

**TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI VE
MONTAJ HATTI DENGELEME ENTEGRASYONUNA
SEZGİSEL BİR YAKLAŞIM**

Bilal ERVURAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2012

ANKARA

Bilal ERVURAL tarafından hazırlanan “TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI VE MONTAJ HATTI DENGELEME ENTEGRASYONUNA SEZGİSEL BİR YAKLAŞIM” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

.....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Serpil EROL

.....

Endüstri Mühendisliği A.B.D., Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

.....

Endüstri Mühendisliği A.B.D., Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN

.....

Endüstri Mühendisliği A.B.D., Selçuk Üniversitesi

24 / 07/ 2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Bilal ERVURAL

**TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI VE MONTAJ HATTI DENGELEME
ENTEGRASYONUNA SEZGİSEL BİR YAKLAŞIM**

(Yüksek Lisans Tezi)

Bilal ERVURAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2012

ÖZET

Tedarik zinciri ağı (TZA) tasarım problemi tüm tedarik zinciri faaliyetlerinin uzun vadede etkin çalışabilmesi için çözülmesi gereken en hayati karar problemlerinden biridir. Çevik bir TZA oluşturmak için yetenekli üretim süreçleri ile tedarik-dağıtım süreçleri eş zamanlı olarak çalışabilmelidir. Bu çalışmada stratejik seviye bir karar olan tedarik zinciri tasarımı probleminin içerisine taktiksel seviye bir karar olan montaj hattı dengeleme (MHD) probleminin entegre edildiği bir model ele alınmıştır. Literatürde her iki problemde NP-zor olduğu bilindiğinden dolayı ortaya konulan iki problemin entegrasyonu da NP-zor olmaktadır. Bu nedenle problem boyutu arttıkça istenen sürede optimal sonuçlara ulaşılması oldukça zorlaşmaktadır. Bu çalışmada, montaj hattı dengeleme problemi için karınca kolonisi optimizasyonunun; tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için ise parçacık sürü optimizasyonunun eş zamanlı olarak çalıştığı bir sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Geliştirilen algoritmanın performansı test problemleri kullanılarak incelenmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar, çözüm kalitesi ve çözüm süreleri açısından algoritmanın etkin olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 906.1.141

Anahtar Kelimeler :Tedarik zinciri ağ tasarımı, montaj hattı dengeleme, parçacık sürü optimizasyonu, karınca kolonisi optimizasyonu

Sayfa Adedi : 95

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

**A HEURISTIC APPROACH FOR INTEGRATION OF SUPPLY CHAIN
NETWORK DESIGN AND ASSEMBLY LINE BALANCING**

(M.Sc. Thesis)

Bilal ERVURAL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2012

ABSTRACT

Supply chain network (SCN) design problem is one of the vital strategic decision problems that need to be optimized for long term efficient operation of whole supply chain. To construct an agile SCN, capable production processes and supply-distribution processes have to be able to work simultaneously. In this study, a model is discussed for integration of a supply chain network (SCN) design problem is considered as a strategic decision and the assembly line balancing problem is handled as a tactical decision. In the literature, both of these problems are known as NP-hard, so integration of two problems can be considered as NP-hard. Therefore, to find an optimal solution in a desired time period as problem size increases is very difficult. In this thesis, working simultaneously two different swarm intelligence techniques are proposed; a particle swarm optimization algorithm for multi echelon supply chain network and an ant colony optimization algorithm for the assembly line balancing problem. The performance of the proposed heuristic algorithm is investigated using benchmark problems. Finally, obtained results show that proposed heuristic approach is efficient in terms of both of solution quality and computational time.

Science Code : 906.1.141

**Key Words :Supply chain network design, assembly line balancing, particle
swarm optimization, ant colony optimization**

Page Number: 95

Adviser :Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen başta danışman hocam Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN olmak üzere Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Turan PAKSOY ve Arş. Gör. Eren ÖZCEYLAN'a ve daima yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım süresince desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. TEDARİK ZİNCİRİ VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ	4
2.1. Tedarik Zinciri.....	4
2.2. Tedarik Zinciri Yönetimi.....	5
2.2.1. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları.....	6
2.2.2. Tedarik zinciri kararları.....	7
2.3. Tedarik Zinciri Stratejileri.....	10
2.4. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı ve Optimizasyonu	12
2.4.1. Tedarik zinciri ağ tasarımı aşamaları	13
2.4.2. Tedarik zinciri ağı tasarımı amaçları.....	14
2.4.3. Tedarik zinciri ağı kısıtları	15
2.4.4. Tedarik zinciri ağı tasarımı karar değişkenleri.....	15
3. MONTAJ HATTI	17
3.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemi.....	17
3.2. Temel Kavramlar.....	18
3.3. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması	20
3.3.1. Basit montaj hattı dengeleme problemi.....	22
3.4. Montaj Hattı Dengeleme Problemi için Çözüm Yöntemleri.....	23

3.4.1. Kesin yöntemler	23
3.4.2. Sezgisel Yöntemler	24
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	25
4.1. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı.....	25
4.2. MHD Problemi	28
4.3. TZA/MHD Entegrasyonu	29
5. TEDARİK ZİNCİRİ AĞLARININ MONTAJ HATLARI İLE OPTİMİZASYONU	31
5.1. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı ve Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Birleştirilmesi	31
5.2. Matematiksel Model.....	33
5.3. Sayısal Örnek	36
6. SÜRÜ ZEKASI.....	42
6.1. Karınca Kolonisi Optimizasyonu	42
6.1.1. Temel karınca kolonisi optimizasyonu algoritması	43
6.1.2. MAX-MIN karınca sistemi	46
6.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu	47
6.2.1. Temel parçacık sürü optimizasyonu algoritması.....	47
6.2.2. PSO terimleri.....	48
7. TZA_MHD İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA	50
7.1. Önerilen PSO Algoritması.....	51
7.1.1. Çözüm Gösterimi	51
7.1.2. Başlangıç Çözümünün Oluşturulması	52
7.1.3. Pozisyonların Güncellenmesi	53
7.1.4. Negatif Düzeltme Operatörü	54
7.1.5. Mutasyon Operatörü.....	55
7.2. Önerilen KKO Algoritması	55
7.2.1. Çözümün gösterimi ve kurulması	56

7.2.2. Sezgisel bilginin kullanılması	57
7.2.3. Feromen değerlerinin güncellenmesi	58
7.2.4. Feromen değerlerinin alt ve üst sınırları (max-min)	58
7.2.5. Durdurma koşulu	59
7.3. tza_PSO ve mhd_MMKS algoritmalarının birleştirilmesi	59
7.4. TZA_MHD için önerilen PSO_MMKS algoritmasının adımları	60
8. DENEYSEL ÇALIŞMA	63
8.1. Test Problemlerinin Oluşturulması	63
8.2. Parametre Değerlerinin Belirlenmesi	64
8.2.1. KKO algoritması için parametre değerlerinin belirlenmesi	64
8.2.2. PSO algoritması için parametre değerlerinin belirlenmesi	70
8.3. Deneysel Karşılaştırma Sonuçları ve Değerlendirilmesi	72
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	80
EKLER	87
EK-1. Delphi 7 programlama dilinde geliştirilen program arayüzü	88
EK-2. GAMS/BARON kodları (Bölüm 4.3 sayısal örnek)	89
EK-3. tza_PSO algoritması sözde kodları	93
EK-4. mhd_MMKS algoritması sözde kodları	94
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Öncelik matrisi.....	20
Çizelge 4.1. İmalat tesislerinin bileşen kapasiteleri (periyotlara göre).....	37
Çizelge 4.2. Montaj tesislerinin kapasiteleri ve müşterilerin talepleri.....	37
Çizelge 4.3. Montajcılar, imalatçılar ve müşteriler arasındaki mesafeler.....	37
Çizelge 4.4. Montajcılar, imalatçılar ve müşteriler arasındaki maliyetleri	38
Çizelge 4.5. Örnek problemin optimal sonuçları	39
Çizelge 4.6. Birinci periyotta birinci montaj tesisi için optimal hat	40
Çizelge 4.7. İkinci periyotta birinci montaj tesisi için optimal hat	40
Çizelge 4.8. Birinci periyotta ikinci montaj tesisi için optimal hat.....	41
Çizelge 4.9. İkinci periyotta ikinci montaj tesisi için optimal hat	41
Çizelge 8.1. Test problemi için parametreler ve rassal aralıklar.....	64
Çizelge 8.2. KKO algoritmasında kullanılan parametreler ve düzeyleri	64
Çizelge 8.3. Parametre değerleri için yapılan deney sonuçları	65
Çizelge 8.4. Parametre değerlerinin belirlenmesi için yapılan ön deney	67
Çizelge 8.5. Parametre değerlerinin belirlenmesi için yapılan ön deney	68
Çizelge 8.6. $\alpha : \beta$ parametresi için duncan testi sonuçları.....	69
Çizelge 8.7. Koloni boyutu parametresi için duncan testi sonuçları.....	69
Çizelge 8.8. İterasyon sayısı parametresi için duncan testi sonuçları	69
Çizelge 8.9. PSO algoritmasında kullanılan parametreler ve düzeyleri.....	70
Çizelge 8.10. Yığın boyutu parametresi için duncan testi sonuçları.....	71
Çizelge 8.11. Mutasyon olasılığı parametresi için duncan testi sonuçları	71
Çizelge 8.12. İterasyon sayısı parametresi için duncan testi sonuçları	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tedarik zinciri ağ yapısı [Simchi-Levi ve ark., 2000]	4
Şekil 2.2. Tedarik zinciri boyunca bilgi, malzeme ve para akışı	5
Şekil 2.3. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları [Fox ve ark., 1993].....	6
Şekil 2.4. Tedarik zinciri kararları	7
Şekil 2.5. Tedarik zinciri ağı	13
Şekil 3.1. Öncelik ilişkileri diyagramı	20
Şekil 3.2. Model sayısına göre montaj hatları.....	21
Şekil 3.3. Hat yerleşimine göre MHD problemleri	22
Şekil 5.1. Örnek problem için tedarik zinciri ağı	36
Şekil 5.2. Sekiz görevli örnek problem için öncelik diyagramı	38
Şekil 5.3. Birinci montaj tesisi için dengelenmiş hat diyagramı	40
Şekil 5.4. İkinci montaj tesisi için dengelenmiş hat diyagramı.....	41
Şekil 6.1. Karınca deneyinde kullanılan köprü	42
Şekil 6.2. Karıncaların çözüm üretme şekli	44
Şekil 7.1. tza_PSO algoritmasında parçacık gösterimi	51
Şekil 7.2. Örnek problem için bir çözümü temsil eden parçacık gösterimi	52
Şekil 7.3. Başlangıç çözümünün elde edilmesi için prosedür	52
Şekil 7.4. Negatif düzeltme operatörü prosedürü.....	54
Şekil 7.5. Mutasyon operatörü prosedürü	55
Şekil 7.6. mhd_MMKS algoritması için örnek çözüm gösterimi	56
Şekil 7.7. Pozisyon ağırlığı prosedürü	57
Şekil 7.8. Sezgisel bilginin hesap edilmesine ilişkin prosedür	57
Şekil 7.9. PSO_MMKS algoritması	62
Şekil 8.1. Çözüm değerlerinin karşılaştırılması	73
Şekil 8.2. Çözüm süresi değerlerinin karşılaştırılması.....	73
Şekil 8.3. Tesis sayılarının çözüm süresine etkisi(GAMS).....	74
Şekil 8.4. Tesis sayılarının çözüm süresine etkisi(sezgisel yaklaşım).....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
m	imalat tesisleri
a	montaj tesisleri
c	müşteriler
p	periyotlar
b	bileşenler
i,r,s	görevler
j	iş istasyonları
M	imalatçıların sayısı
A	montajcılarının sayısı
C	müşterilerin sayısı
P	periyotların sayısı
B	bileşenlerin sayısı
J	istasyonların sayısı(üst sınır)
N	görevlerin sayısı
L	bir görevden önce olan görevlerin kümesi
(r,s) ∈ L	bir öncelik ilişkisi; r işi s işinden hemen öncedir.
t_i	i görevinin görev zamanı
W_{süre}	p periyodunda işlem zamanı
a_{mbp}	p periyodunda k bileşeni için m imalatçısının kapasitesi
b_{ap}	p periyodunda a montajcısının kapasitesi
u_{cp}	p periyodunda c müşterisinin talebi

Simgeler	Açıklama
C_{map}	p periyodunda m imalatçısından a montajcısına nakliye maliyet
C_{acp}	p periyodunda a montajcısından c müşterisine nakliye br. maliyeti
D_{ma}	m imalatçısı ve a montajcısı arasındaki mesafe
D_{ac}	a montajcısı ile c müşterisi arasındaki mesafe
O	montaj hattında bir istasyon açmanın sabit maliyeti
X_{mabp}	p periyodunda k bileşeni için m imalatçısından a montajcısına taşınan miktar
Y_{acp}	p periyodunda a montajcısından c müşterisine taşınan miktar
V_{aijp}	1, eğer p periyodunda a montajcısı için j iş istasyonuna herhangi bir görev atanmışsa; aksi takdirde 0
Z_{ajp}	1, eğer p periyodunda a montajcısı için j iş istasyonuna atanan görev varsa; aksi takdirde 0
CT_{ap}	p periyodunda a montajcısı için çevrim zamanı

Kısaltmalar	Açıklama
TZY	Tedarik zinciri yönetimi
TZA	Tedarik zinciri ağı
MHD	Montaj hattı dengeleme
BHMD	Basit montaj hattı dengeleme
KKO	Karınca koloni algoritması
PSO	Parçacık sürü algoritması
MMKS	Max-Min Karınca Sistemi
GA	Genetik algoritma
TB	Tavlama benzetimi
MILP	Karma tamsayılı doğrusal programlama
MINLP	Karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama
LP	Doğrusal programlama

1. GİRİŞ

Günümüz küreselleşen rekabet ortamında işletmelerin ayakta kalmaları müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmeleriyle ve işletme kaynaklarını en verimli şekilde kullanabilmeleriyle ilişkilidir. Bu bağlamda tedarik zinciri yönetimi kavramı ortaya çıkmaktadır. TZY, zincirdeki unsurların arasında iletişimi üst düzeye çıkartmak, müşteri isteklerini karşılamak, kaynakları etkin ve verimli bir şekilde kullanmak planlı, hızlı ve esnek bir sistem oluşturmak için tüm bu fonksiyonların bütünleşik olarak yönetimidir.

