli montaj hatlarının dış kısımlarının yeterli etkinliğe ve esnekliğe sahip olmaması nedeniyle bu hatların çoklu U yapısında tasarlanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ağpak vd. (2012) ise çift-terafli montaj hatlarının U şeklinde tasarlanarak bu iki montaj hattı yapısının avantajlı yönlerinin tam manasıyla bir araya getirildiği yeni bir montaj hattı yapısını ortaya koymuşlardır. Çift-terafli düz bir montaj hattına göre daha geniş ancak daha kısa bir yapıda olan bu modelde hattın giriş ve çıkış kollarının her ikisi de çift-terafli montaj hattı yapısındadır. Tasarımlarında görevlerin atanabileceği 4 farklı pozisyon bulunmaktadır. Bölgesel kısıtların da bulunduğu çalışmalarında MHD problemini çözmek için iki amaçlı 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir.

Literatürde MHD problemlerine çözüm getirmek için çeşitli meta-sezgiseller geliştirilmiştir. Petropoulos ve Nearchou (2011) geniş montaj hatlarının çok amaçlı olarak dengelenmesinde PSO algoritması kullanmışlardır. Hat dengeleme istekliliğinin birden çok performans kriteri kullanarak değerlendirilmesi şeklindeki bir MHD yapısı için PSO algoritması geliştirmişlerdir.

Nearchou (2011), basit MHD için PSO-temelli yeni bir yöntem sunmuştur. Yaptığı çalışmada hattın üretim oranının maksimizasyonu ile iş-yükü düzgünleştirme amaçlarını aynı anda ele alınmaktadır.

Suresh ve Sahu (1994) SALBP-1'in stokastik bir çeşidi için tavlama benzetimi (SA) yaklaşımını önermişlerdir. Suresh vd. (1996) MHDP için bir genetik algoritma yaklaşımı önermişlerdir. McMullen ve Frazier (1998) ile McMullen ve Tarasewich (2003) genel MHD problemi için, paralel istasyon, stokastik görev zamanları, karma model üretim ve alternatif amaçlara bağlı olarak, tavlama benzetimi ve karınca algoritması geliştirmişlerdir.

Yapılan araştırmalar literatürde ÇUMHD problemi için etkin bir sezgisel çözüm yönteminin bulunmadığını göstermektedir. Bu tez çalışmasında ÇUMHD problemini çözmek için yeni bir değiştirilmiş-PSO algoritması geliştirilmiştir. ÇUMHD problemleri ile ilgili yeterli çalışma olmaması nedeniyle önerilen yeni algoritmanın performansını ortaya koyabilmek için literatürde yer alan çeşitli ÇMHD algoritma sonuçları ile Ağpak vd.'nin (2012) ÇUMHD problemi için elde ettiği sonuçlar kullanılmıştır.

3. BÖLÜM

ÖNERİLEN DEĞİŞTİRİLMİŞ-PSO ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇİFT-TARAFLI U-TİPİ MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİ

3.1. ÇUMHD Problemi için Kullanılan Matematiksel Model Yapısı

ÇUMHD problemi ile ilgili olarak literatürde geliştirilmiş sadece bir matematiksel model bulunmaktadır. Ağpak vd. (2012) yeni bir çift-taraflı U-tipi montaj hattı yapısını ortaya koydukları çalışmalarında ÇUMHD problemini çözmek için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu tez çalışmasında önerilen yeni değiştirilmiş-PSO algoritması için Ağpak vd. (2012)'nin önerdikleri matematiksel modelden yararlanılmıştır. Ayrıca çift-taraflı U-tipi montaj hatları için tek ve temel model olması nedeniyle bu matematiksel modele bu kısımda ayrıntılı bir biçimde yer verilmiştir. Matematiksel model aşağıdaki varsayımları içermektedir (Ağpak vd., 2012):

- Hatta tek model üretilmektedir.
- Görev zamanları bilinmektedir ve deterministiktir.
- İşçi hareket zamanları ihmal edilmektedir.
- Geçişli-istasyonlar aynı pozisyondaki görevleri barındırmaktadır.

Ağpak vd. (2012)'nin önerdiği matematiksel modele ait formüllerde kullanılan simgeler şu şekildedir:

Simgeler:

- | | |
|-------|--|
| k | Pozisyon, $k = 1, 2, \dots, K$. |
| s | Pozisyon konumu, $s = 1, 2, 3, 4$. |
| C | Çevrim zamanı. |
| t_i | i görevinin görev zamanı, $i = 1, 2, \dots, N$. |

tt_i	i görevinin balangıç zamanı (pozitif değer).
loc_i	i görevinin atanabileceği konumlar kümesi.
$tloc_s$	s konumuna atanabilecek görevler kümesi.
$pred$	Tüm öncelik ilişkileri kümesi.
$ipred$	Hemen öncelik ilişkileri kümesi.
$M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7$	Büyük pozitif sayılar.

İkili Değişkenler:

St_{ks}	Eğer k pozisyonundaki s konumunda istasyon açılmışsa 1, aksi halde 0.
$Crst_k$	Eğer k pozisyonunda geçişli-istasyon varsa 1, aksi halde 0.
X_{iks}	Eğer i görevi k pozisyonundaki s konumuna atanmış ise 1, aksi halde 0.
P_k	Eğer k pozisyonunda yer alan herhangi bir istasyon açılmış ise 1, aksi halde 0.
$U1_{ij}, U2_{ijk}, U3_{ij}$	0-1 değişkenler.

Atama Kısıtları:

Kısıt (3.1), görevin sadece tek bir pozisyonun tek bir konumuna atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{s \in loc_i} X_{iks} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \text{ için} \quad (3.1)$$

Cevrim Zamanı Kısıtları:

İstasyonlara atanan görevlerin toplam zamanı çevrim zamanını aşmamalıdır. (3.2) kısıtı geçişli olmayan istasyonlarda bunu sağlamaktadır. (3.3) ve (3.4) kısıtları ise geçişli-istasyonlarda bu durumu sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in tloc_s} t_i * X_{iks} \leq C * St_{ks}, \quad k = 1, \dots, K \text{ ve } s = 1, 2, 3, 4 \text{ için} \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in tloc_2} t_i * X_{ik2} + \sum_{i \in tloc_3} t_i * X_{ik3} \leq C + M_1 * (1 - Crst_k), \quad k = 1, \dots, K \text{ için} \quad (3.3)$$

$$St_{k2} + St_{k3} - 2 * Crst_k \geq 0, \quad k = 1, \dots, K \text{ için} \quad (3.4)$$

Öncelik Kısıtları:

Görevler arasındaki öncelik kısıtlarının sağlanabilmesi için (3.5) ve (3.6) kısıtları kullanılmaktadır. U hattının giriş kolunda yer alan 1 ve 2 konumlarındaki öncelik ilişkileri için (3.5) kısıtı kullanılırken çıkış kolundaki 3 ve 4 konumları için (3.6) kısıtı kullanılmaktadır.

$$\sum_{k=1}^K \left(\sum_{s=1, s \in loc_i}^2 (K - k + 1) * X_{iks} - \sum_{s=1, s \in loc_j}^2 (K - k + 1) * X_{jks} \right) \geq 0, \forall (i, j) \in ipred \text{ için} \quad (3.5)$$

$$\sum_{k=1}^K \left(\sum_{s=3, s \in loc_j}^4 (K - k + 1) * X_{jks} - \sum_{s=3, s \in loc_i}^4 (K - k + 1) * X_{iks} \right) \geq 0, \forall (i, j) \in ipred \text{ için} \quad (3.6)$$

Sıralama Kısıtları:

Çift-tarafli montaj hatlarında düz tek-tarafli montaj hatlarından farklı olarak aynı çift-istasyonlarda bulunan görevler sıralanmalı ve çizelgelenmelidir. Aynı pozisyona atanmış aralarında öncelik ilişkisi bulunan iki görev farklı taraflara (eş istasyonlara) atanmış olabilir. Bu nedenle aynı pozisyonun sol ve sağ taraflarına atanmış bu tarz görevler öncelik ilişkilerinin sağlanabilmesi için sıralanmalı ve çizelgelenmelidir. Aralarında öncelik ilişkisi bulunan iki görev için (3.7) kısıtı giriş kolu, (3.8) kısıtı ise çıkış kolu için öncelik ilişkilerini sağlamaktadır.

$$-tt_i - t_i + tt_j + M_2 * \sum_{k=1}^K \left(\sum_{s=1, s \in loc_i}^2 (K - k + 1) * X_{iks} - \sum_{s=1, s \in loc_j}^2 (K - k + 1) * X_{jks} \right) + (M_3 * U3_{ij}) \geq 0, \forall (i, j) \in ipred \text{ için} \quad (3.7)$$

$$-tt_i - t_i + tt_j + M_2 * \sum_{k=1}^K \left(\sum_{s=3, s \in loc_j}^4 (K - k + 1) * X_{jks} - \sum_{s=3, s \in loc_i}^4 (K - k + 1) * X_{iks} \right) + (M_3 * (1 - U3_{ij})) \geq 0, \forall (i, j) \in ipred \text{ için} \quad (3.8)$$

Görevlerin aynı istasyonda işlenmesi kısıtın orta kısmını 0 yapmakta ve kısıtlar (3.9) ve (3.10)'a dönüşmektedir.

$$-tt_i - t_i + tt_j + (M_3 * U3_{ij}) \geq 0, \forall (i, j) \in ipred \text{ için} \quad (3.9)$$

$$-tt_i - t_i + tt_j + (M_3 * (1 - U3_{ij})) \geq 0 \quad , \forall (i, j) \in ipred \text{ için} \quad (3.10)$$

(3.11) ve (3.12) kısıtları aralarında öncelik ilişkisi bulunmayan ve aynı pozisyonun aynı konumuna atanan görevleri sıralamak için kullanılmaktadır.

$$-tt_i - t_i + tt_j + M_4 * \sum_{k=1}^K \left(\sum_{s \in loc_j} ((k-1) * 4 + s) * X_{jks} - \sum_{s \in loc_i} ((k-1) * 4 + s) * X_{iks} \right) + (M_5 * U1_{ij}) \geq 0 \quad , \forall (i, j), i < j, (i, j) \notin ipred, (loc_i \cap loc_j) \neq \emptyset \text{ için} \quad (3.11)$$

$$-tt_j - t_j + tt_i + M_4 * \sum_{k=1}^K \left(\sum_{s \in loc_i} ((k-1) * 4 + s) * X_{iks} - \sum_{s \in loc_j} ((k-1) * 4 + s) * X_{jks} \right) + (M_5 * (1 - U1_{ij})) \geq 0 \quad , \forall (i, j), i < j, (i, j) \notin ipred, (loc_i \cap loc_j) \neq \emptyset \text{ için} \quad (3.12)$$

Görevlerin aynı istasyonda işlenmesi kısıtın orta kısmını 0 yapmakta ve kısıtlar (3.13) ve (3.14)'e dönüşmektedir.

$$-tt_i - t_i + tt_j + (M_5 * U1_{ij}) \geq 0 \quad (3.13)$$

$$-tt_j - t_j + tt_i + (M_5 * (1 - U1_{ij})) \geq 0 \quad (3.14)$$

Geçişli-istasyonlar için görevler aynı pozisyonun 2 ve 3 nolu konumlarına atandığı ve aynı kaynağı kullandıkları için bu tür görevler de sıralanması gerekmektedir. (3.15) ile (3.16) kısıtları ile bu durum sağlanmaktadır.

$$tt_j - t_i - tt_i + M_6 * \left(2 - \sum_{s=2, s \in loc_i}^3 X_{iks} - \sum_{s=2, s \in loc_j}^3 X_{jks} \right) + M_7 * (1 - U2_{ijk} + 1 - Crst_k) \geq 0 \quad , \forall (i, j), i < j, (2 \vee 3) \in (loc_i \cap loc_j) \text{ ve } k = 1, \dots, K \text{ için} \quad (3.15)$$

$$tt_i - t_j - tt_j + M_6 * \left(2 - \sum_{s=2, s \in loc_i}^3 X_{iks} - \sum_{s=2, s \in loc_j}^3 X_{jks} \right) + M_7 * (U2_{ijk} + 1 - Crst_k) \geq 0 \quad , \forall (i, j), i < j, (2 \vee 3) \in (loc_i \cap loc_j) \text{ ve } k = 1, \dots, K \text{ için} \quad (3.16)$$

(3.17) kısıtı, tüm görevlerin tamamlanma zamanlarının çevrim zamanını aşmamasını garanti etmektedir.

$$tt_i + t_i \leq C, i = 1, \dots, N \text{ için} \quad (3.17)$$

(3.18) ile (3.19) kısıtları birlikte herhangi bir konuma en az bir görev atandığında ilgili pozisyonun da açılmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{s=1}^4 St_{ks} - 4 * P_k \leq 0, k = 1..K \text{ için} \quad (3.18)$$

$$P_k - \sum_{s=1}^4 St_{ks} \leq 0, k = 1..K \text{ için} \quad (3.19)$$

Amaç Fonksiyon:

Sırasıyla toplam istasyon sayısının ve toplam pozisyon sayısının (hat uzunluğu) minimize edildiği iki amaç fonksiyon sırasıyla (3.20) ile (3.21) 'de gösterilmiştir.

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^4 St_{ks} - \sum_{k=1}^K Crst_k \quad (3.20)$$

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K P_k \quad (3.21)$$

Önerilen modelde kullanılmaması nedeniyle Ağpak vd., (2012)'nin ortaya koyduğu bu matematiksel modelde yer alan bölgeleme kısıtlarına burada yer verilmemiştir.