Tedarik zinciri yönetimi yenilikçi olmak adına yapılan yeniliklerden çok daha fazlasını içeren yönetim anlayışıdır. Özgün bir tedarik zinciri yapısının oluşturulması, işletmenin hedeflerini de ileriye taşıyacaktır. Tedarik zincirinden en iyi şekilde fayda sağlanabilmesi için stratejik, taktik ve operasyonel kararlar çerçevesinde beş temel yapılandırma unsurunun dikkate alınması gerekmektedir [Cohen ve Roussel, 2004]:

- Operasyon stratejisi
- Dış kaynaklardan yararlanma stratejisi
- Kanal stratejisi
- Müşteri hizmeti stratejisi
- Varlık ağı

Şirketler bu unsurları tek tek ele alma eğilimindeyken, şimdilerde bu unsurlardan bir kaçını ya da tümünü bir arada değerlendirme yoluna gitmektedirler. Bununla birlikte yapılandırma unsurlarının veya farklı karar seviyelerinin birlikte değerlendirilmesi şirketleri üretim planlama, hat dengeleme, dağıtım maliyetleri, çalışma zamanları, tesis yerleri vb. bazı konularda fedakârlık etmeye zorlamaktadır [Schmidt ve Wilhelm, 2000]. Tedarik zinciri tüm zincir boyunca orijinal bileşenlerin tedarikçiden son müşteriye kadar olan malzeme akışı ve bilgi akışı ile ilgilendiği için en az iki bütünleşik alandan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi üretim, depolama ve bunların ara birimleri ile ilgilenen üretim planlama süreçleri, ikincisi ise ürünlerin

tedarikçilerden müşterilere nasıl alınacağını ve taşınacağını belirleyen dağıtım ve lojistik süreçleridir [Xiaobo ve ark., 2007, Tuzkaya ve Önüt, 2009]. Bu bütünleşik alanları ortaya çıkarmak için her tedarik zinciri ağında stratejik ve taktiksel kararlar belirlenmelidir ki toplam maliyet minimize edilsin veya ortaya çıkan toplam değer maksimum olsun.

Bir tedarik zinciri tedarikçiler, üreticiler, distribütörler ve perakendeciler gibi çeşitli organizasyon gruplarının hammaddeleri son ürüne dönüştürmek amacıyla bir araya geldiği entegre bir süreç olarak kabul edilebilir [Mula ve ark., 2010]. Çeşitli organizasyon grupları olduğundan tedarik zinciri sisteminin verimliliği çok sayıda faktörden etkilenir, bu faktörlerden en sık görüleni dağıtım ağı stratejisi ve açılmış olan tesislerin yerlerini belirlemektir ki bu şekilde maksimum kar veya minimum maliyetle müşteri talepleri karşılanabilsin [Syarif ve ark., 2002, Yan ve ark., 2003, Gen ve Syarif, 2005, Altıparmak ve ark., 2006].

Dağıtım ağı stratejisinin belirlenmesi ve tesis yer ve sayılarının belirlenmesi kararlarına ek olarak, üretim süreçleri de tedarik zinciri ağı optimizasyonu için belirleyici faktörlerdendir. İşletmeler çevik bir tedarik zinciri ve esnek bir üretim hattına sahip olabilmek için üretim süreçleri ile tedarik-dağıtım süreçlerini entegre ederek birlikte optimize etmek mecburiyetindedirler. Üretim süreçleri içerisinde montaj hattı dengeleme operasyonları barındırdığı çok sayıda unsurdan dolayı tedarik zinciri ile doğrudan ilişkilidir. Çevik bir TZA kurmak için, yetenekli ve uyumlu montaj hattı süreçleri ve tedarik-dağıtım süreçleri eş zamanlı olarak çalışabilmelidir.

Bu tez çalışmasında etkin ve çevik bir tedarik zinciri ve üretim hattına sahip olmak için tedarik zinciri ağ tasarımı sürecinin içerisine montaj hattı dengeleme probleminin entegre edildiği ve her iki kararın eş zamanlı olarak düşünüldüğü bir problem ele alınmıştır. Literatürde Paksoy ve ark. (2012) tarafından önerilen imalat tesisleri, montaj tesisleri ve müşterilerden oluşan bir tedarik zinciri ağının montaj hatları ile birlikte optimizasyonunu ele alan bir matematiksel model üzerinde durulmuştur. Modelde montaj hattı dengeleme ve tedarik zinciri ağı tasarımı

problemi eş zamanlı olarak ele alınmıştır. İki problemi birleştirmek için bir karar değişkeni olarak çevrim zamanı belirlenmiştir.

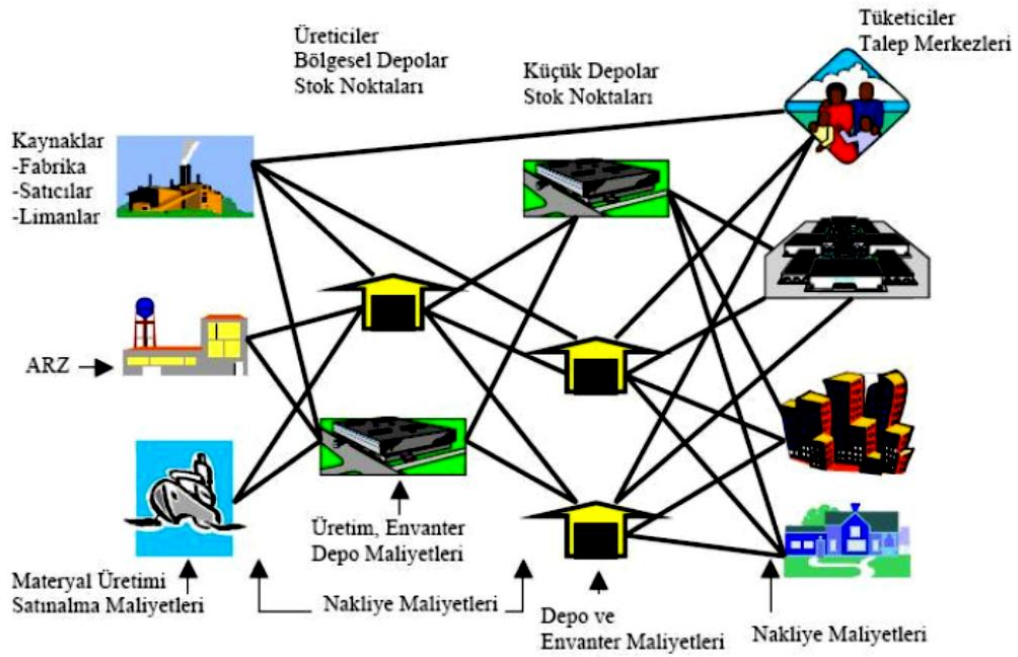
Yapılan tez çalışmasında ele alınan probleme ait matematiksel modelin problem boyutlarının ve karmaşıklığının arttığı durumlarda yeterli sonuç veremeyeceği düşünülerek meta-sezgisel teknikler kullanılarak yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Montaj hattı dengeleme problemi için karınca kolonisi optimizasyonunun; tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için ise parçacık sürü optimizasyonunun eş zamanlı olarak çalıştığı bir sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Algoritmanın etkinliği deneysel çalışmalarla ölçülmüştür.

Çalışmanın ikinci bölümünde tedarik zinciri, yönetimi ve ağ tasarımı ile ilgili bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde montaj hattı dengeleme problemine değinilmiştir. Dördüncü bölümde literatürde yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Beşinci bölümde ele alınan problem tanımlanmış ve matematiksel modeli sunulmuştur. Altıncı bölümde sürü zekası tekniklerinden parçacık sürü optimizasyonu ve karınca koloni optimizasyonu tekniklerine değinilmiştir. Yedinci bölümde geliştirilen sezgisel yaklaşım sunulmuştur. Sekizinci bölümde yapılan deneysel çalışmalar verilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. TEDARİK ZİNCİRİ VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

2.1. Tedarik Zinciri

Tedarik zinciri, tedarikçiler, imalatçılar, perakendeciler ve müşteriler arasında; iletişimi sağlamak, projeleri ortak bir alanda yönetmek, müşteri beklentilerinin verimli ve etkin bir şekilde karşılamak, kaynakları etkin bir şekilde kullanmak, verimliliği artırmak, planlı, hızlı ve esnek bir tedarik üretim ve dağıtım zinciri oluşturabilmek için ortaya çıkmış bir kavramdır. Şekil 2.1’de tedarik zinciri elemanları gösterilmiştir [Simchi-Levi ve ark., 2000].



Şekil 2.1. Tedarik zinciri ağ yapısı [Simchi-Levi ve ark., 2000]

Tedarik zinciri, hammaddeleri elde eden, bu hammaddeleri yarı mamul ve son ürünlere dönüştüren, bir dağıtım sistemi vasıtasıyla bu ürünleri müşterilere teslim eden yapılardır [Lee ve ark., 1993].

Tedarik zinciri, kapsamı işletmeler arasında farklılık göstermekle birlikte, üretim ve hizmet üreten tüm işletmelerde mevcuttur. Tedarik zinciri boyunca ürün akışının yanı sıra para ve bilgi akışı da gerçekleşmektedir [Yüksel, 2002].

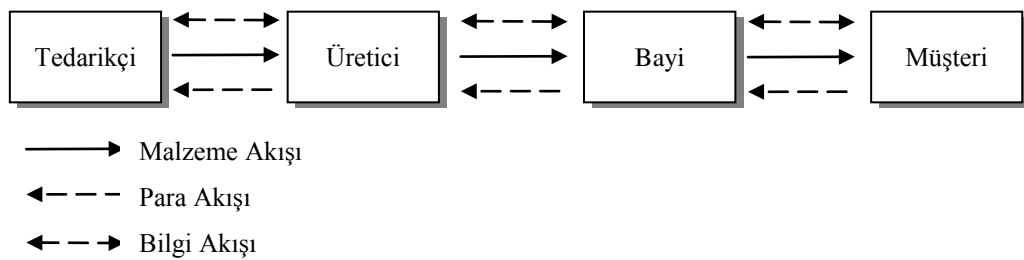
2.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi ürün, bilgi ve hizmet akışının, başlangıç noktasından son noktaya ulaşmaya kadar tedarik zinciri içerisindeki hareketliliğinin etkin ve verimli bir şekilde planlanması, depolanması ve taşınması hizmetidir.

Tedarik zinciri yönetimi hammaddelerin kaynaktan elde edilmesinden son dağıtımla nihai kullanıcıya ulaştırılmasına kadar ürünün hareketinin her basamağının planlanması ve yönetilmesi işidir [Ross, 1998].

TZY; işletmenin iç kaynaklarının dış kaynaklarla entegre edilerek etkin bir şekilde çalışmasının sağlanmasıdır. Amaç geliştirilmiş üretim kapasitesi, piyasa duyarlılığı ve müşteri/tedarikçi ilişkileri gibi işletmenin tüm performansını oluşturan değerlerin artırılmasıdır. Tedarik zinciri yönetimi, hammaddelerin temin edilmesinden imalat ürünlerine ve buradan da tüketiciye işlenmiş ürünlerin dağıtımına kadar tüm tedarik zinciri boyunca bilgiye dayalı karar almamıza olanak vermektedir [Paksoy, 2005].

Bir tedarik zincirinde malzeme ve para akışı tek yönlü, bilgi akışı ise iki yönlü olarak gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.2).

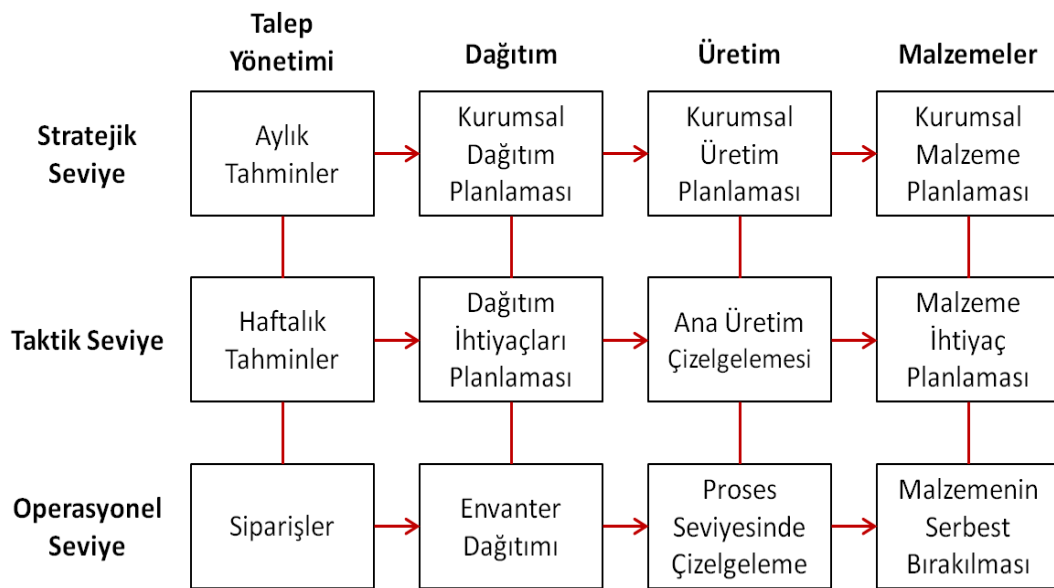


Şekil 2.2. Tedarik zinciri boyunca bilgi, malzeme ve para akışı

2.2.1. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları

Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları üç seviyede çalışmaktadır; stratejik seviye, taktik seviye ve operasyonel seviye (Şekil 2.3).

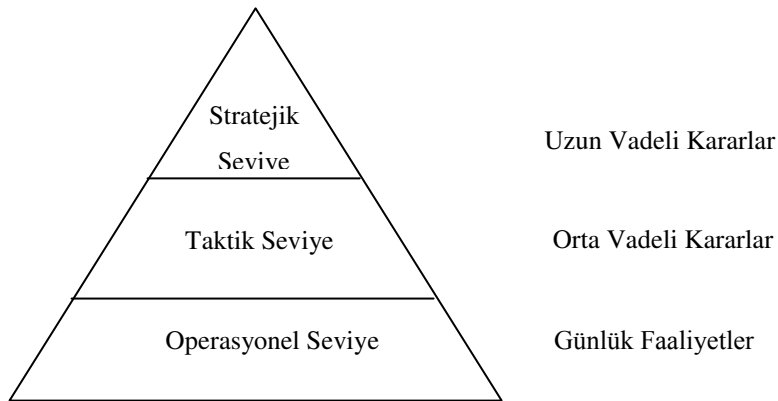
Her bir seviye, kararların alındığı sürenin periyodu ve bu periyot süresince alınan kararların sıklığı ile birbirinden ayrılmaktadır. Stratejik seviyede genellikle tüm organizasyonu ilgilendiren tesislerin yeri ve sayısı gibi yüksek seviye kararlar alınır. Taktik seviye kararları ise stratejik mesajı alır ve şirket için orta vadede fayda yaratmaya odaklanır. Taktik seviye kararlara örnek olarak montaj politikasının, stok seviyesinin ve parti büyüklüklerinin belirlenmesi verilebilir. Operasyonel kararlar ise üretim planlama ve çizelgeleme gibi kısa vadede taktiksel kararların nasıl gerçekleştirileceği ile ilişkilidir.



Şekil 2.3. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları [Fox ve ark., 1993]

2.2.2. Tedarik zinciri kararları

Tedarik zinciri için verilen kararlar üç geniş kategoride sınıflandırılmaktadır: Stratejik, taktik ve operasyonel (Şekil 2.4). Stratejik kararlar uzun bir zaman ufkunda verilmektedir. Bunlar, işletmenin stratejisiyle sıkı sıkıya bağlıdır (bazen bu kararlar, işletmenin stratejisinin kendisidir) ve bir tasarım perspektifinden tedarik zinciri politikalarını yönlendirir. Taktik kararlar ise orta vadelidir ve haftalık üretim planlaması, dağıtım planlaması gibi işlerin akısını sağlar. Diğer taraftan operasyonel kararlar kısa vadelidir ve günlük faaliyetlerde yoğunlaşmaktadır. Bu tür kararlardaki çaba, “stratejik” tedarik zincirindeki mamul akısının etkin ve verimli bir biçimde yönetilmesidir.



Şekil 2.4. Tedarik zinciri kararları

Tedarik zinciri yönetiminde beş temel karar alanı bulunur:

- i. Yerleşim
- ii. Üretim
- iii. Stok
- iv. Nakliye (dağıtım)
- v. Bilgi

Her bir karar alanı 3 seviyede de karar verilmesini kapsar.

i. Yerleşim kararları

Üretim merkezlerinin, depolama ve kaynak noktalarının coğrafi olarak yerlerinin belirlenmesi, bir tedarik zincirinin oluşturulmasının ilk adımıdır. Bu tesislerin boyutları, sayıları ve konumları belirlendikten sonra ürünlerin son kullanıcıya kadar taşınacağı olası güzergâhlar belirlenir. Alınan bu kararlar, pazara erişimin temel stratejisini temsil ettiği ve gelir, maliyet ve hizmet seviyesinde önemli bir etkisi olduğundan bir firma için büyük önem taşır. Yerleşim kararları temel olarak stratejik olsa da, operasyonel bir seviyeyle de ilişkilidir [Ganeshan ve Harrison, 1995].

ii. Üretim kararları

Stratejik kararlar, hangi ürünün hangi imalathanede üretileceğini, tedarikçilerin imalatçılara, imalatçıların dağıtım merkezlerine, dağıtım merkezlerinin müşterilere atanmasını kapsar. Yerleşim kararlarında olduğu gibi bu kararların da işletmelerin gelir, maliyet ve müşteri hizmet seviyelerine büyük etkisi vardır. Kritik başka bir konu ise üretim araçlarının kapasiteleridir. Bu karar, büyük bir oranda işletme içindeki dikey bütünleşmenin derecesine bağlıdır. Operasyonel kararlar üretim çizelgelemesi üzerinde yoğunlaşır. Bu kararlar temel üretim çizelgelerinin oluşturulması, makinelerdeki üretimin çizelgelenmesi ve donanım bakımını kapsar. Diğer hususlar ise, iş yükünün dengelenmesi ve bir üretim merkezindeki kalite kontrol ölçütleridir [Ganeshan ve Harrison, 1995].

iii. Stok kararları

Stok kararları stokların ne şekilde yönetileceğini kapsar. Stoklar, hammadde veya yarı mamul veya tamamlanmış mamul olarak tedarik zincirinin her safhasında bulunur. Temel amaçları tedarik zincirinde bulunabilecek herhangi bir belirsizliğin azaltılmasıdır. Stratejik açıdan hedefler üst yönetim tarafından belirlenmelidir. Ancak birçok araştırmacı stok yönetimine operasyonel bir açıdan yaklaşmıştır. Bu

kararlar dağıtım stratejilerini ve sipariş miktarlarının ve yeniden sipariş noktalarının belirlenmesi ve her bir stok noktasındaki güvenli stok seviyesinin ayarlanması olan kontrol politikalarını kapsar. Söz konusu seviyeler, müşteri hizmet seviyelerinin temel belirleyicisi oldukları için kritik öneme sahiptir [Ganeshan ve Harrison, 1995].

iv. *Nakliye kararları*

Nakliye kararları ile ilgili yöntem seçme konuları daha çok stratejiktir. Bu kararlar stok kararlarıyla yakından bağlantılıdır, çünkü en iyi yöntem stokun dolaylı maliyetinin analizi ile bulunur. Hava ulaşımı hızlı, güvenli olması ve daha az güvenlik stoku sağlamasıyla beraber maliyetlidir. Bununla beraber, deniz veya tren yolu ile nakliyat daha ucuzdur, ancak belirsizliğin azaltılması için nispeten büyük miktarlarda stok bulundurulmasını gerektirir. Dolayısıyla müşteri hizmet seviyeleri ve coğrafi konum, bu kararlarda önemli rol oynamaktadır. Nakliye, lojistik maliyetlerinin %30'undan fazlasını oluşturduğu için, verimli bir şekilde çalışılması ekonomik olarak faydalı olacaktır. Nakliye miktarları, güzergâhların belirlenmesi ve ekipmanın çizelgelenmesi, bir işletmenin nakliye stratejisinin etkili yönetimi için temel konulardır [Ganeshan ve Harrison, 1995].

v. *Bilgi*

Bilgi kararları genellikle ne kadar veri toplanılması gerektiği ve bu bilgilerin ne kadarının paylaşılacağı ile ilgilidir. Zamanında erişilen doğru bilgi daha iyi koordinasyon ve daha iyi karar alınmasını sağlar. Doğru bilgi ile hangi üründen ne kadar üretilecek, stok seviyesi ne kadar olacak, stoklar nerede depolanacak ve en iyi nakliye yöntemi ne olacak konularında etkin karar alınmasını sağlar. Bu kararlar şirketin tedarik zincirinin kapasitesini ve etkinliğini belirleyecektir. Bir şirketin yapabileceği şeyler ve pazarında rekabet etme yöntemleri sahip olduğu tedarik zincirinin etkinliğine bağlıdır [Hugos, 2003].

2.3. Tedarik Zinciri Stratejileri

Tedarik zincirinden daha fazla fayda sağlanabilmesi için beş temel yapılandırma unsurunun dikkate alınması gerekmektedir, bunlar [Cohen ve Roussel, 2005]:

- i. Operasyon stratejisi
- ii. Dış kaynaklardan yararlanma stratejisi
- iii. Kanal stratejisi
- iv. Müşteri hizmeti stratejisi
- v. Varlık ağı stratejisi

Bu stratejiler ve bunların birlikte nasıl hareket edeceği konusunda alınacak kararlar aynı zamanda işletmenin tedarik zinciri stratejisini de tanımlayacaktır.

- i. *Operasyon stratejisi*

Ürün ve hizmetlerin nasıl üretileceği ile ilgili karar operasyon stratejisini belirleyecektir. Aşağıda verilen dört karardan hangisinin ya da bunların bir bileşkesinin mi kullanılacağına karar verilmesi operasyon stratejisini oluşturacaktır.

- a. Stoğa yapma (make to stock): Yüksek hacimde satılan standart ürünler için en iyi stratejidir. Geniş hacimde üretim imalat maliyetlerini azaltır ve stokta bu ürünlerin bulunması müşteri taleplerinin hızlı karşılanması anlamına gelir.
- b. Siparişe yapma (make to order): Bu strateji daha çok kişiye özel ürünler ya da talebi az olan ürünler için tercih edilen bir stratejidir. Bu stratejiyi izleyen şirketler kesinleşen müşteri taleplerine göre üretim yaparlar ve bu strateji çok sayıda ürün seçeneğinin üretilmesine olanak sağlarken düşük düzeyde stok tutulmasına sağlar.
- c. Sipariş yapılandırma (configure to order): Bu strateji karma bir stratejidir. Üretim belli bir aşamaya kadar tamamlanır ve kesin sipariş alındıktan sonra üretim tamamen bitirilir. Bu strateji son ürünün pek çok türü olduğunda ve

şirketin düşük düzeyde stok tutma isteği taşıdığı ve daha kısa sürede teslimat gerektiren durumlarda tercih edilen bir stratejidir.