3.2. Temel PSO Algoritması

PSO algoritması, ilk olarak Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından sürekli problemler için geliştirilmiş popülasyon temelli stokastik bir optimizasyon tekniğidir ve kombinatoriyel problemlerin çözümünde son zamanlarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Yapay sinir ağı ağırlıklarının eğitiminde kullandıkları PSO algoritmasının iyi sonuç verdiğini ispat etmişlerdir.

PSO, yiyecek arayan kuş ve balıklar gibi sayıca çok olan hayvan sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenilerek ortaya çıkmıştır. Yöntem sürü içerisindeki her bir bireyin arasındaki sosyal bilgi paylaşımı esasına dayanmaktadır. Her adımda aynı anda birçok çözüm sürü şeklinde en iyi değeri aramaktadır. Parçacık olarak tanımlanan her bir bireysel çözüm, pozisyon ve hız olarak tanımlanan iki değere sahiptir. Her bir adım sonunda yeni çözüm değerleri, ele alınan parçacığın kendi ulaştığı iyi değere ve tüm sürüde o ana kadar elde edilmiş olan en iyi değere bağlı olarak belirlenmektedir.

Sürüde yer alan çözümlerin kalitesi ele alınan amaç fonksiyonu değerine bağlı olarak belirlenir. Amaç fonksiyonu değerine göre elde edilen her bir parçacığın en iyi değeri ve tüm sürünün en iyi değeri hafızada saklanır. Daha iyi değerler elde edilince bu değerler güncellenir. Parçacıkların elde ettiği en iyi değer Pbest olarak adlandırılırken sürünün en iyi değeri ise Gbest olarak adlandırılır. PSO algoritmasının pseudo kodu Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Parametreleri tanımla
Her bir parçacık için yap
Başlangıç hız ve pozisyon değerlerini belirle
Amaç fonksiyon değerini hesapla
Yerel ve evrensel en iyi değerleri belirle
Durdurma kriteri sağlanmadı ise, her bir
parçacık için
Hız ve pozisyon değerlerini güncelle
Amaç fonksiyon değerlerini hesapla
Yerel ve evrensel en iyi değerleri güncelle

Şekil 3.1. PSO Algoritmasının Pseudo Kodu

Başlangıçta sürekli problemlere uygulanan PSO algoritması, gerçek hayat problemlerinin çoğundaki kesikli yapının da etkisiyle Kennedy ve Eberhart (1997) tarafından kesikli PSO (DPSO) şekline dönüştürülmüştür. Daha sonra bu PSO yapısı Shi and Eberhart (1998 ve 1999), Kennedy vd. (2001) ile Liao vd. (2007) tarafından da çalışılmıştır.

Son zamanlarda PSO algoritması, araç rotalama (Ai ve Kachitvichyanukul, 2009), yapay sinir ağı eğitimi (Bergh ve Engelbecht, 2000), görev ataması (Salman vd., 2003), akış-tipi çizelgeleme (Liu vd., 2008, Pan vd., 2008, Zobolas vd., 2009), parti büyüklüğü (Tasgetiren ve Liang, 2003), en kısa yol problemleri (Mohammed vd., 2008) ve iş istasyonu çizelgeleme (Sha ve Hsu, 2006, Gao vd. 2008) gibi geniş çaptaki uygulamalara başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Klasik PSO'nun temel elemanları d-boyutlu arama uzayı için aşağıdaki şekildedir:

N_p = Popülasyondaki parçacık sayısı (Sürüdeki eleman sayısı).

$X_i^t = X_{i1}^t, X_{i2}^t, \dots, X_{iD}^t$, $X_{ij}^t \in R$, t adımında i parçacığının D-boyutlu pozisyon matrisidir.

$V_i^t = V_{i1}^t, V_{i2}^t, \dots, V_{iD}^t$, $V_{ij}^t \in R$, t adımında i parçacığının D-boyutlu hız matrisidir.

X_i^t pozisyon vektörü, problemle ilgili bir çözümü ifade etmektedir. V_i^t hız vektörü ise bir sonraki iterasyonda i parçacığının pozisyon değerinde oluşacak değişim miktarını göstermektedir. V_i^t , ele alınan parçacığın pozisyon değeri ile en iyi çözümlere ait pozisyon değerleri arasındaki farkı ortaya koymaktadır.

$P_i^t = P_{i1}^t, P_{i2}^t, \dots, P_{iD}^t$, i parçacığının ziyaret ettiği en iyi çözümü saklayan matristir (Pbest).

$G^t = G_1^t, G_2^t, \dots, G_D^t$, t adımında tüm sürüdeki en iyi çözümü saklayan matristir (Gbest).

't' adımında, her bir 'i' parçacığının yeni hız değeri (V_{ij}^t), bir önceki adımda elde edilen hız değeri V_{ij}^{t-1} , kendi önceki en iyi parçacık pozisyonu P_{ij}^t ve evrensel en iyi parçacık pozisyonu G_j^t vasıtasıyla ayarlanır (eşitlik 3.22 ve 3.23).

$$V_{ij}^t = w * V_{ij}^{t-1} + c_1 r_1 (P_{ij}^t - X_{ij}^t) + c_2 r_2 (G_j^t - X_{ij}^t) \quad (3.22)$$

$$X_{ij}^{t+1} = X_{ij}^t + V_{ij}^t \quad (3.23)$$

' c_1 ' ve ' c_2 ' sırasıyla bilişsel ve sosyal öğrenme faktörlerinin ilişkili etkilerini gösteren iki pozitif sabittir. Bu sabitler parçacıkların hareket edebilecekleri maksimum adım uzunluğunu kontrol etmektedirler. ' r_1 ' ve ' r_2 ', her bir adımda bağımsız olarak düzgün dağılımdan $U[0,1]$ elde edilen rastgele iki gerçek sayıdır. İntertia ağırlığı olarak adlandırılan ' w ' ise bir önceki hız değerinin hali hazırdaki hesaplanan hız değerine etkisini düzenleyen bir parametredir. w 'nin değeri, sürünün evrensel ve yerel arama yapabilme kapasitesi arasında ayarlama yapmaktadır. Büyük değerlerinde evrensel aramaya ağırlık verirken daha düşük değerlerde yerel aramaya odaklanmaktadır (Fan ve Chang, 2009).

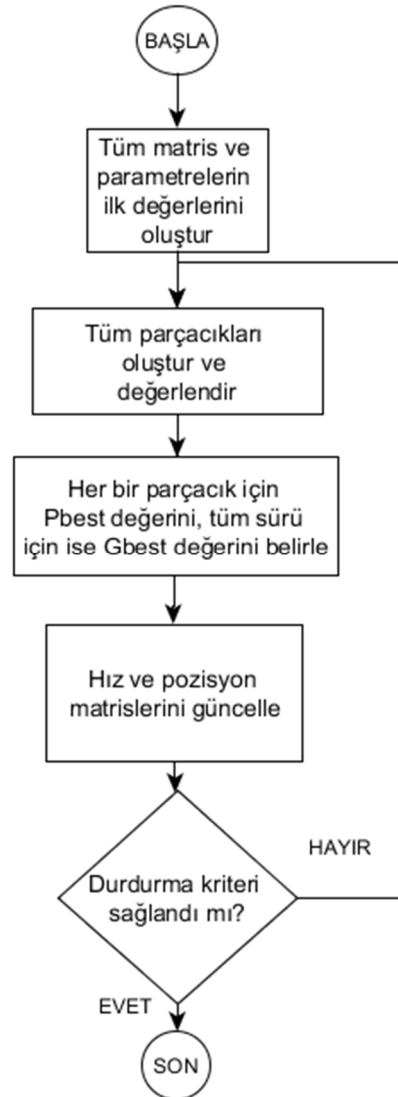
3.3. Geliştirilen Değiştirilmiş-PSO Algoritması

Bu tez çalışmasında ortaya konan çift-terafı U-tipi montaj hattı dengeleme problemini çözmek için bir değiştirilmiş-PSO algoritması geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın ana hatları şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Algoritma tüm matris ve parametrelerin ilk değerlerinin oluşturulması ile başlamaktadır. Daha sonra her birisi bir çözümü oluşturan parçacıklar oluşturulmaktadır. Oluşturulan her bir parçacık sahip olduğu amaç fonksiyonu değerine göre değerlendirilmektedir.

İlk adımda tüm parçacıklar kendi Pbest değerlerini oluştururken bunlardan en iyisi de Gbest'i oluşturmaktadır. Daha sonra elde edilen en iyi değerler (Pbest ve Gbest) ve önceki hız değeri kullanılarak yeni hız matrisi belirlenmektedir. Son olarak ise pozisyon matrisi değerleri güncellenmektedir.

Algoritma adımları herhangi bir durdurma kriteri sağlanana kadar bu şekilde devam etmektedir.



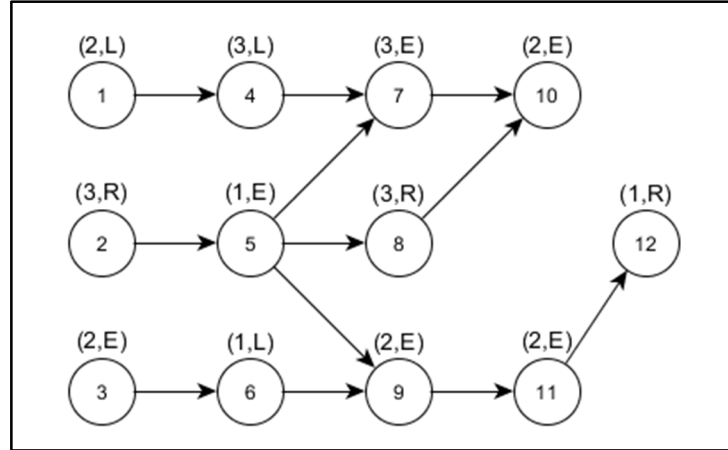
Şekil 3.2. Değiştirilmiş-PSO Algoritmasının Genel Yapısı

3.3.1. Değiştirilmiş PSO Algoritmasının Başlatılması

Önerilen algoritmanın ilk adımında, tüm parametre ve matrisler ilk değerleri ile başlatılmaktadır. Bu matrislerin bazıları sabit değerlerden oluşmaktadır ve algoritma sonuna kadar değişmeden kalmaktadır. Sabit olan bu matrisler aşağıda açıklanmıştır:

- *Görev matrisi(TM)*: TM ($TM_{i,3}$ $i = 1,2, \dots, n$) matrisi, görev numarası, görev yönü ve görev zamanı değerleri gibi problem verisindeki her bir görev için gerekli olan değerleri saklamaktadır. Önerilen yapının daha iyi anlaşılması için

örnek olarak Kim vd. (2000a)'den alınan bir test problemine ait öncelik ilişkisi Şekil 3.3'te, görev matrisi (TM) ise Tablo 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. 12 Görevli Test Problemi Kim vd. (2000)

Tablo 3.1. Probleme ait Görev Matrisi

Görev Numarası	Yön	Süre
1	L	2
2	R	3
3	E	2
4	L	3
5	E	1
6	L	1
7	E	3
8	R	3
9	E	2
10	E	2
11	E	2
12	R	1

- *Öncelik Matrisi (PM):* PM ($PM_{i,j}$ $i, j = 1, 2, \dots, n$) matrisi, tüm görevler arasındaki öncelik ilişkilerinin oluşturulduğu matristir. PM 'nin oluşturulması için öncelik diyagramı kullanılmaktadır. Ele alınan test problemine ait olan öncelik matrisi Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Probleme ait Öncelik Matrisi

Task Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	-	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	-	0	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	-	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Bunların yanında geliştirilen algoritmanın her adımında kullanılan ve değerleri sürekli değişen çeşitli matrisler de bulunmaktadır. Bu matrisler aşağıda listelenmiştir:

- *İlişkisel Öncelik Matrisi (X):* $X (X_{p,i,j,sd}, p = 1,2,\dots,np, i, j = 1,2,\dots,n, sd = [0,1])$ matrisi, hattın her iki yönü için ($sd = \{0(\text{sol}), 1(\text{sağ})\}$) p parçacığındaki i görevinin hemen ardından j görevinin atanma olasılıklarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. İlk adımda, ilişkisel öncelik matrisi $[0,1]$ arasında rastgele değerler ile oluşturulmaktadır. Çözüm dizisinin ilk görevi için ($i = j$) koşulunu sağlayan değerler kullanılmaktadır.
- *Hız Matrisi (V):* $V (V_{p,i,j,sd}, p = 1,2,\dots,np, i, j = 1,2,\dots,n, sd = [0,1])$ matrisi, hattın sağ ve sol taraflarındaki p parçacığı için X matrisinin her bir elemanının değişim değerini gösteren hız değerini belirlemek için kullanılır. İlk adımda, hız değerleri $[0,1]$ arasında rastgele değerler ile oluşturulur. Çözüm dizisinin ilk görevi için ($i = j$) koşulunu sağlayan değerler kullanılmaktadır.
- *Pbest İlişkisel Öncelik Matrisi (PBX):* $PBX (PBX_{p,i,j,sd}, p = 1,2,\dots,np, i, j = 1,2,\dots,n, sd = [0,1])$ matrisi, her bir parçacık tarafından o ana kadar elde edilmiş en iyi ilişkisel öncelik vektörlerini saklamaktadır.

- *Gbest İlişkisel Öncelik Matrisi (GBX)*: GBX ($GBX_{i,j,sd}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ $sd = [0,1]$) matrisi, o ana kadar tüm sürü tarafından elde edilmiş en iyi ilişkisel öncelik ilişkisi vektörünü saklamaktadır.