- d. Sipariş projelendirme (engineer to order.): Bu strateji sipariş temelinde çalışma stratejisi ile benzer pek çok özelliği paylaşır. Karmaşık ürün ve hizmetlerin benzersiz müşteri özelliklerine göre üretildiği endüstri alanlarında kullanılır.

ii. *Kanal stratejisi*

Kanal stratejisi ürün ve hizmetlerin satıcıdan nasıl alınacağı ve son kullanıcıya nasıl ulaştırılacağı ile ilgilidir. Bu tarz kararlar ürün ya da hizmet satışının dolaylı olarak distribütör ya da perakendeciler aracılığı ile ya da doğrudan internet ya da doğrudan satış personeli aracılığı ile yapılıp yapılmayacağı konularını belirlerler. Hedeflenen pazar ve coğrafya karar üzerinde etkileyici rol oynar. Kar marjı kullanılacak kanalın yapısına göre değişkenlik göstereceğinden optimal bir kanal karması seçilmelidir.

iii. *Dış kaynaklardan yararlanma stratejisi*

Dış kaynaklardan yararlanma stratejisi kararı, şirketin var olan tedarik zinciri becerilerinin ve uzmanlık kapasitesinin analiz edilmesiyle başlar. Şirket dışı iş ortakları üç olası avantaj sunabilirler:

- a. **Şirket ölçeği**: Dış kaynaklar daha fazla kullanım oranına sahip geniş müşteri kitlesi ve düşük birim maliyet avantajına sahip olmaları nedeniyle hizmetleri daha ucuza sağlarlar. Bu tarz şirketler üretim miktarının herhangi bir imalat kapasitesi yatırımı yapılmadan hızlı bir biçimde arttırılmasında şirketlere fayda sağlarlar.
- b. **Kapsam**: Yeni pazar ve yeni coğrafyalara açılma isteğinde olan şirketler için dış kaynak kullanımı yapan şirketler yeni bölgelere erişim avantajı sağlarlar
- c. **Teknolojik uzmanlık**: Dış kaynak kullanımı iş ortakları bir şirketin içsel olarak geliştirmesi gereken ve ciddi yatırım harcamaları gerektiren üretim ya da süreç teknolojilerinde uzmanlaşmış olabilirler.

iv. *Müşteri hizmet stratejisi*

Müşteri hizmet stratejisi bir diğer anahtar yapılandırma unsurudur. Müşteri hizmet stratejisi iki temel unsur üzerinde oluşturulmalıdır: Müşteri hesaplarının hacim ve karlılığı ve müşterilerin gerçekte ne istediklerinin tam olarak anlaşılması. Şirket yeteneklerinin özelleştirilmesine ve bu yetenekler üzerinde odaklanılmaya yardımcı olacağı için bu iki tür bilgi de tedarik zinciri stratejisinin ayrılmaz bir parçasıdır.

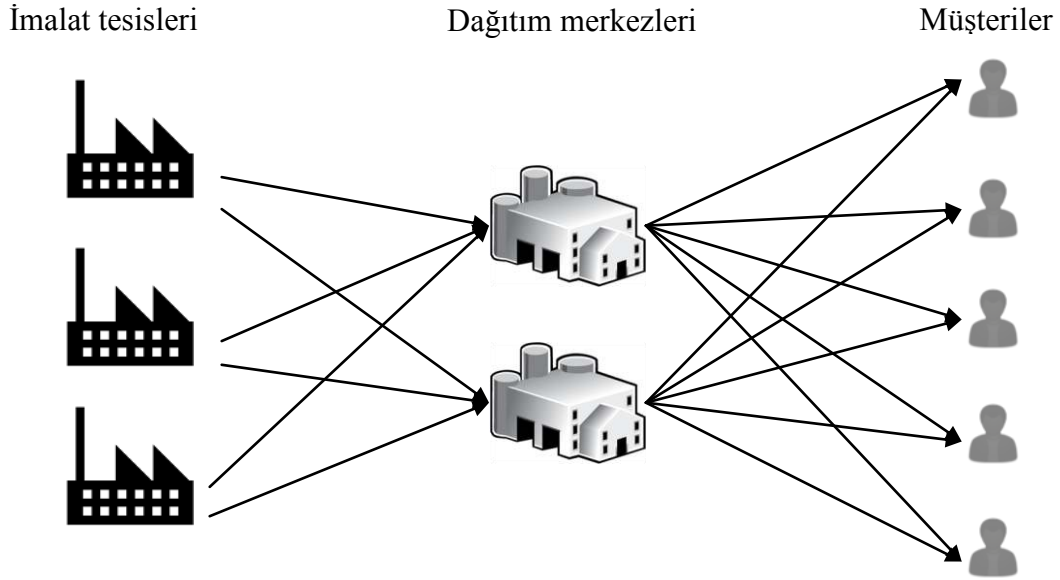
v. *Varlık ağı*

Tedarik zinciri yapılandırmanın son unsuru şirketin varlık ağı hakkında alacağı kararlardır. Fabrikalar, depolar, üretim araç gereçleri ve hizmet merkezleri bu ağın içerisinde yer alırlar. Bu varlıkların konumları, ölçekleri ve misyonları tedarik zincirinin performansı üzerinde önemli etkiye sahiptirler.

2.4. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı ve Optimizasyonu

Günümüz koşulları, küreselleşme ve rekabetin artması nedeniyle işletmelerin ürün fiyatlarını, dolayısıyla maliyetlerini ve verimliliklerini daha iyi kontrol etmelerini zorunlu kılmaktadır. Birden fazla işletmeyi kapsayan tedarik zinciri yönetimi yapısı, tek bir işletme gibi davranarak kaynakların ortak kullanımı sonucu bir sinerji yaratmayı hedeflemektedir. Sonuç ise yüksek kalitede, düşük maliyette, piyasaya hızlı bir şekilde sunulan ve müşteri memnuniyeti sağlayan hizmet ya da ürünler olmaktadır (Syarif ve ark. 2002).

Tedarik zinciri ağlarının etkin tasarımı ve yönetimi, üretimin ve çeşitli ürünlerin tesliminin düşük maliyet, kısa gecikme zamanı ve yüksek kalitede olmasına yardım eder. Rekabetçi performans açısından tedarik zinciri ağının yapısının çok önemli olduğu açıktır. Problemlerin karmaşıklığıyla başa çıkmak için şebekeyi, giriş, gelişme ve sonuç ağı olarak alt şebekelere de ayrıştırabiliriz. Dağıtımda ortak amaç, perakendecilerin talebini, depoların ve tesis kapasitelerini aşmadan en az maliyetli sistemi kararlaştırmaktır. Şekil 2.5 'de tedarikçiler, depolar, fabrikalar, dağıtım merkezleri ve müşterilerden oluşmuş bir tedarik zinciri ağı görülmektedir.



Şekil 2.5. Tedarik zinciri ağı

2.4.1. Tedarik zinciri ağ tasarımı aşamaları

Her tedarik zinciri modelinin kendine özgü özellikleri olmasına rağmen, birçoğu aşağıda tanımlanan adımların yerine getirilmesini gerektirir (Paksoy, 2005):

1. *Problemin Tanımlanması:* Bir çalışma hâlihazırda bir ihtiyacı giderecek şekilde hazırlanmamışsa, detaylı ve eksiksiz olması bir anlam ifade etmez. Etkili bir çalışma yapabilmek için, potansiyel problemleri olan sistem parçalarının incelenmesi ve çalışmanın buna göre hazırlanması gerekir. İyi bir model kurucusu tarafından, sistemin diğer parçalarını da kolayca içine alabilecek şekilde tasarlanmış olmalıdır. Fakat içinde gereksiz ve fazlalık bilgilerin bulunduğu bir model bilgisayar üzerinde diğer modellere göre daha yavaş çalışabilir ve maliyeti daha yüksek olabilir.
2. *Hedeflerin Belirlenmesi:* Tedarik zinciri modelinin amaçları, üzerinde çalışılacak problemin durumuna göre saptanır. Geliştirmede kullanılan belirli metotların, çalışmanın hedefinin belirlenmesindeki rolü büyüktür. Fakat bu hedefler, daha önce yapılan modelin sonuçlarının yeni verilere uyarlanmasını engelleyecek şekilde dar planlanmamalıdır.

3. *Model Formülasyonu:* Hedeflerin ve problemin belirlenmesinden sonra, modeli kuracak olan kişi modelin temel çatısını geliştirebilir. Bu çatı genellikle olayların prensiplerini ve kullanılan elemanları içerir. Toplanan verilerin doğruluğunun, elde edilen sonuç üzerindeki etkisi büyüktür. Yapılan ilk plan içerisinde; gerekli olan verilerin, bilgi kaynaklarının ve bu bilgilerin nasıl elde edilebileceği belirtilmektedir. İlk olarak, çalışmanın hedefleri ile ilgili olan bu bilgilerin çıkartılması gerekir. Tecrübeli bir model kurucu, çalışmada yer alan diğer kişilere hangi verilerin gerekli hangilerinin gereksiz olduğu konusunda yardım etmelidir. Sistemin taklidini yapmak veya sistemin bir kopyasını çıkarmak için harcanan çaba genellikle gereksizdir. Detayların gerekli olduğu zaman eklenmesi, çalışmanın hedefine ulaşması açısından takip edilmesi gereken en iyi yoldur. Teknik karışıklıklar modelle, modelin kurulma amacı arasındaki ilişkiden daha az öneme sahiptir.

2.4.2. Tedarik zinciri ağı tasarımı amaçları

Tedarik zinciri ağı tasarımında istenen tasarımın gerçekleşebilmesi için konulan hedefler yani amaçlar belirlenmelidir. Bu amaçlar daha önce anlatılan operasyonel, taktik ve stratejik kararların uygulanmasıyla gerçekleştirilecek olan amaçlardır.

Belirlenen amaçlar doğrultusunda verilen kararlar mevcut tedarik zinciri ağının daha iyi optimize olmasını sağlar [Güleş ve ark., 2012].

Bu kararların, gelir, maliyet ve hizmet seviyesi üzerinde çok önemli etkileri vardır. Bu karar bileşenlerinin birbirleriyle etkileşimli olması sebebiyle karar sürecinde koordinasyon ve ödünleşme etkilerinin değerlendirilmesi gereklidir. Aktiviteler arasında önemli maliyet çatışmaları olan durumlarda bu aktiviteler koordineli biçimde yönetilmelidir. Ağ boyunca maliyet çatışması olan alanlar ve tedarik zincirindeki bir firma tarafından alınan bir kararın ağdaki diğer firmaları etkilemesi dolayısıyla, toplam maliyet denklemi genişletilmeli ve karar verirken ufuk firmanın sınırlarının dışına genişlemelidir. Örnek olarak üretici firmanın envanter politikalarının, hem tedarikçinin envanter maliyetlerini hem de taşıyıcının operasyon maliyetlerini etkilemesidir [Güleş ve ark., 2012].

2.4.3. Tedarik zinciri ağı kısıtları

Tedarik zinciri kısıtları, işletmenin seçebileceği bir dizi alternatif karar seçeneği üzerinde konumlanmış etmenlerdir. Böylece, bu etmenler bazı karar alternatiflerinin yapılabilirliklerini/fizibilitesini belirlerler. Bu kısıtların içerikleri (Paksoy, 2005);

- i. *Kapasite*: Tedarik zinciri üyelerinin finans, üretim, tedarik ve teknik yeterliliklerini; istenilen gelir düzeyinde stok seviyeleri, üretim, işgücü, öz-sermaye yatırımı, dış kaynak kullanımı ve bilişim teknolojileri adaptasyonu ile ilgili durumları belirler. Kapasite ayrıca üretim ve stoklama için kullanılabilir alanları da içerir.
- ii. *Hizmet Uyumu*: Tedarik zincirinin nihai hedefinin müşterilerin hizmet ihtiyaçlarını karşılaması ya da bu ihtiyaçların da ötesinde hizmet verilmesi esası olduğunu düşünürsek, bu oluşum müşteri memnuniyeti için en önemli kısıttır. Bunların tipik örnekleri; dağıtım zamanları, gününde üretim, ardışık-sipariş için maksimum bekleme süresi ve taşıma yapan kamyon sürücüleri için ulaştırmada geçen yolculuk süresidir.
- iii. *Talep kapsamı/miktarı*: Tedarik zincirinin dikey bütünleşimi, bir önceki kademedeki tedarik kapasitesini dengelemek amacıyla aşağı yöndeki tedarik zinciri üyelerinin kendi kademelerinde başarıya ulaşması için gereken talep miktarını, artırılmış tüketim doğrultusunda dengelemektir.

2.4.4. Tedarik zinciri ağı tasarımı karar değişkenleri

Karar değişkenleri genel olarak, karar çıktısı aralıklarının sınırlarını belirlemelerinden dolayı, tedarik zinciri ile ilişkili fonksiyonel performansın artmasına katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla, bir tedarik zincirinin performans ölçümleri genel olarak karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Karar değişkenlerinin bazıları aşağıdaki gibi açıklanabilir (Paksoy, 2005);

- *Yer:* Bu tür değişkenler; fabrikaların, depoların (veya dağıtım merkezlerinin) konsolidasyon noktalarının ve tedarik kaynaklarının nerede konumlandırılacağına ilişkin karar verme sürecinde etkilidir.
- *Yerleşim:* Hangi toptancıdan, fabrikadan ve konsolidasyon noktasından hangi müşteriye, pazar dilimine ve tedarikçiye hizmet verileceğini gösteren değişkenlerdir.
- *Şebeke/Ağ Yapısı:* Bu tip değişkenler, bir dağıtım şebekesinin merkezileştirilmesi ya da merkezden uzaklaştırılması ve tedarikçiler, depolar ve konsolidasyon / birleşim noktalarının hangi kombinasyonundan yararlanılacağını belirtir. Ayrıca bu değişkenler üretim ve dağıtım kaynaklarının tam zamanında kullanılması ya da elimine edilmesi esasına da dayanır.
- *Tesis ve Teçhizat Sayısı:* Müşteri ihtiyaçlarını ve pazar isteklerini karşılayabilmek için kaç adet fabrika, depo ve birleşim noktası gerektiğini belirleyen değişkenlerdir.
- *Aşama-Katman Sayısı:* Bu değişken ise, bir tedarik zincirinin içerdiği aşamaların sayısını belirler. Ayrıca, yatay tedarik zinciri bütünleşiminde kademeleri birleştirerek ya da kademeleri bölerek kademe sayısını artırabilir veya azaltabilir.
- *Hizmet Sıklığı:* Müşterilere veya tedarikçilere hizmet veren araçların dağıtım-getiri zaman çizelgesini ya da izlediği rotayı belirleyen değişkendir.
- *Miktar:* Bu değişken, tedarik zincirinin her noktasında (tedarikçi, üretici, dağıtıcı v.s.) optimal satın alma miktarı, üretim, nakil miktarını belirler.
- *Stok Seviyesi:* Tedarik zincirinin her safhasındaki hammadde, bölüm, iş süreci, nihai ürün ve stok tutma birimini belirleyen değişkendir.
- *İşgücü Miktarı:* Bu değişken, sistemde kaç adet tır şoförü ve ürün yükleyici bulunması gerektiğine karar verilmesini sağlar.
- *Dış-kaynak (outsourcing) Kapsamı:* Hangi tedarikçinin, hangi bilişim hizmeti ve üçüncü taraf destek sağlayıcısının kullanılacağı, uzun dönemli temaslarda dış kaynak (tekil veya çoklu kaynak) bakımından kaç tanesinden faydalanabileceğini belirleyen değişkendir.

3. MONTAJ HATTI

Bir ürünü oluşturan parçaların önceden belirlenmiş bir sıraya uygun olarak birleştirilmesi montaj işlemi olarak adlandırılır. Montaj işlemlerinin tamamlanması ile ürün tam bir biçimde ortaya çıkar. Montaj işlemlerinin üzerinde yapıldığı üretim hattına montaj hattı denir.

Bir montaj hattı birkaç ardışık iş istasyonundan oluşur. Bir montaj operasyonunun en küçük kısmı bir görev olarak tanımlanır. Bir iş istasyonunun iş yükü iş istasyonuna atanan görevlerin tamamlanma sürelerinin toplamıdır. Bir montaj hattındaki en büyük iş yüküne sahip iş istasyonu montaj hattının çevrim süresi olarak tanımlanır (Kara ve ark. 2009).

3.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Montaj hattı dengeleme;

- öncelik ilişkileri ihlal edilmeden (öncelik ilişkileri kısıtları),
- tüm görevler mutlaka bir istasyona atanacak (atama kısıtları),
- bir istasyonun iş yükü çevrim süresini aşmayacak (çevrim süresi kısıtı)
- ve belirli bir performans ölçütü en iyilenecek şekilde,

montaj hattındaki görevlerin istasyonlara atanması olarak tanımlanabilir.

Montaj hatlarında hammadde ya da yarı mamul hattın bir noktasından girmekte ve bir takım işlemlerden geçirildikten sonra, mamul olarak hattı terk etmektedir. Montaj hatlarında meydana gelen aksamaların giderilmesi, hattın dengelenmesiyle sağlanabilir. Mamul oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp süreleri en azlayacak şekilde atanması işlemine montaj hattı dengeleme (MHD) adı verilmektedir. Seri üretimde, sistemden en fazla fayda hattın dengelenmesiyle sağlanır [Scholl, 1999].

İşletmeler genellikle büyük hacimli ürünleri üretmek için montaj hatları kullanmaktadırlar. Bir montaj hattı malzeme taşıma sistemleri ile birbirine bağlı iş istasyonlarından oluşur. Bu montaj hattı bileşenleri monte ederek nihai ürüne dönüştürmek için kullanılır. MHD problemi son yıllarda Yöneylem araştırmacıları ve Endüstri Mühendisleri tarafından ilgiyle çalışılmaktadır. MHD problemi üretim hattında, belirli bir amaca ulaşmak için öncelik ilişkileri ve diğer bazı kısıtlar göz önüne alınarak görevlerin uygun istasyonlara atanması olarak tanımlanabilir [Gökçen ve Ağpak, 2006]

3.2. Temel Kavramlar

Görev: Bir montaj hattında tamamlanması gereken toplam işin, işin niteliğine göre bölünebilecek en küçük parçasıdır. Görev i indisiyle ifade edilir, problemdeki görev sayısının toplamı ise N ile gösterilir.

Görev Süresi: Bir görevin tamamlanabilmesi için gereken süredir. i görevine ait işlem zamanı t_i ile gösterilir.

İş istasyonu: Üretim hattında yapılması öngörülen toplam iş miktarının bir kısmının yerine getirildiği yerdir. İstasyon k indisiyle gösterilir. Toplam istasyon sayısı ise K ile ifade edilir.

İstasyon zamanı (İş yükü): Bir istasyona atanan görevlerin görev süreleri toplamına eşittir. k istasyonuna ait istasyon zamanı S_k ile gösterilir.

Çevrim zamanı: Montaj hattındaki bir istasyona, o istasyona atanan görevlerin tamamlanabilmesi için ayrılan zamandır. Çevrim zamanı bir montaj hattını oluşturan bütün istasyonlar için eşittir ve hattan ardı ardına iki ürün çıkışı arasında geçen süreyi ifade eder. Genellikle C ile ifade edilir.

İstasyon boş zamanı: Montaj hattının çevrim zamanı ile hatta açılan bir istasyonun istasyon zamanı arasındaki farktır.

Toplam boş zaman: Montaj hattını oluşturan bütün istasyonlarının boş zamanlarının toplamıdır.

Denge gecikmesi: Toplam boş zamanın, ürünün hat boyunca harcadığı zamana oranıdır. Hattın etkinliğinin bir ölçüsü olarak kullanılır. Denge gecikmesi d ile gösterilir ve formülü şöyledir (Eş. 3.1):

$$d = \frac{(K \cdot C - \sum_{i=1}^N t_i)}{K \cdot C} \quad (3.1)$$

Hat etkinliği: Görev süreleri toplamının, ürünün hat boyunca harcadığı zamana oranıdır. Hattın etkinliğinin bir ölçüsü olarak kullanılır. e ile gösterilir, Eş. 3.2 'de gösterildiği gibi hesap edilir.

$$e = \frac{\sum_{k=1}^K S_k}{K \cdot C} \quad (3.2)$$

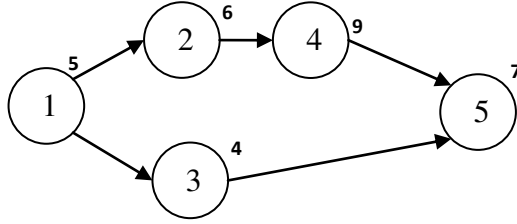
Düzensizlik indeksi: Bir montaj hattının dengesinin göreceli düzensizliğini gösteren bir indekstir. İndeksin 0 olması, denge düzensizliğünün tam olduğu anlamındadır. Eş. 3.3'deki gibi hesap edilir.

$$SI = \sqrt{\sum_{k=1}^K (\text{Max}_k \{S_k\} - S_k)^2} \quad (3.3)$$

Esneklik Oranı: Esneklik oranı montaj işlemindeki görevlerin öncelik iliksisine göre bulunabilecek uygun sıralamaların nispi belirleyicisidir. Bir öncelik diyagramının esnekliği öncelik matrisinden faydalanılarak tespit edilir. Esneklik, problem çözümünü kolaylaştıran ya da zorlaştıran bir faktördür. Eşitlikteki Y değişkeni öncelik matrisindeki sıfır sayısını temsil etmektedir. Eş. 3.4'de gösterildiği gibi hesap edilir.

$$Es. Oranı = \frac{2 \cdot Y}{N \cdot (N-1)} \quad (3.4)$$

Öncelik Diyagramı: Bir ürünün montajında yapılması gereken iş elemanlarının ya da görevlerin işlem sıralarının grafiksel olarak gösterimine imkan veren bir araçtır. Şekil 3.1’de beş elemanlı bir öncelik diyagramı verilmiştir. Dairelerin içindeki numaralar görevleri, dışındakiler ise görev zamanlarını ifade etmektedir.



Şekil 3.1. Öncelik ilişkileri diyagramı

Öncelik Matrisi: Öncelik diyagramındaki ilişkilerin matris sisteminde gösterimiyle oluşturulan bir üst üçgen matristir. Öncelik diyagramındaki eğer i görevini j görevi takip ediyorsa matriste i. satır j. sütun 1, aksi halde 0 değerini alır.

Çizelge 3.1. Öncelik matrisi

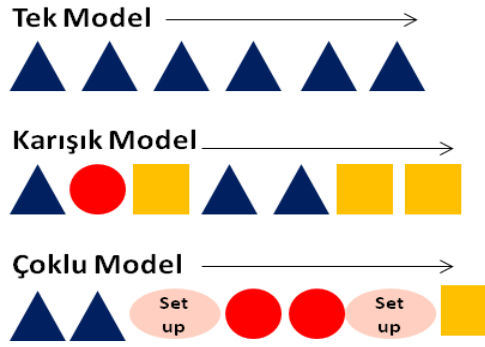
	1	2	3	4	5
1	-	1	1	1	1
2		-	0	1	1
3			-	0	1
4				-	1
5					-

3.3. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Montaj hattı dengeleme problemleri; model sayısına göre, işlem zamanına göre, hattın şekline göre, performans ölçütüne göre sınıflandırılabilir.

Model sayısına göre montaj hatları ; tek modelli hatlar, çok modelli hatlar ve karışık modelli hatlar olmak üzere üçe ayrılır [Gökçen, 1994]:

- Tek modelli hatlar, basit montaj hatları olarak da isimlendirilir ve bu tür hatlarda tek bir ürün çeşidi üretilir.
- Çok modelli hatlarda, değişik modeller üretilir. Değişik modellerin üretimi ayrı ayrı kafieler halinde ve değişik zamanlarda yapılır.
- Karışık modelli hatlarda, değişik modeller aynı anda ve karışık olarak üretilirler.

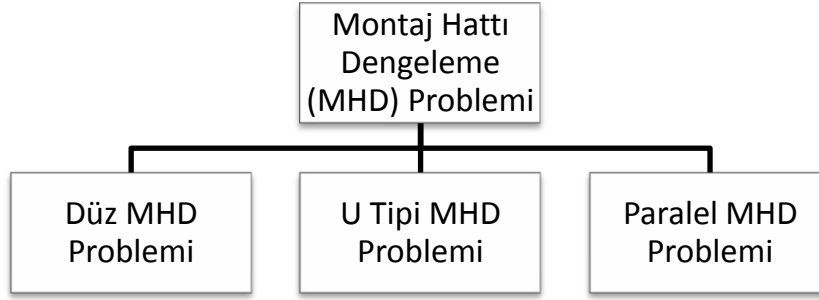


Şekil 3.2. Model sayısına göre montaj hatları

İşlem zamanına göre montaj hatları; deterministik işlem zamanlı ve stokastik işlem zamanlı olmak üzere ikiye ayrılır [Gökçen, 1994]:

- Deterministik işlem zamanlı montaj hatlarında, görev zamanlarının verilmiş olduğu ve bu zamanların bir birimden diğerine herhangi bir değişim göstermediği varsayılmaktadır.
- Stokastik işlem zamanlı montaj hatlarında ise, görev zamanları, belirli bir dağılımla ifade edilir. İnsan unsuru, görev zamanlarının değişken olmasına yol açmaktadır.