Her adımda elde edilen parçacıkların kalitelerinin değerlendirilebilmesi için kullanılan çözüm matrisleri ve çözüm sonuç matrisleri aşağıda açıklanmıştır:

- *Çözüm Matrisi (S)*: S ($S_{p,i,5}$, $p = 1, 2, \dots, np$ $i = 1, 2, \dots, n$) matrisi, her bir parçacığın her bir görevi için ayrıntılı çözümleri oluşturmak için kullanılır. Her bir S çözümü 5 farklı değer saklamaktadır:
 - Seçilen görevin görev numarası.
 - Seçilen görevin yön değeri.
 - Görevin atandığı istasyon numarası
 - Görevin atandığı hat yönü değeri.
 - Görevin seçildiği pozisyon değeri. Eğer görev öncelik diyagramının baş tarafındaki görevlerden seçildi ise (atanmamış öncülü olmayanlar) 0, arka tarafından seçildi ise (atanmamış ardılı olmayanlar) 1 değerini alır.
- *Çözüm Sonuç Matrisi (SR)*: SR ($SR_{p,3}$, $p = 1, 2, \dots, np$) matrisi, her bir parçacığa ait gerekli sonuç değerlerini saklamak için kullanılmaktadır. Her bir SR matrisi 3 değer saklamaktadır:
 - Toplam istasyon sayısı.
 - Çift-istasyon sayısı.
 - Toplam amaç fonksiyon değeri ($1000 \times$ Toplam istasyon sayısı + $100 \times$ Çift-istasyon sayısı)
- *Pbest Çözüm Matrisi (PBS)*: PBS ($PBS_{p,i,5}$, $p = 1, 2, \dots, np$ $i = 1, 2, \dots, n$) matrisi, her bir parçacığın o ana kadar elde ettiği en iyi çözüme ait çözüm vektörlerini saklayan matristir.

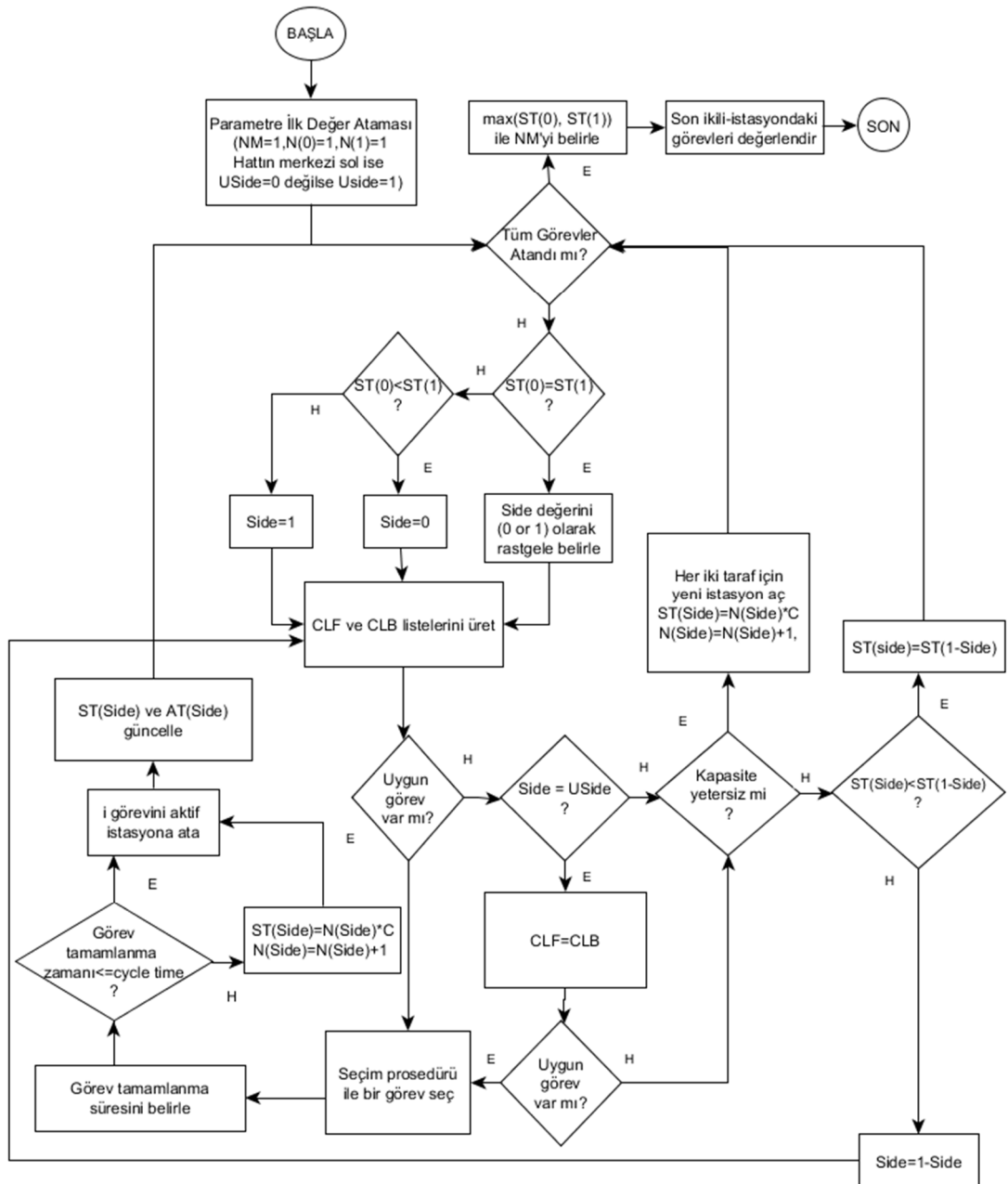
- *Pbest Çözüm Sonuç Matrisi (PBSR)*: $PBSR$ ($PBSR_{p,3}$, $p = 1,2,\dots,np$) matrisi, her bir parçacığın o ana kadar elde ettiği en iyi çözüme ait çözüm sonuç değerlerini saklayan matristir.
- *Gbest Çözüm Matrisi (GBS)*: GBS ($GBS_{i,5}$, $i = 1,2,\dots,n$) matrisi, tüm sürünün o ana kadar elde ettiği en iyi çözüme ait çözüm vektörünü saklayan matristir.
- *Gbest Çözüm Sonuç Matrisi (GBSR)*: $GBSR$ ($GBSR_3$) matrisi, tüm sürünün o ana kadar elde ettiği en iyi çözüme ait çözüm sonuç değerlerini saklayan matristir.

3.3.2. Çözüm Prosedürü

Önerilen PSO algoritmasının her bir adımında Şekil 3.4'te yer alan çözüm prosedürü kullanılarak çözüm matrisi ve çözüm sonuç matrisi oluşturulmaktadır.

Çözüm prosedürü, yeni bir çift-istasyon açılması ile başlar (NM (çift-istasyon sayısı) = 1, $N(0)$ (sol istasyon sayısı) = 1 ve $N(1)$ (sağ istasyon sayısı) = 1). Ürün montajının yapılmaya başlandığı kola bağlı olarak ürünün hangi yönünün çift- taraflı U-tipi montaj hattının merkezine denk gelişine bağlı olarak $USide$ değeri belirlenir (ÇUMHD'nin merkezine ürünün sol tarafı denk geliyor ise $USide=0$, sağ tarafı denk geliyor ise $USide=1$).

Çift-taraflı hattın her iki yönünün geçerli istasyon zamanı için $ST(Side)$ matrisi kullanılmaktadır. Hattın solu için $Side$ değeri 0, sağ için 1 olarak belirlenir. Her bir adımda herhangi bir görevi atamak için montaj hattı yönünün belirlenmesinde ST matrisi önemli bir rol oynamaktadır. Algoritmanın ilk adımında $Side$ (yön) değeri rastgele olarak belirlenmektedir. Sonraki adımlarda montaj hattının sol ve sağ tarafları arasında seçim yapmak için (3.24) eşitliği kullanılmaktadır.



AT(Side): Aktif montaj hattı yönündeki aktif istasyonun görev ataması yapılabilmesi için sahip olduğu toplam uygun süre
 ST(Side): Aktif montaj hattı yönündeki aktif istasyonun boş zamanlarla birlikte sahip olduğu toplam istasyon zamanı
 Uside:0, hat merkezi sol ise
 Uside:1, hat merkezi sağ ise.
 N(Side): Her iki yöndeki toplam istasyon sayıları
 Side: Aktif taraf indisi (0=sol, 1=sağ)

Şekil 3.4. Algoritma Çözüm Prosedürü

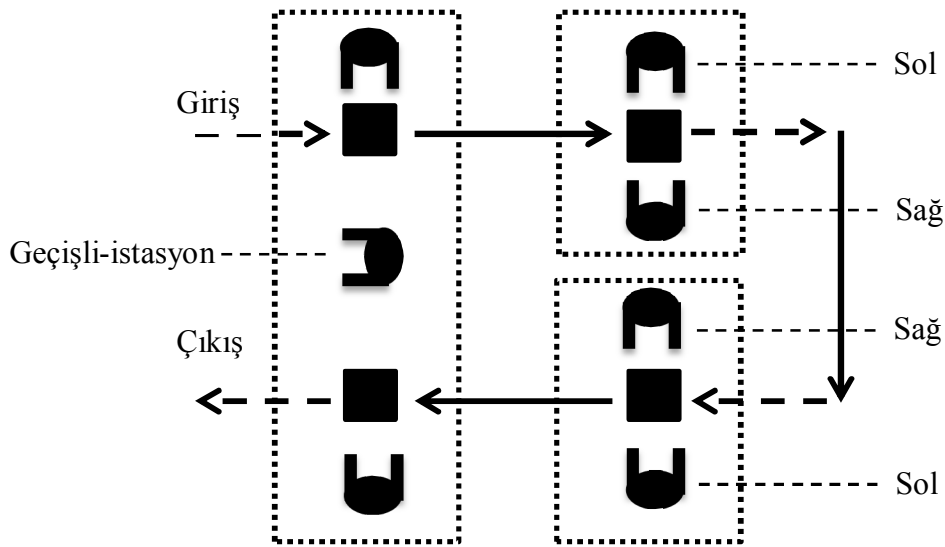
$$Side = \begin{cases} 0, & ST(0) < ST(1) \\ 1, & ST(1) < ST(0) \\ Rastgele 0 ya da 1, & diğ er durumlar \end{cases} \quad (3.24)$$

Ele alınacak montaj hattı yönünün seçilmesinden sonra, aktif istasyona atanabilecek görevler kümesini oluşturacak olan uygun görevler belirlenir ve ön aday listesi (CLF) ile arka aday listesi (CLB) olarak adlandırılan iki farklı aday listesinde saklanır. CLF, tüm öncülleri daha önceden atanmış ya da hiç öncülü olmayan ve görev zamanı, istasyon uygun zamanından (AT(Side)) küçük ya da eşit olan görevleri içermektedir. CLB ise, tüm ardılları daha önceden atanmış ya da hiç ardılı olmayan ve görev zamanı, istasyon uygun zamanından (AT(Side)) küçük ya da eşit olan görevleri içermektedir.

Seçilen montaj hattı yönü montaj hattının merkezi olmadığı durumlarda yalnızca CLF kullanılırken seçilen tarafın montaj hattının merkezi olması durumunda ise CLF ve CLB birlikte kullanılmaktadır. Bunun nedeni çift-tarafli U-tipi montaj hattı yapısında sadece montaj hattının merkezinin U-tipi montaj hattı özelliği taşımasıdır. Montaj hattının merkezi üzerindeki istasyonlara atama yapılırken dikkate alınabilecek iki aday listesi olmasına rağmen görev seçimi için öncelikle CLF ele alınır. CLB ise ancak CLF'nin boş olması durumunda ele alınmaktadır. Bu yaklaşımın uygulanma nedeni, öncelik grafiğinin baş tarafındaki görevlerin eş zamanlı atanmasını engelleyecek bir duruma neden olmamaktır.

İki aday listesinin birlikte düşünülmesi durumunda öncelik diyagramının ön tarafından ve arka tarafından gelecek daha çok görevin atama işleminde kullanılması, öncelik diyagramının baş tarafındaki sol ve sağ görevlerin atanmasındaki senkronizasyonu bozabilmektedir. Böylece aynı çift-istasyona atanan ve aralarında öncelik ilişkisi bulunan görevler daha fazla istenmeyen boş zamana neden olmaktadır.

Şekil 3.5'te görülen çift-tarafli U-tipi montaj hattı yapısında sağ taraf montaj hattının merkezidir ve 1 adet geçişli-istasyon bulunmaktadır.