Hat yerleşim tipine göre MHD problemleri; üç kategori içerisinde sınıflandırılabilir. Bunlar, geleneksel (düz) montaj hatları, U tipi montaj hatları ve paralel montaj hatları.



Şekil 3.3. Hat yerleşimine göre MHD problemleri

Performans ölçütlerine göre; üç çeşit montaj hattı dengeleme problemi tanımlanabilir. Bunlar;

- MHDP-1: verilen bir çevrim zamanı için iş istasyonu (J) sayısının minimizasyonu
- MHDP-2: verilen iş istasyonu sayısı için çevrim zamanının(C) minimize edilmesi
- MHDP-3: hat etkinliğinin (e) maksimizasyonu ya da $J \cdot C$ 'nin minimizasyonu

3.3.1. Basit montaj hattı dengeleme problemi

Basit montaj hattı dengeleme problemi (BMHDP) tüm istasyonların, her iş ögesi için uygun donanıma sahip olduğu, deterministik operasyon zamanları ve sabit çevrim zamanının olduğu, montaj hattının tek bir model için tasarlanmış olduğu hatlarda ortaya çıkar [Scholl 1999].

Basit MHD Problemi'nin ana karakteristikleri şunlardır:

- Tüm girdi parametreleri kesinlikle bilinmektedir.
- Bir iş ögesi iki veya daha fazla iş istasyonu arasında paylaştırılmaz.
- Teknolojik öncelik kısıtlarından dolayı iş ögeleri rassal olarak istasyonlara atanamazlar.
- Tüm görevler gerçekleştirilmelidir.
- Montaj hattı tek bir model için tasarlanmıştır.
- Hat boyunca herhangi bir besleyici, alt-montaj hattı yoktur.
- Tüm istasyonlar, her iş ögesi için uygun donanımına sahiptir.
- İş ögesi süreleri, işin yapıldığı istasyondan ve önceki veya sonraki iş ögelerinden bağımsızdır.
- Herhangi bir iş ögesi, herhangi bir istasyonda uygulanabilir.

3.4. Montaj Hattı Dengeleme Problemi için Çözüm Yöntemleri

3.4.1. Kesin yöntemler

Analitik yöntemler sayesinde MHD problemlerinin en iyi çözümünü bulunabilmektedir. Literatürde, MHD problemlerinin çözümü için analitik yöntem olarak 0-1 tam sayılı programlama, tam sayılı programlama, dal-sınır algoritması, dinamik programlama, amaç programlama kullanılmıştır. Ağırlıklı olarak ise dinamik programlama ve dal-sınır algoritması tercih edilmiştir. Analitik yöntemler kullanıldığında, özellikle işlem sayısının arttığı ve esneklik oranının yüksek olduğu durumlarda, en iyi çözüme ulaşmak uzun sürebilir. Bu gibi durumlarda özellikle dal-sınır algoritmalarındaki eleme kuralları, gereksinim duyulan zamanın azaltılmasında büyük yarar sağlamaktadır.

3.4.2. Sezgisel Yöntemler

Sezgisel yöntemlerde problemin çözümü, belirli kurallar dizisi altında çeşitli prosedürlerin uygulanmasıyla elde edilir. Elde edilen çözüm kabul edilebilir bir çözümdür ama en iyi çözümü garanti etmez.

Sezgisel yöntemler kullanılarak, analitik yöntemlere göre daha kısa sürede çözüme ulaşılır, ama bulunan çözümün en iyi çözümü garanti etmediği unutulmamalıdır. Literatürde söz edilen bazı sezgisel yöntemler şunlardır:

- Konum ağırlıklı dengeleme tekniği (Helgeson-Birnie)
- Aşamalı sıralamayla çözüm (Jackson)
- Öncelik diyagramı ile çözüm (Hoffman)
- Aday matris ile çözüm (Salveson)
- COMSOAL tekniği (Arcus)
- İlişkili etkinlik yöntemi (Agrawal)
- İki aşamalı dengeleme tekniği (Moddie-Young)
- Kilbridge-Wester yöntemi
- Gruplama yöntemi (Tonge)

Son yıllarda genetik algoritma, karınca kolonisi optimizasyonu, tavlama benzetimi, tabu arama algoritması gibi meta-sezgisel yöntemler de montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde kullanılmakta ve iyi sonuçlar elde edilmektedir.

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

4.1. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı

Tedarik zinciri yönetimi son yıllarda araştırmacılar tarafından hayli ilgi toplamıştır. Tedarik zinciri ağının tasarım ve optimizasyonu bu araştırma alanının en popüler problemlerinden biridir. Bu sebepten dolayı, birçok matematiksel ve sezgisel model önerilmiştir.

Tedarik zinciri için önerilen birkaç modelde depolama [Ganeshan, 1999; Tuzkaya ve Önüt, 2009], birleştirilmiş üretim planlama [Singhvi ve ark., 2004], malzeme ihtiyaçları planlaması [Yan ve ark., 2003] vb. belirli fonksiyonların birleştirilmesine odaklanılmıştır. Çalışmaların büyük çoğunluğunda doğrusal programlama temelli modelleme yaklaşımı [Chen ve Wang, 1997; Kanyalkar ve Adil 2005], özellikle de karma tamsayı doğrusal programlama modeli kullanılmıştır [Sakawa ve ark., 2001; Rizk ve ark., 2008]. Diğer taraftan doğrusal olmayan programlama sadece birkaç çalışmada kullanılmıştır [Altıparmak ve ark., 2006; Shen ve Daskin, 2005].

Syarif ve ark., (2002) bu tarz problemi çok seçmeli sırt çantası problemi ile kapasiteli yerleşim-paylaşım problemlerinin eş zamanlı kombinasyonu olduğu için NP-hard olarak tanımlamıştır. Böylece sezgisel ve meta sezgisel modeller geliştirilmiştir. Jayaraman ve Pirkul (2001), Syarif ve ark., (2002), Gen ve Syarif (2005), Altıparmak ve ark. (2009) ve Chan ve Kumar (2009) tarafından tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için sezgisel ve meta sezgisel modeller önerilmiştir.

Gen ve ark. (2005), çok aşamalı ve çok dönemli bir tedarik zinciri ağı tasarımı için hibrid bir genetik algoritma önermişlerdir.

Altıparmak ve ark. (2006), genetik algoritma temelli, çok amaçlı bir tedarik zinciri ağı tasarımı için optimum sonuçlar kümesini bulmak amacıyla yeni bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir.

Tuzkaya ve Önüt (2009), tedarikçi, depo ve üreticilerden oluşan iki aşamalı bir tedarik zinciri ağı için holonik sistem yaklaşımıyla yok satma ve elde tutma maliyetlerini minimize eden bir model önermişlerdir.

Kadadevaramath ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada belirsizlik ortamında ağ tasarımı için parçacık sürü algoritması tabanlı sezgisel bir yaklaşım önermişlerdir.

Venkatesan ve Kumanan (2012) yaptıkları çalışmada tedarik zinciri maliyetlerin minimizasyonu, talep teslim süresinin minimizasyonu ve hacim esnekliğinin maksimizasyonunu içeren tedarik zinciri ağ tasarımı için çok amaçlı deterministik parçacık sürü optimizasyonu modeli önermişlerdir. Ayrıca son yıllarda literatüre giren çok amaçlı deterministik tedarik zinciri modelleri incelenmiştir. Bu modeller detaylı olarak Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Sunulan çizelgede modeller ele alınan konu, amaç fonksiyonu, karar değişkenleri ve çözüm metodolojisi açısından gruplandırılmıştır.

Tedarik zinciri optimizasyon modellerinde maliyetler, teslim süreleri, müşteri hizmeti ve stok seviyeleri başlıca sayısal amaç değerleri olarak düşünülür. Mula ve arkadaşlarına (2010) göre maliyetlere ilişkin, maliyetlerin minimizasyonu [Özdamar ve Yazgac, 1997; Azaron ve ark., 2008], faydanın maksimizasyonu ve gelirlerin maksimizasyonu [Cohen ve Lee, 1989; Tsai ve ark., 2008] çalışılmış, hizmet seviyesinin maksimizasyonu [Chen ve Lee, 2004; Torabi ve Hassini, 2008], birikmiş siparişlerin minimizasyonu [Tuzkaya ve Önüt, 2009; Paksoy ve Chang, 2010], hacimde veya teslim tarihlerinde esneklik [Sabri ve Beamon, 2000] yapılan çalışmalarda ele alınmıştır.

Çizelge 5.1. Bir bakışta tedarik zinciri ağ tasarımı literatürü

Model tanımlamaları		Moncayo-Martinez ve Zhang (2011)	Chan ve Kumar (2009)	Du ve Evans (2008)	Pokharel (2008)	Chern ve Hsieh (2007)	Farahani ve Elapinah (2007)	Altıparmak ve ark. (2006)	Ding ve ark. (2006)	Shen ve Daskin (2005)	Melachrinoudis ve ark. (2005)	Chan ve Chung (2004)	Zhou ve ark. (2003)	Beamon (2000)
Ele alınan konu	Stratejik	•	•	•	•	-	-	•	•	-	•	-	-	•
	Taktiksel	-	-	-	-	•	•	-	-	•	-	•	•	•
	Operasyonel	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-
Model detayları	Çeşit	MILP	LP	MILP	LP	LP	MILP	MINLP	LP	MINLP	MILP	LP	LP	MILP
	Amaç	M, TZ	TZ, U	M, TZ	M, G	M, C, U	M, H	M, D, U	M, TZ	M, D	M, D, S	M, TZ, U	M, TZ	M, TZ
	Aşama sayısı	2	1	2	3	3	2	3	2	1	2	2	1	3
	Ürün sayısı	Ç	T	Ç	T	Ç	Ç	T	T	T	T	T	T	Ç
Karar değişkenleri	Kaynakların seçimi/yerleşim	•	-	•	•	-	•	•	•	-	•	-	-	•
	Konumlandırma	-	•	•	-	-	-	-	-	•	-	-	•	-
	Miktar	•	-	•	•	•	•	•	•	-	•	-	-	•
	Şebeke/Ağ yapısı	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Stok seviyesi	-	-	-	-	•	•	-	•	•	-	-	-	-
	Taşıma yöntemi	-	-	-	-	-	-	-	•	•	-	-	-	-
Metodoloji	Kesin teknikler	-	-	dual simleks	adım metodu	ağırlıklı toplam	LINGO	-	-	ağırlıklı toplam	fiziksel doğrusal progr.	-	-	performans vektörü
	Sezgisel tek.	KKO	KKO	scatter arama algoritması	-	ağırlıklı toplam	GA	GA, TB	GA	GA	-	GA	GA	-

M: maliyet, TZ: teslim zamanı, U: kaynak kullanım oranı, G: güvenilirlik, D: talep karşılama oranı, H: hizmet seviyesi, C: gecikme cezası, S: soyut yararlar, LP: doğrusal programlama, MILP: karma tamsayılı doğrusal programlama, MINLP: karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama, Ç: çok sayıda ürün, T: tek ürün, KKO: karnca koloni opt., GA: genetik algoritma, TB: tavlama benzetimi

4.2. MHD Problemi

MHD problemi ilk olarak Salveson (1955) tarafından matematiksel olarak formüle edilmiştir. Bu çalışmanın devamında montaj hatlarında kesin çözüm metotları, sezgiseller ve meta-sezgiselleri içeren birçok çalışma bugüne kadar literatüre sunulmuştur. Baybars (1986), Erel ve Sarin (1998), Scholl (1999) ve Becker ve Scholl (2006) klasik montaj hattı probleminin çözümü için yeni yaklaşımlar önermişlerdir. Gökçen ve Erel (1997) yapmış oldukları çalışmada karışık modellenmiş montaj hatları için bir hedef programlama modeli önermişlerdir. BMHD problemlerinin çözümü için görev zamanları ve yapıları göz önüne alan birtakım teknikler önerilmiştir [Graves ve Lamar, 1983; Pinnoi ve Wilhelm, 1997; Nicosia ve ark., 2002; Yamada ve Matsui, 2003; Ağpak ve Gökçen, 2005].

McMullen ve Tarasewich (2003) tarafından paralel iş istasyonlarına sahip, stokastik görev süreli, karma modellenmiş montaj hattı dengeleme problemi için karınca teknikleri kullanarak bir çözüm yöntemi sunulmuştur.

Scholl ve Becker (2006) yaptıkları çalışmada basit montaj hattı dengeleme üzerine çalışan araştırmacılar için kesin ve sezgisel çözüm prosedürlerini incelemişlerdir.

Bautista ve Pereira (2007) tarafından zaman ve yer kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi için karınca algoritmaları önerilmiştir.

Baykasoğlu ve Dereli (2009) tarafından düz ve u tipi montaj hatları için COMSOAL ve pozisyon ağırlıkları yöntemlerinin entegre edildiği bir karınca kolonisi algoritması önerilmiştir.

Simaria ve Vilarinho (2009) yaptıkları çalışmada iki taraflı karma modellenmiş montaj hattı dengeleme problemi için karınca kolonisi algoritması önermişlerdir.

4.3. TZA/MHD Entegrasyonu

Yukarıda verilen tüm çalışmalara göre tedarik zinciri tasarımı ve montaj hattı dengeleme problemleri daima ayrı ayrı çalışılmıştır. Fakat Che ve ark. (2009) bir montaj üretim hattına benzer tedarik zinciri operasyon mekanizması sunmuştur. Burada hat dengeleme teknolojisini tedarik zinciri ağ tasarım problemine uygulamışlardır yani iki problemi eş zamanlı olarak düşünmemişlerdir.

Che ve Chiang (2010) bir siparişe göre üretim tedarik zinciri ağı için tedarik zinciri planlama uygulamasına odaklanmışlardır. Planlama, pazar talebini karşılamak için tedarik zincirinin lojistik dağıtım sistemi ile birlikte tedarikçi seçimi, ürün montajı için tasarlanmıştır. Maliyetler, teslim zamanı ve kalite olarak üç değerlendirme kriteri ve çok amaçlı matematiksel model siparişe göre tedarik zinciri planlama için kurulmuştur. Fakat hat dengeleme dikkate alınmamıştır.

Sawik (2009) müşteri odaklı tedarik zincirinde tedarik, üretim ve dağıtımın birleştirilmesini düşünmüş ve uzun dönemli çizelgeleme, imalat parçalarının koordinasyonu, biten ürünlerin montajı ve tedariği için karma tamsayılı programlama formülasyonu önermiştir. Problem parçaların imalat ve tedariği, ürünlerin montajı gibi konuların nasıl koordine edileceği ele alınırken, montaj hattı dengeleme göz önüne alınmamıştır.

Xiaobo ve ark. (2007) bir tedarik-montaj-depolama zinciri ile üretim-stok stratejisi ele almışlardır. Zincir, tedarikçi bileşenlerinin kümesi, sıralı iş istasyonları kümesine bağlı bir konveyör ile karma montaj hattı modeli ve biten ürün depolarının kümesinden meydana gelmiştir. Bu makale uzun dönem davranışı açısından sistemin tasarım evrelerinde performans analizi ve modelleme sunmuştur.

Paksoy ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada tedarik zinciri ağ tasarım problemi ve montaj hattı dengeleme problemini eş zamanlı olarak ele almışlar ve stratejik ve taktiksel seviye kararların eş zamanlı olarak ele alındığı doğrusal olmayan karma tamsayılı matematiksel model önermişlerdir. Bu çalışmada, tedarik zincir ve montaj

hattının eş zamanlı optimizasyonu tanıtılmış ve nitelendirilmiştir. Problem yeni bir problem olarak düşünülmüş ve problem montaj hattı dengeleme ve tedarik zinciri ağ tasarım problemlerinin NP-hard yapısından dolayı daha zor bir hale gelmiştir. Doğrusal olmayan karma tamsayılı matematiksel model geliştirilmiş ve problem çözülmüştür. İki problemin birleştirilmesi için çevrim zamanları karar değişkenlerine dönüştürülmüştür. Geliştirilen modelin test problemleri üzerinde yapılan sayısal deneyleri rapor edilmiştir.

5. TEDARİK ZİNCİRİ AĞLARININ MONTAJ HATLARI İLE OPTİMİZASYONU

Bu bölümde, montaj hattı dengeleme yapılırken tedarik zincir ağının eş zamanlı olarak optimizasyonu anlatılmıştır. Yapılan tez çalışmasında Paksoy ve ark. (2012) tarafından önerilen doğrusal olmayan karma tamsayılı bir model ele alınmıştır.

5.1. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı ve Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Birleştirilmesi

Tipik bir tedarik zinciri ağ tasarım problemi hizmet sunulan müşteri bölgeleri kümesi, üretilen ve dağıtılan ürünlerin kümesi, farklı müşteri bölgeleri için talep planlamaları, gelecekteki ortam koşullarına dair bilgi, maliyetler (örneğin, üretim ve taşıma için), kaynaklar (örneğin, kapasiteler, mevcut hammadde) gibi karakteristik girdilere sahiptir. Tedarik zinciri ağ tasarım problemleri doğrudan doğruya montaj edilmiş veya üretilmiş olan ürünler kümesi ile ilgilenmektedir. Bu ilişki göz önüne alınarak tedarik zinciri ağ tasarım probleminin içerisine montaj hattı dengeleme problemi ile entegrasyonu uygun görülmüştür. Bu iki problemin birleşim noktası olarak çevrim zamanı belirlenmiştir. Çevrim zamanı verilen bir işin tamamlanması için ihtiyaç duyulan zamandır. Önerilen modelde çalışma zamanı belirlenmiş fakat montaj edilmek için ihtiyaç duyulan ürünlerin sayısı ağ tasarım probleminden sağlanan çıktılarına göre değişkenlik göstermektedir [Paksoy ve ark., 2012]. İki problemi birleştirmek için Eş. 4.1 ve Eş. 4.2 kullanılmıştır. Eş. 4.1 'de p periyodunda a montajcısının çevrim zamanı (CT_{ap}), sistemin toplam çalışma süresinin ($W_{süre}$) a montajcısından c müşterisine gönderilen ürün miktara (Y_{acp}) bölünmesiyle hesap edilir. Eş. 4.2 ise j iş istasyonunun iş yükünün ($t_i \cdot V_{aijp}$) p periyodunda a montajcısının çevrim zamanını (CT_{ap}) aşmadığını göstermektedir.

$$CT_{ap} = \frac{W_{süre}}{\sum_c Y_{acp}} \quad \forall a \in A, \forall p \in P \quad (4.1)$$

$$\sum_i^N t_i \cdot V_{aijp} \leq CT_{ap} \quad \forall a \in A, \forall j \in J, \forall p \in P \quad (4.2)$$

Dolayısıyla model, talebin karşılanması için kaynaklar arasında taşınan miktarı belirlerken, aynı zamanda değişken çevrim zamanlarına göre istasyonları dengelemektedir. Önerilen modelde bir istasyon açmak için periyot başına sabit bir maliyet belirlenmiştir. Böylelikle amaç fonksiyonu istasyonların toplam sabit maliyetlerinin ve ulaşım maliyetlerinin eş zamanlı olarak minimize edilmesi şeklinde olmuştur. Önerilen montaj hattı dengeleme problemi eşzamanlı istasyon ve çevrim zamanı değişkenliği nedeniyle mevcut basit montaj hattı dengeleme (BMHD) problemlerinden bazı yönleriyle farklıdır. Önerilen modelin temel varsayımları aşağıdaki gibidir:

- Bir ürün için her müşterinin talebi deterministiktir ve tam olarak karşılanmış olmalıdır. Talepler ve taşınan malzemeler bölünebilir miktarlarda olabilir.
- Sadece iki ardışık aşama arasında akışa izin verilmektedir.
- Montajcılar ve imalatçıların kapasiteleri sınırlı ve önceden bilinmektedir.
- Tüm parametreler deterministik ve bilinmektedir.
- Çevrim zamanı her montajcı için değişkendir.
- Operatörlerin hareket zamanları ihmal edilmiştir.
- Proses içi stok durumuna izin verilmemektedir.
- Bir görev iki ya da daha fazla istasyona ayrılamaz.
- Problemin öncelik ilişkileri bilinmektedir.
- Tüm istasyonlar görevleri işleme tabi tutabilmekte ve aynı maliyetlere sahiptirler.
- Görev süreleri istasyondan bağımsızdır ve sıraya bağımlı değildir.
- Hat seridir, besleyici veya paralel alt montaj hattı yoktur ve işlem süreleri her istasyonda eklemelidir.
- Hat bir ürünün tek bir modeli için tasarlanmıştır.

İlk 4 madde tedarik zinciri tasarımları için diğer çalışmalarda dikkate alınan standart varsayımlardandır. Çevrim süresi için olan varsayım hariç diğer varsayımlar Baybars (1986) tarafından tanımlanmıştır.

5.2. Matematiksel Model

Matematiksel modelde kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenleri bu bölümde verilmiştir [Paksoy ve ark., 2012].

İndisler

M	imalat tesisleri kümesi ($m \in M$)
A	montaj tesisleri kümesi ($a \in A$)
C	müşteriler kümesi ($c \in C$)
P	periyotlar ($p \in P$)
B	bileşenler kümesi ($b \in B$)
J	istasyonlar kümesi üst sınırı ($j \in J$)
N	görevler kümesi ($i, r, s \in N$)
L	bir görevden önce olan görevlerin kümesi ($r, s \in L$)

Parametreler

t_i	i görevinin görev süresi
$W_{süre}$	p periyodunda sistemin toplam çalışma süresi
a_{mbp}	p periyodunda k bileşeni için m imalatçısının kapasitesi
b_{ap}	p periyodunda a montajcısının kapasitesi
u_{cp}	p periyodunda c müşterisinin talebi
C_{map}	p periyodunda m imalatçısından a montajcısına nakliyenin birim maliyeti
C_{acp}	p periyodunda a montajcısından c müşterisine nakliyenin birim maliyeti
D_{ma}	m imalatçısı ve a montajcısı arasındaki mesafe
D_{ac}	a montajcısı ile c müşterisi arasındaki mesafe
O	montaj hattında bir istasyon açmanın sabit maliyeti

Değişkenler

X_{mabp}	p periyodunda m imalatçısından a montajcısına taşınan b bileşeni miktarı
Y_{acp}	p periyodunda a montajcısından c müşterisine taşınan miktar
V_{aijp}	eğer p periyodunda a montajcısı için j iş istasyonuna her hangi bir görev atanmışsa, 1; aksi takdirde 0
Z_{ajp}	eğer p periyodunda a montajcısı için j iş istasyonuna atanan görev varsa, 1; aksi takdirde 0
CT_{ap}	p periyodunda a montajcısı için çevrim zamanı

Amaç Fonksiyonu

$$Z_1 = \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P X_{mabp} D_{ma} C_{map} + \sum_{a=1}^A \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P Y_{acp} D_{ac} C_{acp} + \quad (4.3)$$

$$Z_2 = \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P Z_{ajp} \cdot O \quad (4.4)$$

Amaç fonksiyonu iki kısımdan oluşmaktadır (Z_1, Z_2). Amaç fonksiyonunun birinci kısmında (Eş. 4.3) 1. ve 2. aşama taşıma maliyetleri minimize edilmeye çalışılmaktadır. İkinci kısımda (Eş. 4.4) ise montaj hattında istasyon açma sabit maliyeti en azlanmaktadır.

Kısıtlar

$$\sum_{a=1}^A X_{mabp} \leq a_{mbp} \quad \forall m \in M, \forall b \in B, \forall p \in P \quad (4.5)$$

$$\sum_{c=1}^C Y_{acp} \leq b_{ap} \quad \forall a \in A, \forall p \in P \quad (4.6)$$

$$\sum_{a=1}^A Y_{acp} \geq u_{cp} \quad \forall c \in C, \forall p \in P \quad (4.7)$$

$$\sum_{m=1}^M X_{mabp} - \sum_c Y_{acp} = 0 \quad \forall a \in A, \forall b \in B, \forall p \in P \quad (4.8)$$

$$\sum_{j=1}^J V_{aijp} = 1 \quad \forall a \in A, \forall i \in N, \forall p \in P \quad (4.9)$$

$$\sum_{j=1}^J j(V_{arjp} - V_{asjp}) \leq 0 \quad \forall a \in A, \forall r, s \in L, \forall p \in P \quad (4.10)$$

$$\sum_{i=1}^N t_i \cdot V_{aijp} \leq CT_{ap} \quad \forall a \in A, \forall j \in J, \forall p \in P \quad (4.11)$$

$$CT_{ap} = \frac{W_{süre}}{\sum_c Y_{acp}} \quad \forall a \in A, \forall p \in P \quad (4.12)$$

$$\sum_{i=1}^N V_{aijp} - J \cdot Z_{ajp} \leq 0 \quad \forall a \in A, \forall j \in J, \forall p \in P \quad (4.13)$$

$$X_{mabp}, Y_{cp}, CT_{ap} \geq 0 \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall c \in C, \forall b \in B, \forall p \in P \quad (4.14)$$