Şekil 3.5. Bir Adet Geçişli-İstasyon Bulunan Çift-tarafli U-tipi Montaj Hattı

Bazı durumlarda algoritma aday listelerin hiç birisini oluşturacak aday görev bulamamaktadır. Bu yetersizliğin nedenine bağlı olarak, önerilen algoritma sorunu ortadan kaldırmak için bir çözüm metodu seçmektedir. Örneğin; eğer yetersiz kapasite oluşmuş ise algoritma yeni bir çift-istasyon açmaktadır. Yetersiz kapasite durumu, herhangi bir atanmamış görevin atanabilmesi için montaj hattının herhangi bir tarafında yeterli kapasite kalmaması durumunda oluşmaktadır. Yetersiz kapasite oluşması durumunda bu sorunu ortadan kaldırmak için yeni bir çift-istasyon açılmaktadır. Bu durumda istasyon zamanları ($ST(Side)$) ve istasyon sayısı ($N(Side)$) değerleri sırasıyla (3.25) ve (3.26) eşitlikleri kullanılarak güncellenmektedir.

$$ST(Side) = N(Side) * C , Side=\{0,1\} \text{ için} \quad (3.25)$$

$$N(Side) = N(Side) + 1 , Side=\{0,1\} \text{ için} \quad (3.26)$$

Eğer yetersizlik kapasite kısıtı ile ilgili değil ise, algoritma montaj hattının her iki tarafına ait ' ST ' değerleri arasındaki farkı kontrol ederek sorunu ortadan kaldırmaktadır. Eğer montaj hattının aktif tarafının ' ST ' değeri karşı tarafın değerinden daha küçük ise, algoritmanın çalışmasına devam edebilmesi için eşitlik (3.27) kullanılarak $ST(Side)$ değeri güncellenmektedir. Güncelleme sonrasında her iki tarafın istasyon süreleri

eşitlenmekte daha sonra atama süreci atama tarafının rastgele olarak seçilmesi ile devam etmektedir.

$$ST(Side) = ST(1 - Side) \quad (3.27)$$

Eğer montaj hattının aktif tarafının ' ST ' değeri karşı tarafa eşit ya da daha büyük ise (3.28) eşitliği ile aktif tarafın değiştirilmesi yoluyla atama süreci karşı taraftan devam ettirilmektedir.

$$Side = 1 - Side \quad (3.28)$$

Atama işleminin yapılacağı montaj hattı tarafının seçilmesi ve aday liste(leri)nin belirlenmesinin ardından uygun görevlerden birisi aktif istasyona atanmak için seçilmektedir. Görevin seçilmesinin ardından öncüllerinin tamamlanma zamanlarından en büyüğü ve aktif yöndeki aktif istasyona ait ' ST ' değeri kullanılarak görevin başlangıç zamanı belirlenir. Görevin tamamlanma zamanının çevrim zamanından daha büyük olması durumunda aktif tarafta yeni bir istasyon açılır.

Görevlerin aday listesinden seçilmesi sürecinde ilişkisel öncelik matrisinden (X) yararlanır. Seçim sürecinde Tablo 3.3'te gösterildiği gibi iki farklı metod uygulanmaktadır.

Tablo 3.3. Görev Seçim Prosedürü

Parçacık Oranı	Seçim Yaklaşımı
$\leq \%50$	Görev rulet tekerleği yaklaşımı ile seçilir
$\geq \%51$	X değeri en büyük görev seçilir

Görevlerin aday listesinden seçilmesi sırasında sürüdeki tüm parçacıklar iki kısma ayrılarak algoritma yürütülür. İlk yarım kısımdaki parçacıklar için görevlerin seçimi sürecinde rulet tekerleği yöntemi kullanılır. Bu yaklaşımın kullanılma nedeni PSO

yapısında bulunan yüksek yakınsama sorununu ortadan kaldırmak ve arama uzayının farklı noktalarına ulaşarak sürekli farklı çözümlere ulaşılmasını sağlamaktır. Böylece çeşitlilik sağlanmakta ve daha iyi çözümlere ulaşma süresi daraltılmaktadır.

Parçacıkların ikinci kısmı için ise atama sürecinde aday listesindeki görevlerden X değeri en büyük olanın aranarak seçilmesi yöntemi uygulanmaktadır. X matrisi algoritmanın hafızasını oluşturmaktadır. Sürüdeki tüm bireylerin nesiller boyunca elde ettikleri bilgiler X matrisindeki değerleri oluşturmakta ve her adımda bu değerler güncellenmektedir. Bu nedenle bu yöntem ile elde edilen çözümler her zaman iyi çözümlere benzer yapıda oluşmaktadır.

Aynı sürü içerisinde bu iki farklı yaklaşımın kullanılması algoritmanın en güçlü yönünü oluşturmaktadır. Çünkü aynı adımda hem çeşitlilik sağlanmakta hem de çözüm uzayının iyi olduğu bilinen kısımları ayrıntılı bir biçimde incelenmektedir.

3.3.3. Çözüm Değerlendirme Prosedürü

Her bir adımda tüm sürüdeki çözümlerin elde edilmesinin ardından yerel ($Pbest$) ve global ($Gbest$) en iyi değerlerle ilgili ilişkisel öncelik matrisi değerleri (PBX ve GBX), elde edilen amaç fonksiyon değerleri ($SR_{p,3}$) kullanılarak sırasıyla (3.29) ve (3.30) eşitlikleri ile güncellenir. Amaç fonksiyon değeri, elde edilen çözümlerin kalitesini ortaya koymaktadır. Herhangi bir çözüm için eğer ilgili adımda elde edilen çözüm daha önce aynı parçacık tarafından elde edilmiş en iyi çözümden daha iyi ise parçacığa ait PBX vektörü yenisi ile değiştirilir. İlgili adımdaki en iyi $Pbest$ değerinin $Gbest$ değerinden iyi olması durumunda ise GBX vektörü de güncellenmektedir.

$$PBX_p = \begin{cases} X_p, & SR_{p,3} < PBSR_{p,3} \\ PBX_p, & diğer \end{cases} \quad (3.29)$$

$$GBX = \begin{cases} X_p, & SR_{p,3} < GBSR_3 \\ GBX, & diğer \end{cases} \quad (3.30)$$

3.3.4. Güncelleme Prosedürü

Sürüdeki her bir parçacığa ait en iyi çözümlerden oluşan $Pbest$ ilişkisel öncelik matrisi (PBX) değerleri ile tüm sürünün elde ettiği en iyi çözüm olan $Gbest$ ilişkisel öncelik matrisi (GBX) değerlerinin belirlenmesi sonrasında algoritmanın yeni çözümlere hareket edebilmesi için ilişkisel öncelik matrisi (X) ile hız matrisinin (V) güncellenmesi gerekmektedir. V matrisi (3.31) eşitliği kullanılarak güncellenmekte ve [0-1] arasında sınırlandırılmaktadır (k iterasyon numarasını göstermektedir).

$$V_{p,i,j,sd}^k = w * V_{p,i,j,sd}^{k-1} + (c_1 r_1 (PBX_{p,i,j,sd} - X_{p,i,j,sd}^k) + (c_2 r_2 (GBX_{i,j,sd} - X_{p,i,j,sd}^k)) \quad (3.31)$$

Geliştirilen algoritmada, klasik PSO yapısından farklı olarak, X matrisinin güncellenmesi adımında iki farklı yaklaşım uygulanmaktadır. İlk yaklaşım olarak klasik PSO yapısında yer alan (3.32) eşitliği kullanılmaktadır. Diğer yaklaşım ise X değerlerinin her adımda rastgele olarak üretilmesidir. Algoritma boyunca X değerlerinin üretilmesi yaklaşımı Tablo 3.4'te ayrıntılı bir biçimde gösterilmiştir. X matrisinin her bir elemanı, [0-1] arasında sınırlandırılmıştır.

$$X_{p,i,j,sd}^{k+1} = X_{p,i,j,sd}^k + V_{p,i,j,sd}^k \quad (3.32)$$

Tablo 3.4. Pozisyon (X) değerlerini Güncelleme Yaklaşımı

Parçacık Bölümü	Güncelleme Yaklaşımı
% 0 - % 25	Rastgele
% 26 - % 50	(3.32) Eşitliği ile
% 51 - % 75	Rastgele
% 76 - % 100	(3.32) Eşitliği ile

X matrisi değerlerinin rastgele üretilmesi önerilen algoritmanın yerel minimum noktalara takılmasını mümkün oldukça engellemektedir. Ayrıca bu yaklaşım

algoritmanın iyi çözümlere ulaşması için gereken süreyi de kısaltmaktadır. Geliştirilen bu yaklaşım, PSO yapısında bulunan yüksek yakınsama sorununu gidermesi nedeniyle algoritma başarısı için önemli bir rol oynamaktadır.

Tüm parçacıkların üretilmesi, ilişkisel öncelik matrisinin ve hız matrisinin güncellenmesinin ardından her bir ‘ p ’ parçacığına ait en iyi çözüm (PBS) ve çözüm değeri ($PBSR$) matrisleri ile tüm sürü için en iyi çözüm (GBS) ve çözüm sonuç ($GBSR$) matrisleri sırasıyla parçacık amaç fonksiyon değerlerinden yararlanılarak ($SR_{p,3}$) (3.33) ve (3.34) eşitlikleri ile güncellenmektedir.

$$PBS_p = \begin{cases} S_p, & SR_{p,3} < PBSR_{p,3} \\ PBS_p, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$PBSR_p = \begin{cases} SR_p, & SR_{p,3} < PBSR_{p,3} \\ PBSR_p, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.33)$$

$$GBS = \begin{cases} S_p, & SR_{p,3} < GBSR_3 \\ GBS, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$GBSR = \begin{cases} SR_p, & SR_{p,3} < GBSR_3 \\ GBSR, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.34)$$

3.3.5. Yeni Algoritmanın Sürü Yapısı

PSO algoritmasının bu değiştirilmiş çeşidinde görev seçimi sürecinde ve güncelleme sürecinde yeni yaklaşımlar kullanılmaktadır. Böylece algoritmanın arama yeteneği geliştirilmiştir.

Düz montaj hattı dengeleme problemlerinin bile NP-zor yapısında olmasına ek olarak çift-terafli U-tipi montaj hattı yapısındaki yeni zorluklar nedeniyle en iyi çözümlere ulaşmak gerçekten çok zor bir hal almaktadır. Algoritmanın sahip olduğu yeni yaklaşım, algoritmanın aynı anda yerel aramaya odaklanmasına ve global arama yapmasına izin vermektedir. Bu yolla algoritma daha iyi sonuçlara kısa sürede ulaşmada daha başarılı olmaktadır. Görev seçimi ve güncelleme yaklaşımları bakımından algoritmada kullanılan sürü yapısı Tablo 3.5’te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Önerilen Algoritmanın Sürü Yapısı

Kullanılan Prosedürlerin Parçacıklara Göre Dağılımı		Güncelleme Prosedürü	
		Rastgele	Eşitlik (3.32) kullanılarak
Seçim Prosedürü	Rulet tekerleği ile görev seçimi	%0-%25 (ilk çeyrek)	%26-%50 (ikinci çeyrek)
	En büyük X değeri ile görev seçimi	%51-%75 (üçüncü çeyrek)	%76-%100 (son çeyrek)

3.3.6. Algoritmaya Ait Kaba Kod (Pseudo Code)

Başlat

Adım1. Başlangıç değerlerini oluştur

Adım1.1- $iter = 1, p=0, Pbest= 0, Gbest=0$

Adım1.2- X ve V matrislerini oluştur

Adım 2.

Do while $iter \leq Maxiter$

Do while $p \leq np$

Adım 2.1- Çözüm prosedürü ile yeni nesli üret

Adım 2.2- Amaç fonksiyon değerlerini değerlendir

Adım 2.3- Her bir parçacık için $Pbest$ 'i ve sürü için $Gbest$ 'i belirle

Adım 2.4- V ve X matrislerini güncelle

$P=p+1$

end do

$iter=iter+1$

end do

Adım 3.Son çift-istasyona atanmış görevleri değerlendir

Step 3.1 – En iyi çözümü ($Gbest$) görüntüle

Adım 4. Bitir

3.3.7. Ayrıntılı Çözüm Üretme Prosedürü

Önerilen yaklaşım aşağıdaki şekildedir:

1. Geçerli parçacığı (p) seç
2. Atama yap: $NM=1; N(0)=1; N(1)=1; ST(0)=0; ST(1)=0; i=0; USide$ değerini belirle (Eğer Hat merkezi sol ise $USide=0$ değilse $USide=1$)
3. Tüm görevler atanmış ise Adım 7'ye değilse Adım 4'e git
4. (3.24) eşitliği ile $ST(0)$ ve $ST(1)$ değerlerine bağlı olarak $Side$ değerini belirle (0=sol and 1=sağ)
5. Eğer $Side=USide$ ise CLF ve CLB listelerini, değilse CLF listesini oluştur.
 - 5.1. Eğer $CLF = \{\emptyset\}$ ve $Side=USide$ ve $CLB \neq \{\emptyset\}$ ise $CLF=CLB$, değilse 5.3'e git.
 - 5.2. Eğer $CLF = \{\emptyset\}$ Adım 5.2.1'e git, değilse Adım 5.3'e git
 - 5.2.1. Eğer yetersiz kapasite söz konusu ise Adım 6'ya git, değilse Adım 5.2.2'ye git
 - 5.2.2. Eğer $ST(Side) < ST(1-Side)$ ise $ST(Side)=ST(1-Side)$ atamasını yap ve Adım 3'e git, değilse atama yönünü değiştir $Side=1-Side$ ve Adım 5'e git
 - 5.3. CLF 'den Tablo 3.3'te gösterilen seçim sürecini kullanarak bir görev seç (h)
 - 5.3.1. Eğer $tt_h + ST(Side) > C$ ya da $tt_h + tf_{1-side} > C$ ($tf_{1-side} = \max\{tf_p | p \in P(h), \text{ eş istasyona atanmış görevler}\}$) ise $ST(Side) = N(Side) * C$ ve aktif tarafta ($Side$) yeni bir istasyon aç ($N(Side)=N(Side)+1$)
 - 5.3.2. h görevini geçerli istasyona ata; $S_{p,i,0} = h$. İstasyon zamanını ve uygun zamanı güncelle; $tf_h = \max\{(tt_h + ST(Side)), (tt_h + tf_{1-side})\}$. $ST(Side) = tf_h$. $AT(Side) = C - ST(Side)$, Adım 3'e git
6. Her iki yön için ($Side = 0$ ve 1) yeni istasyon aç. $N(Side)=N(Side) + 1$, $ST(Side)=N(Side)*C$, Adım 3'e git.
7. $ST_{max} = \max (ST(0), ST(1))$ belirle
8. $NM = \text{En yakın tamsayı değerine yukarı yuvarla } (ST_{max}/ C)$
9. Son çift-istasyondaki görevleri değerlendir (Görev yönü ve süreler dikkate alındığında mümkünse görevleri herhangi bir taraftaki istasyonda birleştir)
10. Dur

3.3.8. Örnek Bir Çözüm

Bu bölümde, önerilen algoritmanın sahip olduğu özellikleri daha ayrıntılı bir biçimde gösterebilmek için aşağıdaki özelliklere sahip bir sayısal örnek ele alınacaktır.

- Bir çift- taraflı U-tipi montaj hattında Tek modellenmiş bir ürün montajı yürütülmektedir ($C = 5$).
- Örnek ile ilgili 12 adet görev bulunan öncelik diyagramı Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Görevlerle ilgili gerekli yön ve zaman bilgileri ise Tablo 3.1'de verilmiştir.

Örnek problem için önerilen algoritma tarafından üretilen dengelenmiş çözüme ait görev atamaları, yerleşim gözardı edilerek Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Her iki taraftaki istasyonlarda yürütülen görevlere ait görev numarası, görev yönü, görevin seçildiği taraf bilgisi, başlangıç süresi, tamamlanma süresi ve istasyon numarası bilgileri şekilde ayrıntılı bir biçimde gösterilmektedir.

		0				5			10			15
SOL	Görev-Yön-Taraf*		3-E-F	1-L-F	6-L-F		4-L-F	11-E-F				
	tt_i		2	2	1		3	2				
	tf_i		2	4	5		8	10				
	İstasyon No		1	1	1		2	2				
SAĞ	Görev-Yön-Taraf*		2-R-F	5-E-F	12-R-B		9-E-F	8-R-F		7-E-F	10-E-F	
	tt_i		3	1	1		2	3		3	2	
	tf_i		3	4	5		7	10		13	15	
	İstasyon No		1	1	1		2	2		3	3	
<p>* Görevin öncelik diyagramından seçildiği taraf (Front(Ön) ya da Back(Arka)) 3-2-1-5-12-6-9-4-8-11-7-10 L-R-L-R-R-L-R-L-R-L-L-R Toplam istasyon sayısı= 5, Çift-istasyon sayısı= 3, Fitness değeri= 5300</p>												

Şekil 3.6. Dengelenmiş Çözüm

Tablo 3.6. Sürüdeki 3 Parçacığın 2 Adım Boyunca Hareketleri

ADIM 1							ADIM 2								
PN	Yön-AT	CLF	CLB	Seçilen	Çözüm	PBEST	GBEST	PN	Yön-AT	CLF	CLB	Seçilen	Çözüm	PBEST	GBEST
P1	R-5	2 3	10 12	2	2-3-5-12-6-9-8-11-10-1-7-4 R-L-L-R-L-L-R-L-R-L-R-L- R-L- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	2-3-5-12-6-9-8-11-10-1-7-4 R-L-L-R-L-L-R-L-R-L-R-L- R-L- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6		P1	L-5	1 3 5		3	3-2-1-5-12-6-9-4-8-11-7-10 L-R-L-R-R-L-R-L-R-L-R-L- L-R- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 5	3-2-1-5-12-6-9-4-8-11-7-10 L-R-L-R-R-L-R-L-R-L-R-L- L-R- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 5	
	L-5	1 3 5		3											
	L-3	1 5 6		5											
	R-2		10 12	12											
	L-1	6		6											
	L-5	1 9		9											
	R-5	8 11	10 11	8											
	L-3	1 11		11											
	R-2		10	10											
	L-5	1		1											
R-5		7	7												
L-3	4		4												
P2	L-5	1 3		1	1-2-5-3-6-9-4-11-8-7-12-10 L-R-L-R-L-R-L-R-R-L-R-L- R-L- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	1-2-5-3-6-9-4-11-8-7-12-10 L-R-L-R-L-R-L-R-R-L-R-L- R-L- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	P1	P2	R-5	2 3	10 12	2	2-3-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 R-L-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- R-L- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	2-3-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 R-L-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- R-L- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	P1
	R-5	2 3	10 12	2											
	L-3	3 4 5		5											
	R-2	3	10 12	3											
	L-1	6		6											
	R-5	8 9	10 12	9											
	L-4	4 11		4											
	R-2	11	10 12	11											
	R-5	7 8 12	10 12	8											
	L-5	7		7											
R-2	10 12	10 12	12												
L-2	10		10												
P3	L-5	1 3		3	3-2-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 L-R-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- L-R- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	3-2-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 L-R-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- L-R- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	P1	P3	R-5	2	10 12	2	3-2-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 L-R-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- R-L- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	3-2-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 L-R-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- L-R- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	
	L-3	1 5 6		1											
	R-2	5	10 12	5											
	L-1	6		6											
	R-1		12	12											
	R-5	8 9	10 11	8											
	L-5	4 9		4											
	L-2	9		9											
	R-2	11	10 11	11											
	L-5	7		7											
R-3	10	10	10												
P3	L-5	1 3		3	3-2-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 L-R-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- L-R- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	3-2-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 L-R-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- L-R- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	P1	P3	R-5	2	10 12	2	3-2-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 L-R-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- R-L- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	3-2-1-5-6-12-8-4-9-11-7-10 L-R-L-R-L-R-R-L-R-L-R-L- L-R- Çift İstasyon = 3 Toplam İstasyon = 6	
	L-3	1 5 6		1											
	R-2	5	10 12	5											
	L-1	6		6											
	R-1		10 12	12											
	R-5	8 9	10 11	8											
	L-5	4 9		4											
	R-2	9	10 11	9											
	L-2	11		11											
	R-5	7	10	7											
L-3	10		10												

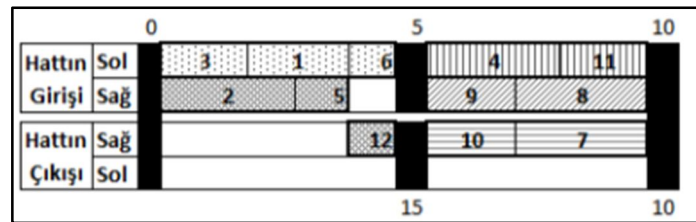
Dengelenmiş sonuç elde edilirken her bir adımda parçacıklar tarafından yürütülen işlemler Tablo 3.6’da görüntülenmiştir. Ön aday listesi (*CLF*) ve arka aday listesi (*CLB*) çözüm sürecinin her bir adımında öncelik kısıtlarına ve ele alınan hat tarafına bağlı olarak üretilip ve güncellenmektedir. Başlangıçta rastgele olarak elde edilen X ve V matrisleri de her bir adımda farklı değerler almaktadır. Elde edilen çözüme ait sonuç çözüm yerleşimleri sırasıyla Tablo 3.7 ve Şekil 3.7’de görüntülenmiştir.

Tablo 3.7. 5 adet İstasyon Bulunan Sonuç Yerleşimi

Hattın	Sol	3-1-6	4-11
Girişi	Sağ**	2-5-12*	9-8
Hattın	Sağ		10-7
Çıkışı	Sol		

*Geçişli-station

**Hattın merkezi sağ taraftır.



Şekil 3.7. Elde Edilen Sonucun Yerleşimi

3.4. Önerilen Algoritmanın Önceki Çalışmalardan Farkları

Yegül vd. (2011), yapmış oldukları çalışmalarında giriş kolu çift-tarafli, çıkış kolu ise düz biçimde olan ve U şeklinde tasarlanmış bir montaj hattı tasarımını ortaya koymuşlardır. Giriş kolundaki operatörler hattın her iki tarafında bulunurken çıkış kolundaki operatörler hattın iç kısmına yerleştirilmişlerdir. Bu tasarımda görevlerin atanabileceği 3 farklı konum bulunmaktadır. Ayrıca Yegül vd. toplam istasyon sayısını minimize etmek için çok-geçişli rastgele atama hat dengeleme algoritması önermişlerdir. Bu tez çalışmasında önerilen model ise 4 konuma sahip ve tam anlamıyla her iki kolu da çift-tarafli olan ve U şeklinde tasarlanmış bir montaj hattı yapısıdır. Ayrıca önerilen modeli çözmek için değiştirilmiş-PSO algoritması geliştirilmiştir.

Rabbani vd. (2012) çoklu U-şeklindeki yerleşime sahip karma-modelli çift- taraflı montaj hatları için bir karma tamsayı programlama modeli formüle etmiştir. Ayrıca problemi çözmek için genetik algoritma temelli bir sezgisel önermişlerdir. Bu tez çalışmasında önerilen model Rabbani vd.'nin yaklaşımından farklıdır. Çünkü onlar çift- taraflı montaj hattını kıvrımlı bir biçimde kurarak çoklu bir U yapısı önermektedirler. Oysa bu çalışmada önerilen model ise U biçiminde tasarlanmış bir çift- taraflı montaj hattı yapısıdır. Ayrıca önerilen çözüm yöntemi de yenidir.

Ağpak vd. (2012) ise çift- taraflı montaj hatlarının U şeklinde tasarlanarak bu iki montaj hattı yapısının avantajlı yönlerinin tam manasıyla bir araya getirildiği yeni bir montaj hattı yapısını ortaya koymuşlardır. Çift- taraflı düz bir montaj hattına göre daha geniş ancak daha kısa olan bu modelde hattın giriş ve çıkış kollarının her ikisi de çift- taraflı montaj hattı yapısındadır. Tasarımlarında görevlerin atanabileceği 4 farklı pozisyon bulunmaktadır. Bölgesel kısıtların da bulunduğu çalışmalarında MHD problemini çözmek için iki amaçlı 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir.

Bu tez çalışmasında geliştirilen sezgisel modelin çözümünde Ağpak vd.'nin önerdikleri matematiksel modelden yararlanılmıştır. Bu çalışmada Ağpak vd.'nin çalışmasından farklı olarak ürün montajının yapılmaya başlandığı kola bağlı olarak ortaya çıkabilecek her iki alternatif durum da ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. ÇUMHD problemini çözmek için önerilen sezgisel algorithmada bu iki farklı durum da göz önünde bulundurulmaktadır. Geliştirilen bu değiştirilmiş-PSO algoritmasının, ele alınan test problemleri için daha iyi sonuç elde ettiği gösterilmiştir.

4. BÖLÜM

ÖNERİLEN DEĞİŞTİRİLMİŞ-PSO ALGORİTMASININ TEST PROBLEMLERİNE UYGULAMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında önerilen PSO algoritmasının etkinliğinin test edilmesi için literatürde yer alan yedi farklı test problemi kullanılmıştır. Bu test problemlerinden dördü küçük boyutlu problem (P9, P12, P16, P24) ve üçü büyük boyutlu problemdir (P65, P148 ve P205). P9, P12 ve P24 problemleri Kim et al (2000a)'dan alınmıştır. P16 ve P65 problemleri Lee et al.(2001)'den, P148 ise Bartholdi (1993)'den alınmıştır. Algoritma etkinliğinin daha üst düzeyde test edilebilmesi için, daha büyük boyutlu bir problem olan P205 problemi (Lee et al., 2001) de çözülmüştür. Bu bölümde ele alınan tüm test problemlerine ait öncelik ilişkileri, görevlerin operasyon yönleri ve görev zamanları değiştirilmeden kullanılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında önerilen değiştirilmiş-PSO algoritmasının çözümünde hazır bir program kullanmak yerine Borland Delphi 7 programlama dilini kullanarak özgün bir yazılım geliştirilmiştir. Böylece geliştirilen çözüm yaklaşımının ele alınan problem yapısı ile tam uyumlu olması sağlanmıştır. Geliştirilen programın tüm test problemlerine kolay bir şekilde erişebilmesi ve üzerinde belirli işlemler yapabilmesi için her bir test problemine ait görev numarası, görev zamanı, görev yönü ve öncelik ilişkisi verileri için veritabanı tasarımı yapılmıştır. Tüm test problemleri ve bu test problemlerinin sahip olduğu her bir göreve ait veriler tasarlanan veritabanına girilmiştir.

Geliştirilen program, test problemi verilerine kolayca erişebilme olanağı sağlamanın yanında kullanımı kolay sade bir arayüze sahiptir. Ayrıca geliştirilen bu arayüz, algoritmanın sahip olduğu her bir parametrenin dinamik bir biçimde ayarlanabilmesine de olanak tanımaktadır.

Tez çalışmasında geliştirilen değiştirilmiş-PSO algoritması, tüm test problemleri için Intel Pentium R (Dual Core CPU) E5300, 2.6 GHz işlemcili ve 2 GB RAM bulunan bir kişisel bilgisayarda çalıştırılmıştır. Her bir test problemi için değiştirilmiş-PSO algoritması 10 kez çalıştırılmış ve elde edilen en iyi değerler sunulmuştur.

4.1. PSO Parametrelerinin Optimal Çözüm Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

ÇUMHD problemlerinde PSO parametrelerinin sonuç üzerindeki etkilerini incelemek için deney tasarımı kullanılmıştır. Bu amaçla, Tablo 4.1’de gösterilen 3 farklı problem çözülmüştür. Tüm çözümler için parçacık sayısı ve iterasyon sayısı 100 olarak alınmıştır.

Tablo 4.1. Örnek Problemler

Problem	Görev Sayısı	Çevrim Süresi	Alt Sınır
P12 Kim et al (2000a)	12	C=6	LB=5
P65 Lee et al.(2001)	65	C=381	LB=14
P205 Lee et al.(2001)	205	C=2643	LB=9

Tablo 4.2’de ise deney tasarımında kullanılan parametreler ve farklı parametre düzeyleri gösterilmiştir. Yapılan deney tasarımında; hem parametre sayısı hem de parametre düzeyi 3 alınarak, oluşabilecek her bir farklı durum için algoritma 3 kez çalıştırılmıştır. Bu durumda işlerin istasyona giriş yaptığı sol veya sağ kola bağlı olarak oluşabilecek her iki durum için toplam 243’er ($3 \times 3 \times 3^3$) deneme yapılmıştır.

Tablo 4.2. Parametre ve Parametre Düzeyleri

Parametre	Düzye		
	1	2	3
w	0,99	0,8	0,4
c ₁	1	0,8	0,4
c ₂	1	0,8	0,4

Algoritma parametrelerindeki değişimlerin elde edilen sonuçlar üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olup olmadığını ortaya koymak için, yapılan deney tasarımında elde edilen sonuçlar üzerinde ANOVA testi uygulanmıştır. Bu deney tasarımı, sol ve sağ durum için yapılmış ve elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Sağ Çözümüne ait ANOVA Sonuçları

PARAMETRE	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık Düzeyi
w	,008	2	,004	,000	1,000
c ₁	,008	2	,004	,000	1,000
c ₂	,008	2	,004	,000	1,000
w * c ₁	,016	4	,004	,000	1,000
w * c ₂	,016	4	,004	,000	1,000
c ₁ * c ₂	,016	4	,004	,000	1,000
w * c ₁ * c ₂	,033	8	,004	,000	1,000

Tablo 4.4. Sol Çözümüne ait ANOVA Sonuçları

PARAMETRE	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık Düzeyi
w	,230	2	,115	,007	,993
c ₁	,008	2	,004	,000	1,000
c ₂	,107	2	,053	,003	,997
w * c ₁	,313	4	,078	,005	1,000
w * c ₂	,214	4	,053	,003	1,000
c ₁ * c ₂	,214	4	,053	,003	1,000
w * c ₁ * c ₂	,428	8	,053	,003	1,000

Yapılan deney tasarımı sonucunda elde edilen ANOVA sonuçları, önerilen değiştirilmiş-PSO algoritma parametrelerindeki değişimlerin elde edilen sonuçlar üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle Algoritma ile ilgili parametre değerleri için literatürdeki çalışmalardan yararlanılmıştır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Algoritma Parametre Değerleri

Parametre	Değiştirilmiş PSO
Sürüdeki parçacık sayısı	100
Öğrenme faktörleri: c_1 , c_2	1
Inertia ağırlığı: w	0,8
Küçük boyutlu problemler için adım sayısı	100
Büyük boyutlu problemler için adım sayısı	250

4.2. Uygulama Sonuçları ve Değerlendirme

Geliştirilen değiştirilmiş-PSO algoritması tarafından tüm küçük ve büyük boyutlu test problemleri için elde edilen çift-terafı U-tipi montaj hattı dengeleme sonuçları, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de listelenmiştir. Literatürde çift-terafı U-tipi montaj hattı dengeleme problemi ile ilgili yeterli çalışma olmaması nedeniyle geliştirilen algoritmanın performansını ortaya koyabilmek için çift-terafı düz montaj hattı dengeleme problemi üzerine yapılan çalışmalardan da yararlanılmıştır. Bu tablolarda montaj işleminin yapılmaya başlandığı kola bağlı olarak oluşacak her iki farklı durum için de çözüm elde edilmiş ve sırasıyla sağ çözüm ve sol çözüm başlığı altında bu sonuçlar listelenmiştir.

Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de çift-terafı düz montaj hattı dengeleme problemi için Kim et al. (2000)’ın kullandığı Genetik Algoritma (GA1), Lee et al. (2001) ‘ın kullandığı grup atama prosedürü (GAPR), Baykasoğlu ve Dereli (2008)’nin kullandığı karınca-kolonisi temelli sezgisel (ACO) algoritma, Hu et al. (2008)’in kullandığı numaralandırma algoritması (EA), Simaria and Vilarinho (2009)’nın karınca koloni algoritması (2-ANTBAL), Özcan ve Toklu (2009b)’nun kullandığı Tabu arama algoritması (TSA), Özbakir ve Tapkan (2011)’in kullandığı arı algoritması (BA) ve Taha et al. (2011)’in kullandığı Genetik algoritma (GA2) sonuçları listelenmiştir. Bu tablolarda ayrıca çift-terafı U-tipi montaj hattı dengeleme problemi için Ağpak et al. (2012)’in kullandığı iki-amaçlı 0-1 tamsayı programlama (BiOIP) modeline ait sonuçlar da gösterilmiştir. Tüm problemlere ait çevrim zamanı ve alt sınır değerleri de tablolarda listelenmiştir.

Tablo 4.6. Küçük Boyutlu Test Problemlerine Ait Sonuçlar

Problem	Çevrim Zamanı	LB	Çift-tarafli Düz Montaj Hattı Dengeleme								Çift-tarfli U-tipi Montaj Hattı Dengeleme			
			GA1	GAPR	ACO	EA	ANTBAL	TSA	BA	GA2	BiOIP	Değiştirilmiş PSO		
												Sağ Çözüm	Sol Çözüm	
P9	3	6	6		6			6	6	6	6	6	6	
	4	5	5		5	5		5	5	5	5	5	5	
	5	4	4		4	4		4	4	4	4	4	4	
	6	3	3		3			3	3	3	3	3	3	
P12	4	7							7	7		7	7	
	5	5	6		6			6	6	6	5	5	5	
	6	5	5		5	5		5	5	5	5	5	5	
	7	4	4		4	4		4	4	4	4	4	4	
	8	4				4		4	4	4	4	4	4	
P16	15	6							6	6	6	6	6	
	16	6				6		6	6	6	6	6	6	
	18	5							6	6	5	5	6	
	19	5				6		5	5	5	5	5	5	
	20	5							5	5	5	5	5	
	21	4				5		5	5	5	4	4	4	
	22	4		4		4		4	4	4	4	4	4	
P24	18	8				8		8	8	8	8	8	8	
	20	7	8		8	8		8	8	8	7	7	7	
	24	6				7		6	6	6	6	6	6	
	25	6	6		6	6		6	6	6	6	6	6	
	30	5	5		5			5	5	5	5	5	5	
	35	4	4		4			4	4	4	4	4	4	
	40	4	4		4			4	4	4	4	4	4	

LB:Alt sınır değerler.

Tablo 4.6’da görüldüğü gibi önerilen algoritma çok etkin çalışmaktadır ve tüm küçük boyutlu problemler için alt sınır çözüm değerlerine (LB) ulaşmaktadır.

Tablo 4.7. Büyük Boyutlu Test Problemlerine Ait Sonuçlar

Problem	Cycle Time	LB	Çift-terafı Düz Montaj Hattı Dengeleme							Çift-terafı U-tipi Montaj Hattı Dengeleme			
			GAI	GAPR	ACO	EA	ANTBAL	TSA	BA	GA2	BiOIP	Değiştirilmiş PSO	
												Sağ Çözüm	Sol Çözüm
P65	326	16		17	17		17	17	17	17	18	17	17
	381	14		15	15		14	15	14	14	14	14	14
	435	12		13	13		13	13	12	13	14	12	12
	490	11		12	12		12	11	11	11	12	11	11
	544	10		10	10		10	10	10	10	11	10	10
P148	204	26		27	26		26	26	26	27		26	26
	255	21		21	21		21	21	21	21		21	21
	306	17		18	18		18	18	17	18		17	17
	357	15		15	15		15	15	15	15		15	15
	408	13		14	14		14	13	13	13		13	13
	459	12		13	12		12	12	12	12		12	12
	510	11		11	11			11	11	11		11	11
P205	1133	21		23	24		22	24	22	22		22	22
	1322	18		20	22		20	21	20	20		19	19
	1510	16		20	18		17	18	17	17		17	17
	1699	14		16	18		15	17	16	15		15	15
	1888	13		16	15		13	16	14	14		13	13
	2077	12		14	14		12	14	12	12		12	12
	2266	11		13	12		12	13	12	11		11	11
	2454	10		12	12		10	12	11	10		10	10
	2643	9		12	11		10	11	10	10		10	10
	2832	9		10	10		10	10	10	9		9	9

LB:Alt sınır değerler.

Tablo 4.7’de büyük boyutlu test problemleri için literatürde yer alan diğer çözüm yaklaşımlarının ve önerilen algoritmanın elde ettiği sonuçlar listelenmiştir. Büyük boyutlu problemlerden olan P65 probleminin dört farklı çevrim zamanı durumu için verilmiş örneklerinin tamamında değiştirilmiş-PSO algoritması alt sınır çözüm değerlerini elde etmiştir. P65 probleminin çevrim zamanı değerı ‘326’ için daha önce elde edilmiş en iyi değere ulaşılmıştır. Büyük boyutlu problemlerden olan P148 probleminin ise tüm çevrim zamanı değerı örnekleri için alt sınır değerleri elde

edilmiştir. Sonuncu ve en büyük boyutlu problem olan P205 probleminin beş çevrim zamanı örneği için alt sınır değerler elde edilmiştir. Çevrim zamanı değeri '1322' için şu ana kadarki en iyi çözüm değeri elde edilmiştir. Diğer dört çevrim zamanı örneği için ise daha önce elde edilmiş en iyi değerlere ulaşılmıştır.

Sonuç olarak; ÇUMHD probleminin çözümü için geliştirilen değiştirilmiş-PSO algoritmasının küçük boyutlu problemler için alt sınır değerlerini elde ettiği, büyük boyutlu problemler için de alt sınır değerlerini ya da en iyi çözüm değerlerini elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle geliştirilen algoritmanın, hem küçük hem de büyük boyutlu problemler için başarılı sonuçlar elde ettiği söylenebilir.

SONUÇ

Bu tez çalışması ile tek modelli, deterministik görev zamanlı ÇUMHD modeli ortaya konmuş ve bu modele ait ÇUMHD problemini çözmek için bir değiştirilmiş-PSO algoritması geliştirilmiştir. Önerilen algoritma, verilen çevrim zamanı için sırasıyla toplam istasyon sayısını ve toplam çift-istasyon sayısını minimize edecek şekilde çalışmaktadır.

Tam anlamıyla ÇUMHD yapısı ile ilgili olarak literatürde geliştirilmiş sadece bir model bulunmaktadır. Ağpak vd. (2012) yaptıkları çalışmalarında ÇUMHD problemini çözmek için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Ayrıca Yegül vd. (2010) giriş kolu çift- taraflı, çıkış kolu ise düz biçimde olan U şeklinde bir montaj hattı yapısı önermişlerdir. Literatürde bunların dışında ÇUMHD problemine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır.

Geliştirilen çözüm yaklaşımının daha iyi anlaşılabilmesi için örnek bir çözümden yararlanılmıştır. Bu örnek çözümde 12 görevden oluşan bir test problemi ele alınmış çevrim zamanı olarak da 5 değeri kullanılmıştır. Çözüm elde edilirken parçacıkların aldığı değerler tablo halinde ortaya konarak algoritma adımları ayrıntılı bir biçimde gösterilmiştir.

Bu tez çalışmada çift- taraflı bir montaj hattını U şeklinde tasarlayarak U-tipi montaj hatları ile çift- taraflı montaj hatlarının sahip olduğu avantajlı yönler bir araya getirilmiştir. Böylece müşteri beklentilerinin değişkenlik gösterdiği ve rekabetin yoğun bir biçimde yaşandığı günümüz şartlarında, özellikle büyük hacimli ürünlerin üretildiği üretim işletmelerinin daha avantajlı bir duruma gelebilecekleri yeni bir montaj hattı yapısı ortaya konmuştur. Böylece bu tarz işletmeler montaj hatlarını daha iyi

dengeleyerek sistem etkinliğini arttıracak ve rakiplerine rekabet üstünlüğü sağlayabileceklerdir.

PSO algoritması, ilk olarak Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından sürekli problemler için geliştirilmiş popülasyon temelli stokastik bir optimizasyon tekniğidir. PSO kombinatoriyel problemlerin çözümünde son zamanlarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Klasik PSO algoritması, yüksek yakınsama sorunu nedeniyle büyük boyutlu problemler ele alındığında en iyi çözümlere ulaşma konusunda yetersiz kalabilmektedir. Bu sorunu gidermek amacıyla görev seçim prosedürü ve pozisyon matrisi güncelleme prosedürü geliştirilerek temel PSO yapısına entegre edilmiştir. Değiştirilmiş-PSO algoritmasında bulunan bu yeni yaklaşımlar ile algoritma etkinliği arttırılmıştır.

Önerilen algoritmanın etkinliğini gösterebilmek için çift- taraflı montaj hatları ile ilgili çalışmalarda kullanılan test problemleri çözülmüştür. Bu problemlerden dördü küçük boyutlu üçü ise büyük boyutlu olmak üzere toplam 7 adettir. Tüm test problemlerinin çözülmesi ile elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın alt sınır değerlerini ya da şu ana kadar elde edilmiş en iyi değerleri elde ettiğini göstermektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda aşağıda belirtilen hususlar değerlendirmeye alınabilir:

- Bu tez çalışmasında önerilen değiştirilmiş-PSO algoritması paralel MHD problemlerini çözmek için de kullanılabilir.
- Karma modellenli ÇUMHD problem yapısı geliştirilerek önerilen çözüm yöntemi ile ya da farklı sezgisel çözüm yöntemleri ile çözüm geliştirilebilir.
- Çok amaçlı ÇUMHD problem yapısı geliştirilerek önerilen çözüm yöntemi ile ya da farklı sezgisel çözüm yöntemleri ile çözüm geliştirilebilir.
- Önerilen problemin stokastik sürümü incelenerek çözüm yöntemi geliştirilebilir.
- Ayrıca benzer problemler için quantum-temelli PSO yaklaşımı da uygulanabilir (Sun et al. 2004).

KAYNAKLAR

- Aghajani, M., Ghodsi, R., Javadi, B. (2014). "Balancing of Robotic Mixed-Model Two-Sided Assembly Line with Robot Setup Times". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI 10.1007/s00170-014-5945-x.
- Ağpak, K. ve H. Gökçen. (2001). "U-Tipi Montaj Hattı Dengelenmesi için Bir Sezgisel Metot: Düzenlenmiş COMSOAL (U-COMSOAL)", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*. 12 (2). 23-32.
- Ağpak, K. ve H. Gökçen. (2002). "Basit U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*. 4 (2). 29-40.
- Ağpak, K., Yegül, M.F., Gökçen, H. (2012). "Two-sided U-type Assembly Line Balancing Problem". *International Journal of Production Research*, 50 (18), 5035-5047.
- Ai TJ, Kachitvichyanukul V. (2009). "A Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery". *Computers & Operations Research*, 36(5):1693-1702.
- Aigbedo H, Monden Y. (1997). "A Parametric Procedure for Multi-Criterion Sequence Scheduling for Just-in-time Mixed-Model Assembly Lines". *International Journal of Production Research*, 35: 2543-2564.
- AlGeddawy, T., ElMaraghy, H., (2010). "Design of Single Assembly Line for the Delayed Differentiation of Product Variants". *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 22 (3-4), 163-182.
- Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., Persona, A. (2012a). "Mixed Model Assembly System with Multiple Secondary Feeder Lines: Layout Design and Balancing Procedure

- for ATO Environment”. *International Journal of Production Research*, 50 (18), 5132–5151.
- Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., Persona, A. (2012b). “Sequencing Procedure for Balancing The Workloads Variations in Case of Mixed Model Assembly System with Multiple Secondary Feeder Lines”. *International Journal of Production Research*, 50 (21), 6081–6098.
- Baker, K.R., Powell, S.G., Pyke, D.F., (1990). “Buffered and Unbuffered Assembly Systems with Variable Processing Times”. *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 3, 200–223.
- Bartholdi JJ. (1993). “Balancing Two-sided Assembly Lines: A Case Study”. *International Journal of Production Research*, 31, 2447–2461.
- Battaia O, Dolgui A. (2013). “A Taxonomy of Line Balancing Problems and Their Solution Approaches”. *International Journal of Production Economics*, 142, 259–277.
- Battini, D., Faccio, M., Ferrari, E., Persona, A., Sgarbossa, F., (2007). “Design Configuration for a Mixed-Model Assembly System in Case of Low Product Demand”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34 (1), 188–200.
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., (2008). “Balancing–Sequencing Procedure for a Mixed Model Assembly System in Case of Finite Buffer Capacity”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44(3), 345-359.
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., (2010). “Evaluation of The Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem with Variable Operation Times and Product Mix”. *International Journal of Services and Operations Management*, 6(2), 126-148.

- Baybars I. (1986a). "A Survey of Exact Algorithms for the Simple Line Balancing Problem". *Management Science*, 32; 909-932.
- Baybars I. (1986b). "An Efficient Heuristic Method for the Simple Assembly Line Balancing Problem". *International Journal of Production Research*, vol. 24, No. 1.
- Baykasoğlu A, Dereli T. (2008). "Two-sided Assembly Line Balancing Using an Ant-Colony-Based Heuristic". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36; 582-588.
- Becker C, Scholl A. (2006). "A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing". *European Journal of Operational Research*, 168; 694-715.
- Bergh FV, Engelbecht AP. (2000). "Cooperative Learning in Neural Networks Using Particle Swarm Optimizers". *South African Computer Journal*, 26:84–90.
- Boctor, F. (1995). "A Multiple-Rule Heuristic for Assembly Line Balancing". *Journal of the Operational Research Society*, 46, 62–69.
- Boucher, T.O. (1987). "Choice of Assembly Line Design Under Task Learning". *International Journal of Production Research*, 25, 513–524.
- Bowman, E.H. (1960). "Assembly Line Balancing by Linear Programming", *Operations Research*, 8(3):385-389.
- Boysen N, Fliedner M, Scholl A. (2007). "A Classification of Assembly Line Balancing Problems". *European Journal of Operational Research*, 183, 674-693.
- Bryton, B., (1954), "Balancing of a Continuous Production Line". M.Sc. Thesis, Northwestern University.

- Buzacott, J.A., (1968). "Prediction of The Efficiency of Production Systems without Internal Storage". *International Journal of Production Research*, 6, 173–188.
- Chakravarty, A.K., (1988). "Line balancing with task learning effects". *IIE Transactions*, 20, 186–193.
- Cheng, C. H., J. Miltenburg and J. Motwani. (2000). "The Effect of Straight- and UShaped Lines on Quality The Effet of Straight". *IEEE Transactions on Engineering Management*, 47 (3). 321-334.
- Chutima, P., Chimklai, P. (2012). "Multi-objective Two-Sided Mixed-Model Assembly Line Balancing Using Particle Swarm Optimisation with Negative Knowledge". *Computers and Industrial Engineering*, 62 (1), 39-55.
- Chutima, P., Jitmetta, K. (2013). "Adaptive Biogeography-Based Optimisation for Two-Sided Mixed-Model Assembly Line Sequencing Problems". *International Journal of Operational Research*, 16 (4), 390-420.
- Chutima, P.,Naruemitwong, W. (2014). "A Pareto Biogeography-Based Optimisation for Multi-Objective Two-Sided Assembly Line Sequencing Problems with a Learning Effect". *Computers and Industrial Engineering*, 69 (1), 89-104.
- Cortés, P., Onieva, L., Guadix, J., (2010). "Optimising and Simulating The Assembly Line Balancing Problem in a Motorcycle Manufacturing Company: A Case Study". *International Journal of Production Research* 48 (12), 3637–3656.
- Dolgui, A., Guschinsky, N., Levin, G., Proth, J., (2008). "Optimisation of Multi-Position Machines and Transfer Lines". *European Journal of Operational Research* 185 (3), 1375–1389.
- Dolgui, A., Proth, J., (2010). "Supply Chain Engineering: Useful Methods and Techniques". Springer.

- Dou, J., Dai, X., Meng, Z., (2011). "A GA-based Approach for Optimizing Single-Part Flow-Line Configurations of RMS". *Journal of Intelligent Manufacturing* 22 (2), 301–317.
- Erel E, Sarin S. C. (1998). "A Survey of The Assembly Line Balancing Procedures". *Production Planning and Control*,; 9; 414-434.
- Erel. E., I. Sabuncuoğlu and B. A. Aksu. (2001). "Balancing of U-type Assembly Systems Using Simulated Annealing". *International Journal of Production Research*. 39 (13). 3003–3015.
- Fan, S. S., & Chang, J. (2009). "A Parallel Particle Swarm Optimization Algorithm for Multi-Objective Optimization Problems". *Engineering Optimization*, 41(7), 673–697.
- Gao J, Sun L, Gen M. (2008). "A Hybrid Genetic and Variable Neighborhood Descent Algorithm for Flexible Job Shop Scheduling Problems". *Computers & Operations Research*, 35(9):2892-2907.
- Ghosh, S. and Gagnon, J., (1989). "A Comprehensive Literature Review and Analysis of The Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems", *International of Production Research*, 27(4):637-670.
- Gökçen H., (1994). "Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Modeller", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gökçen, H., Agpak, K., Gencer, C., Kizilkaya, E., (2005). "A Shortest Route Formulation of Simple U-Type Assembly Line Balancing Problem", *Applied Mathematical Modelling*, 29: 373-380.
- Gökçen, H., Agpak, K. (2006). "A Goal Programming Approach to Simple U-Line Balancing Problem", *European Journal of Operational Research*, 171: 577-585.

- Gutjahr AL, Nemhauser GL. (1964). "An Algorithm for The Line Balancing Problem". *Management Science*, 11(2), 308-315.
- Hamzadayi,A., Yildiz, 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
- Heizer J., Render B., (2008). *Operations Management (9th ed)*. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Helgeson, N. B., Birnie, D. P. (1961). "Assembly Line Balancing Using The Ranked Positional Weight Technique". *Journal of Industrial Engineering*, 12(6), 394-398.
- Hillier, F.S., So, K.C., (1991). "The Effect of Machine Breakdowns and Interstage Storage on The Performance of Production Line Systems". *International Journal of Production Research* 29, 2043–2055.
- Hillier, F.S., So, K.C., Boling, R.W., (1993). "Toward Characterizing The Optimal Allocation of Storage Space in Production Line Systems with Variable Processing Times". *Management Science* 39, 126–133.
- Hoffman, T. R. (1963). "Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix". *Management Science*. 9 (4), 39-47.
- Hoffmann, T. (1992). "EUREKA: A Hybrid System for Assembly Line Balancing". *Management Science*, 38, 39–47.
- Hu X-F, Wu E-W, Jin Y. (2008). "A Station-Oriented Enumerative Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing". *European Journal of Operational Research*, 186; 435-440.

- Hu, X., Wu, E., Bao, J., & Jin, Y. (2010). "A Branch-And-Bound Algorithm to Minimize The Line Length of a Two-Sided Assembly Line". *European Journal of Operational Research*, 206:703-707.
- Hwang, R. K., H. Katayama and M. Gen. (2008). "U-shaped Assembly Line with Genetic Algorithm". *International Journal of Production Research*. 46 (16). 4637-4649.
- Hwang, R. K. and H. Katayama. (2010). "Uniform Workload Assignments for Assembly Line by GA-based Amelioration Approach". *International Journal of Production Research*. 48 (7). 1857-1871.
- Jackson, J.R. (1956). "A Computing Procedure For a Line Balancing with a Precedence Matrix", *Management Science*, 2: 261-272.
- Johnson, R. V. (1991). "Balancing Assembly Lines for Teams and Work Groups". *International Journal of Production Research*, 29, 1205–1214.
- Kara Y., Ozcan, U., Peker, A. (2007). "An Approach for Balancing and Sequencing Mixed-Model JIT U-Lines". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32, 1218–1231.
- Kara, Y. and M. Tekin. (2009). "A Mixed Integer Linear Programming Formulation for Optimal Balancing of Mixed-Model U-Lines". *International Journal of Production Research*. 47 (15). 4201-4233.
- Kara, Y., Paksoy, T., Chang, C., (2009). "Binary Fuzzy Goal Programming Approach to Single Model Straight and U-Shaped Assembly Line Balancing". *European Journal of Operational Research*, 195 (2), 335–347.
- Kazemi, S. M., Ghodsi, R., Rabbani, M., & Moghaddam, R. T. (2011). "A Novel Twostage Genetic Algorithm for a Mixed-Model U-Line Balancing Problem

with Duplicated Tasks”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55, 1111–1122.

Kennedy J, Eberhart R. C. (1995). “Particle Swarm Optimization”. In *IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, 1942–1948*.

Kennedy J, Eberhart R.C. (1997). “A Discrete Binary Version of The Particle Swarm Optimization”. *Proc. Of The Conference on Systems, Man, and Cybernetics SMC97*, 4104-4108.

Kennedy, J, Eberhart, R. C. & Shi, Y. (2001). “Swarm Intelligence”. *San Francisco, CA: Morgan Kaufman*.

Khorasani, D., Hejazi, S.R., Moslehi, G. (2013). ”Two-sided Assembly Line Balancing Considering The Relationships Between Tasks”. *Computers and Industrial Engineering*, 66 (4), 1096-1105.

Kilbridge, M. D., Wester, L. (1961). “A Heuristic Method of Assembly Line Balancing”. *The Journal of Industrial Engineering*, 12(4), 292-298.

Kim, Y.K., Kim, Y.J., Kim, Y.H. (1996). “Genetic Algorithms for Assembly Line Balancing with Various Objectives”, *Computers & Industrial Engineering*, 30(3), 397–409.

Kim Y. K., Kim Y, Kim J. Y. (2000a). “Two-sided Assembly Line Balancing: A Genetic Algorithm Approach”. *Production Planning and Control*, 11; 44-53.

Kim, Y. K., Kim, S. J., Kim, J. Y. (2000b). “Balancing and Sequencing Mixed Model U-Lines With a Co-Evolutionary Algorithm”. *Production Planning and Control*, 11, 754-764.

- Kim, Y.K., Kim, J.Y., Kim, Y. (2006). “An Endosymbiotic Evolutionary Algorithm for The Integration of Balancing and Sequencing in Mixed-Model U-Lines”, *European Journal of Operational Research*, 168: 838-852.
- Kim YK, Song WS, Kim JH. (2009). “A Mathematical Model and a Genetic Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing”. *Computers and Operations Research*, 36; 853-865.
- Ko, J., Hu, J., (2008). “Balancing of Manufacturing Systems with Complex Configurations for Delayed Product Differentiation”. *International Journal of Production Research*, 46 (15), 4285–4308.
- Kobu, B. (2013). “Üretim Yönetimi”. (16. Baskı). İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.
- Kucukkoc, I., Zhang, D. Z. (2014). ”Simultaneous Balancing and Sequencing of Mixed-Model Parallel Two-Sided Assembly Lines”. *International Journal of Production Research*, 52 (12), 3665-3687.
- Lapierre SD, Ruiz A. B. (2004). “Balancing Assembly Lines: an Industrial Case Study”. *Journal of the Operational Research Society*, 55; 589-597.
- Lee TO, Kim Y, Kim YK. (2001). “Two-sided Assembly Line Balancing to Maximize Work Relatedness and Slackness”. *Computers and Industrial Engineering*, 40; 273-292.
- Li, S., Wang, H., Hu, S., Lin, Y., Abell, J., (2011). “Automatic Generation of Assembly System Configuration with Equipment Selection for Automotive Battery Manufacturing”. *Journal of Manufacturing Systems*, 30 (4), 188–195.
- Li, D., Zhang, C., Shao, X., Lin, W. (2014). ”A Multi-Objective TLBO Algorithm for Balancing Two-Sided Assembly Line with Multiple Constraints”. *Journal of Intelligent Manufacturing*, DOI 10.1007/s10845-014-0919-2.

- Liao, C. J., Tseng, C. T., & Luarn, P. (2007). "A Discrete Version of Particle Swarm Optimization for Flowshop Scheduling Problems". *Computers & Operations Research*, 34, 3099–3111.
- Liu B, Wang L, Jin Y. (2008). "An Effective Hybrid PSO-based Algorithm for Flow Shop Scheduling with Limited Buffers". *Computers & Operations Research*, 35(9):2791-2806.
- McMullen PR, Frazier GV. (1998). "Using Simulated Annealing to Solve a Multi-Objective Assembly Line Balancing Problem With Parallel Stations". *International Journal of Production Research*, 36:2717–2741.
- McMullen, P., Tarasewich, P., (2003). "Using Ant Techniques to Solve the Assembly Line Balancing Problem". *IIE Transactions*, 35, 605–617.
- Mendes, A., Ramos, A., Simaria, A., Vilarinho, P., (2005). "Combining Heuristic Procedures and Simulation Models for Balancing a PC Camera Assembly Line". *Computers & Industrial Engineering*, 49 (3), 413–431.
- Meyers, F.E. and Stephens, M.P., (2005). "Manufacturing Facilities Design And Material Handling", 3rd Ed., Pearson Prentice-Hall, New Jersey, 109-112.
- Miltenburg, J., Wijngaard, J. (1994). "The U-Line Line Balancing Problem", *Management Science*, 40: 1378-1388.
- Miltenburg J. (1998). "Balancing U-lines in a Multiple U-line Facility". *European Journal of Operational Research*, 109: 1-23.
- Miltenburg, J. (2000), "The Effect of Breakdowns on U-Shaped Production Lines", *International Journal of Production Research*. 38 (2), 353-364.
- Miltenburg, J. (2001). "U-shaped Production Lines: A Review of Theory and Practice". *International Journal of Production Economics*. 70 (3). 201–214.

- Miltenburg, J. (2002). "Balancing and Scheduling Mixed Model U-Shaped Production Lines". *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 14 (2). 119-151.
- Moodie, C. L., Young, H. H. (1965). "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times". *Journal of Industrial Engineering*, 16, 23-29.
- Mohammed AW, Sahoo NC, Geok TK. (2008). "Solving Shortest Path Problem Using Particle Swarm Optimization". *Applied Soft Computing*, 8(4):1643-1653.
- Nearchou, A.C. (2011). "Maximizing Production Rate and Workload Smoothing in Assembly Lines Using Particle Swarm Optimization". *International Journal of Production Economics*, 129, 242–250.
- Ohno, K. and Nakade, K. (1997). "Analysis and Optimization of U-Shaped Production Line", *Journal of the Operation Research Society of Japan*, 40(1):90-104.
- Özbakir, L., Tapkan, P. (2010). "Balancing Fuzzy Multi-Objective Two-Sided Assembly Lines via Bees Algorithm". *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 21 (5), 317-329.
- Özbakir, L., 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, Toklu B. (2009a). "Multiple-Criteria Decision-Making in Two-Sided Assembly Line Balancing: A Goal Programming and a Fuzzy Goal Programming Models". *Computers and Operations Research*, 36; 1955-1965.

- Özcan U, Toklu B. (2009b). "A Tabu Search Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43; 822-829.
- Özcan U, Toklu B. (2009c). "Balancing of Mixed-Model Two-Sided Assembly Lines". *Computers and Industrial Engineering*, 57; 217-227.
- Özcan, U. (2009). , "Çift- Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Çözüm Önerileri", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara.
- 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., Gökçen, H., Toklu, B. (2010). "Balancing Parallel Two-Sided Assembly Lines". *International Journal of Production Research*, 48 (16), 4767-4784.
- Özcan, U., Toklu, B. (2010). "Balancing Two-Sided Assembly Lines with Sequence-Dependent Setup Times". *International Journal of Production Research*, 48 (18), 5363-5383.
- Pan Q, Tasgetiren MF, Liang Y. (2008). "A Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm for The No-wait Flowshop Scheduling Problem". *Computers & Operations Research*, 35(9):2807-2839.
- Patterson, J. H. and J. J. Albracht. (1975). "Assembly Line Balancing: 0-1 Programming with Fibonacci Search". *Operations Research*, 23 (1). 166-174.
- Petropoulos DI, Nearchou AC. (2011). "A Particle Swarm Optimization Algorithm for Balancing Assembly Lines". *Assembly Automation*, 31(2):118-129.

- Pike, R., Martin, G.E., (1994). "The Bowl Phenomenon in Unpaced Lines". *International Journal of Production Research*, 32, 483–499.
- Purnomo, H.D., Wee, H.-M., Rau, H. (2013). "Two-Sided Assembly Lines Balancing with Assignment Restrictions". *Mathematical and Computer Modelling*, 57 (1-2), 189-199.
- Rabbani, M., Moghaddam, M., Manavizadeh, N. (2012). "Balancing of Mixed-Model Two-Sided Assembly Lines with Multiple U-Shaped Layout". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59 (9-12), 1191-1210.
- Rekiek, B., Delchambre, A., (2006). "Assembly Line Design. The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms", London: *Springer*.
- Roshani, A., Fattahi, P., Roshani, A., Salehi, M., Roshani, A. (2012). "Cost-Oriented Two-Sided Assembly Line Balancing Problem: a Simulated Annealing Approach". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25 (8), 689-715.
- Sabuncuoğlu, İ., E. Erel and A. Alp. (2009). "Ant Colony Optimization for The Single Model U-Type Assembly Line Balancing Problem". *International Journal of Production Economics*. 120 (2). 287-300.
- Salman A, Ahmad I, Al-Madani S. (2003). Particle Swarm Optimization for Task Assignment Problem". *Microprocessors and Microsystems*, 26:363–371.
- Salveson, M. E. (1955). "The Assembly Line Balancing Problem", *Journal of Industrial Engineering*, 6, 18-25.
- Scholl, A. (1999). "Balancing And Sequencing Of Assembly Lines". Physica-Verlag, Heidelberg.

- Scholl A, and Klein R. (1999). "ULINO: Optimally Balancing U-Shaped JIT Assembly Lines", *International Journal of Production Research*, 37(4):721–736.
- Scholl A, Becker C. (2006). "State-of-the-art Exact and Heuristic Solution Procedures for Simple Assembly Line Balancing". *European Journal of Operational Research*, 168; 666-693.
- Sha DY, Hsu C. (2006). "A Hybrid Particle Swarm Optimization for Job Shop Scheduling Problem". *Computers & Industrial Engineering*, 51:791–808.
- Sheu, D., Chen, J., (2008). "Line Balance Analyses for System Assembly Lines in an Electronic Plant". *Production Planning & Control*, 19 (3), 256–264.
- Shi Y, Eberhart R.C. (1998). "A Modified Particle Swarm Optimizer". *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*, USA, 69–73.
- Shi Y, Eberhart R.C. (1999). "Empirical Study of Particle Swarm Optimization". *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*. *IEEE Press*, 1945–1950.
- Simaria AS, Vilarinho PM. (2009). "2-ANTBAL: An Ant Colony Optimisation Algorithm for Balancing Two-Sided Assembly Lines". *Computers and Industrial Engineering*, 56; 489-506.
- Sivasankaran P, Shahabudeen P. (2014). "Literature Review of Assembly Line Balancing Problems". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73, 9-12, 1665-1694.
- Sparling, D. and Miltenburg, J. (1998). "Mixed-model U-Line balancing", *International Journal of Production Research*, 36:485–501.

- Suhail, A., (1983). "Reliability and Optimization Considerations in a Conveyor-Paced Assembly Line System". *International Journal of Production Research*, 21, 627–640.
- Suresh G, Sahu S. (1994). "Stochastic Assembly Line Balancing Using Simulated Annealing". *International Journal of Production Research*, 32:1801–1810.
- Suresh G, Vinod VV, Sahu S. (1996). "Genetic Algorithm for Assembly Line Balancing". *Production Planning and Control*, 7:38–46.
- Sun J, Xu W, Feng B. (2004). "A Global Search Strategy of Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization". *Proceedings of the 2004 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, 1, 111-116.
- Taha, R.B., El-Kharbotly, A.K., Sadek, Y.M., Afia, N. H. (2011). "A Genetic Algorithm for Solving Two-Sided Assembly Line Balancing Problems". *Ain Shams Engineering Journal*, 2, 227-240.
- Talbot, F. B. and J. H. Patterson. (1984). "An Integer Programming Algorithm with Network Cuts for Solving the Single Model Assembly Line Balancing Problem". *Management Science*. 30 (1). 85-99.
- Tanyaş, M. and Baskak, M. (2012). *Üretim Planlama ve Kontrol*. (4. Baskı). İstanbul: İrfan Yayıncılık ve Tanıtım Ltd. Şti.
- Tapkan, P., Ozbakir, L., Baykasoglu, A. (2012a). "Modeling and Solving Constrained Two-Sided Assembly Line Balancing Problem via Bee Algorithms". *Applied Soft Computing Journal*, 12 (11), 3343-3355.
- Tapkan, P., Özbakir, L., Baykasoğlu, A. (2012b). "Bees Algorithm for Constrained Fuzzy Multi-Objective Two-Sided Assembly Line Balancing Problem". *Optimization Letters*, 6 (6), 1039-1049.

- Tasgetiren MF, Liang Y-C. (2003). A Binary Particle Swarm Optimization Algorithm for Lot Sizing Problem”. *Journal of Economic and Social Research*, 5(2):1–20.
- Toklu, B., Özcan, U. (2008). “A Fuzzy Goal Programming Model for The Simple U-Line Balancing Problem with Multiple Objectives”, *Engineering Optimization*, 40(3): 191- 204.
- Urban, T. L. (1998). “Note: Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines”, *Management Science*, 44(5):738–741.
- Urban, T. L. and Chiang, W-C. (2006). “An Optimal Piecewise-Linear Program for The U-Line Balancing Problem with Stochastic Task Times”, *European Journal of Operational Research*, 168:771–782.
- Wang, B., Guan, Z., Li, D.,Zhang, C., Chen, L. (2014). ”Two-Sided Assembly Line Balancing with Operator Number and Task Constraints: A Hybrid Imperialist Competitive Algorithm”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI 10.1007/s00170-014-5816-5.
- Wee, T.S., Magazine, M.J., (1982). “Assembly Line Balancing as Generalized Bin Packing”. *Operations Research Letters*, 1/2, 56–58.
- Wu E-F, Jin Y, Bao J-S, Hu X-F. (2008). “A Branch-And-Bound Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39; 1009-1015.
- Xiaofeng, H., Erfei, W.,Jinsong, B., 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.
- Yegul, M.F., Agpak, K., and Yavuz, M. (2010). “A New Algorithm for U-Shaped Two-Sided Assembly Line Balancing”. *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, 34 (2), 225–241.

- Yuan, B., Zhang, C., Shao, X. (2013). "A Late Acceptance Hill-Climbing Algorithm for Balancing Two-Sided Assembly Lines with Multiple Constraints". *Journal of Intelligent Manufacturing*, DOI 10.1007/s10845-013-0770-x.
- Zhang, Z., & Cheng, W. (2010). "Solving Fuzzy U-Shaped Line Balancing Problem with Exact Method". *Applied Mechanics and Materials*, 26-28, 1046-1051.
- Zobolas GI, Tarantilis CD, Ioannou G. (2009). "Minimizing Makespan in Permutation Flow Shop Scheduling Problems Using a Hybrid Metaheuristic Algorithm". *Computers & Operations Research*, 36(4):1249-1267.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Yılmaz DELİCE

Uyruğu: Türkiye Cumhuriyeti (T.C.)

Doğum Tarihi ve Yeri: 14 Ağustos 1980, KAYSERİ

Medeni Durumu: Evli

Tel: +90 352 621 98 99 / 112

Fax: +90 352 621 95 15

Email: ydelice@erciyes.edu.tr

Yazışma Adresi: Develi Hüseyin Şahin Meslek Yüksekokulu Develi / KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	E.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü	2008
Lisans	E.Ü. Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği	2004
Lise	Kayseri Lisesi	1999

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2006-2010	Tomarza Dadaloğlu Battal Topuz Lisesi / KAYSERİ	Bilişim Teknolojileri Öğretmeni
2010-2011	Hürriyet Teknik ve EML / KAYSERİ	Bilişim Teknolojileri Öğretmeni
2011-Halen	Erciyes Üniversitesi, Develi Hüseyin Şahin Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Delice Y., Aydoğan E. K., Özcan U., İlkay M. S. (2014). “A modified particle swarm optimization algorithm to mixed-model two-sided assembly line balancing”. *Journal of Intelligent Manufacturing*, DOI 10.1007/s10845-014-0959-7
2. Özbakır, L., Delice, Y. (2010). “Exploring comprehensible classification rules from trained neural Networks integrated with a time-varying binary particle swarm optimizer”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, doi:10.1016/j.engappai.2010.11.008.