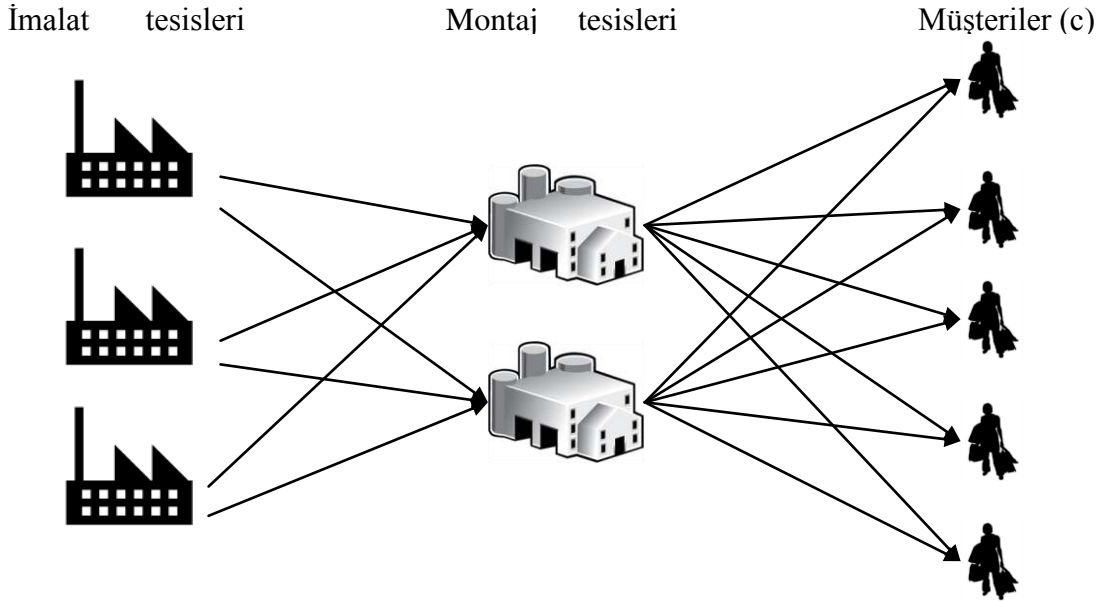
$$V_{aijp}, Z_{ajp} \in \{0,1\} \quad \forall a \in A, \forall i \in N, \forall j \in J, \forall p \in P \quad (4.15)$$

Eş. 4.5 ve Eş. 4.6 tedarik zincirinde bulunan kaynakların kapasite kısıtlarıdır. Eş. 4.7 a montajcısından c müşterisine taşınana miktarın c müşterisinin talebine eşit ya da talebinden büyük olması gerektiğini göstermektedir. Eş. 4.8 m imalatçısından a montajcısına gönderilen miktarın, a montajcısından c müşterisine giden miktara eşit olacağını göstermektedir. Eş. 4.9 her görevin tam olarak bir istasyona atanmasını sağlayan atama kısıdıdır. Eş. 4.10 montaj hattında bulunan işlerin öncelik kısıtlarıdır. Eş. 4.11 j iş istasyonunun iş yükünün p periyodunda a montajcısının çevrim zamanını aşmamasını sağlayan çevrim zamanı kısıdıdır. Eş. 4.12 p periyodunda a montajcısının çevrim zamanının, toplam çalışma süresinin a montajcısından c müşterisine gönderilen miktara bölünmesiyle hesap edildiğini ifade etmektedir.

Eş.4.13 eğer her hangi bir görev atanmışsa j iş istasyonunun kullanıldığını ifade eder. Eş.4.14 karar değişkenlerinin negatif olamayacağını ifade etmektedir. Eş. 4.15 ise Z_{ajp} ve V_{aijp} değişkenlerinin 0 ya da 1 değerleri alması gerektiğini belirtir.

5.3. Sayısal Örnek

Bu bölümde tedarik zinciri ağ tasarımı ve montaj hattı dengeleme entegrasyonu modelinin daha iyi anlaşılabilmesi için sayısal bir örnek sunulacaktır. Ele alınan örnek problemde tedarik zinciri üç imalat tesisi, iki montaj tesisi ve beş müşteriden oluşmaktadır. Modelde imalatçılar, montajcılar ve müşteriler arasındaki taşıma miktarları belirlenirken aynı zamanda montaj tesislerinde bulunan montaj hatları da dengelenmektedir. Tedarik zinciri ağı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Örnek problem için tedarik zinciri ağı

İmalat tesisleri tarafından üretilen dört farklı bileşen montaj tesislerinde nihai ürünlere dönüştürülmektedir. Montaj işlemi tamamlandıktan sonra nihai ürünler müşterilere gönderilmektedir. Önceki bölümde anlatıldığı gibi çevrim süresi karar değişkeni olarak tanımlanmıştır. Model, montajcılardan müşterilere taşınan ürün

miktarına göre çevrim süresini belirleyerek montaj hattını dengelemekte ve sabit maliyetleri en aza indirmeye çalışmaktadır. Bileşenlerin montajı Şekil 4.2’de verilen öncelik diyagramına göre yapılmaktadır. Ayrıca verilen öncelik diyagramında sekiz görevin ($N=8$) 3 ve 9 dakika arasında değişen işlem süreleri de verilmiştir.

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de tesislerin kapasiteleri ve müşterilerin talepleri, Çizelge 4.3’de tesisler arasındaki mesafeler, Çizelge 4.4’de ise tesisler arasındaki birim taşıma maliyetleri sunulmuştur.

Çizelge 5.1. İmalat tesislerinin bileşen kapasiteleri (periyotlara göre)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4
İmalat tesisi 1	P1	250	200	300	250
	P2	400	200	200	400
İmalat tesisi 2	P1	200	300	250	300
	P2	200	300	250	200
İmalat tesisi 3	P1	300	250	300	300
	P2	200	400	300	200

Çizelge 5.2. Montaj tesislerinin kapasiteleri ve müşterilerin talepleri

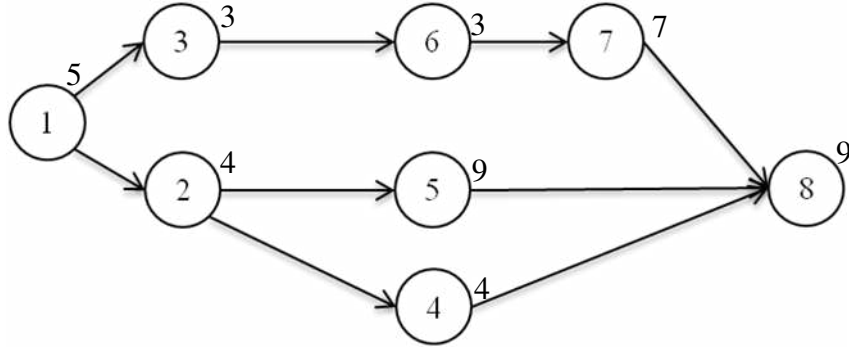
	Montaj tesisi 1	Montaj tesisi 2	Müşteri 1	Müşteri 2	Müşteri 3	Müşteri 4	Müşteri 5
P1	400	300	150	50	150	100	50
P2	450	350	50	150	100	50	200

Çizelge 5.3. Montajcılar, imalatçılar ve müşteriler arasındaki mesafeler
(D_{ma} , D_{ca})

	İmalat tesisi 1	İmalat tesisi 2	İmalat tesisi 3	Müşteri 1	Müşteri 2	Müşteri 3	Müşteri 4	Müşteri 5
Montaj tesisi 1	250	660	330	480	540	250	320	320
Montaj tesisi 2	340	110	210	130	450	340	610	660

Çizelge 5.4. Montajcılar, imalatçılar ve müşteriler arasındaki br. taşıma maliyetleri
(C_{map}, C_{acp})

		İmalat tesisi 1	İmalat tesisi 2	İmalat tesisi 3	Müşteri 1	Müşteri 2	Müşteri 3	Müşteri 4	Müşteri 5
Montaj tesisi 1	P1	0,2	0,38	0,22	0,35	0,3	0,43	0,28	0,23
	P2	0,25	0,35	0,27	0,25	0,27	0,45	0,25	0,19
Montaj tesisi 2	P1	0,25	0,35	0,28	0,4	0,35	0,35	0,16	0,3
	P2	0,3	0,45	0,3	0,36	0,41	0,3	0,18	0,24



Şekil 5.2. Sekiz görevli örnek problem için öncelik diyagramı

Örnek problemde bir periyot günde sekiz saat ve hafta beş iş günü çalışmak üzere iki hafta olarak belirlenmiştir. Böylelikle $W_{süre} = 2*5*8*60 = 4800$ dk. olmuştur. İstasyon açma sabit maliyeti $O = 1000$ pbr. olarak alınmıştır.

Ele alınana sayısal örnek, GAMS paket programının BARON çözücüsü ile çözülmüş ve optimal çözüme ulaşmıştır. Toplam taşıma maliyeti 317 725 pbr. olarak bulunmuştur. Toplamda 11 istasyon açılmış ve $11*1\ 000 = 11\ 000$ pbr. istasyon açma sabit maliyeti bulunmuştur.

Örnek test problemine ait X_{makp}, Y_{acp} değişkenleri ve V_{aijp}, Z_{ajp} 0-1 karar değişkenlerinin aldığı değerler Çizelge 4.5’de sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Örnek problemin optimal sonuçları

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
X ₁₁₁₁	200	X ₂₂₄₂	200	Y ₂₄₁	100	V ₁₂₁₂	1	V ₂₁₁₂	1
X ₁₁₁₂	200	X ₃₂₁₁	100	Y ₂₄₂	50	V ₁₂₃₁	1	V ₂₂₁₁	1
X ₁₁₂₁	200	X ₃₂₁₂	150	Z ₁₁₂	1	V ₁₃₂₂	1	V ₂₂₂₂	1
X ₁₁₂₂	200	X ₃₂₂₂	50	Z ₁₂₂	1	V ₁₃₃₁	1	V ₂₃₁₂	1
X ₁₁₃₁	200	X ₃₂₃₁	50	Z ₁₃₁	1	V ₁₄₁₂	1	V ₂₃₃₁	1
X ₁₁₃₂	200	X ₃₂₃₂	100	Z ₁₄₁	1	V ₁₄₄₁	1	V ₂₄₁₁	1
X ₁₁₄₁	200	X ₃₂₄₂	150	Z ₂₁₁	1	V ₁₅₁₂	1	V ₂₄₄₂	1
X ₁₁₄₂	200	Y ₁₃₁	150	Z ₂₁₂	1	V ₁₅₃₁	1	V ₂₅₂₂	1
X ₂₂₁₁	200	Y ₁₅₁	50	Z ₂₂₂	1	V ₁₆₂₂	1	V ₂₅₃₁	1
X ₂₂₁₂	200	Y ₁₅₂	200	Z ₂₃₁	1	V ₁₆₄₁	1	V ₂₆₁₂	1
X ₂₂₂₁	300	Y ₂₁₁	150	Z ₂₃₂	1	V ₁₇₂₂	1	V ₂₆₃₁	1
X ₂₂₂₂	300	Y ₂₁₂	50	Z ₂₄₁	1	V ₁₇₄₁	1	V ₂₇₃₂	1
X ₂₂₃₁	250	Y ₂₂₁	50	Z ₂₄₂	1	V ₁₈₂₂	1	V ₂₇₄₁	1
X ₂₂₃₂	250	Y ₂₂₂	150	V ₁₁₁₂	1	V ₁₈₄₁	1	V ₂₈₄₁	1
X ₂₂₄₁	300	Y ₂₃₂	100	V ₁₁₃₁	1	V ₂₁₁₁	1	V ₂₈₄₂	1

Elde edilen optimal sonuçlara göre çevrim süreleri aşağıdaki gibi hesap edilmiştir:

$$CT_{11} = \frac{W_{\text{süre}}}{Y_{111} + Y_{121} + Y_{131} + Y_{141} + Y_{151}} = \frac{4\ 800}{200} = 24,00 \text{ sn.}$$

$$CT_{12} = \frac{W_{\text{süre}}}{Y_{112} + Y_{122} + Y_{132} + Y_{142} + Y_{152}} = \frac{4\ 800}{200} = 24,00 \text{ sn.}$$

$$CT_{21} = \frac{W_{\text{süre}}}{Y_{211} + Y_{221} + Y_{231} + Y_{241} + Y_{251}} = \frac{4\ 800}{300} = 16,00 \text{ sn.}$$

$$CT_{22} = \frac{W_{\text{süre}}}{Y_{212} + Y_{222} + Y_{232} + Y_{242} + Y_{252}} = \frac{4\ 800}{350} = 13,71 \text{ sn.}$$

Birinci periyotta birinci montajcıdan müşterilere 150+50=200 birim ürün gönderilmiştir. Bu ürünlerin montajı için montaj hattında 2 istasyon açılmış ve çevrim süresi 24 dakika olarak hesaplanmıştır. İş istasyonlarına atanan görevler ile optimal çözüm Çizelge 4.6'da verilmiştir.

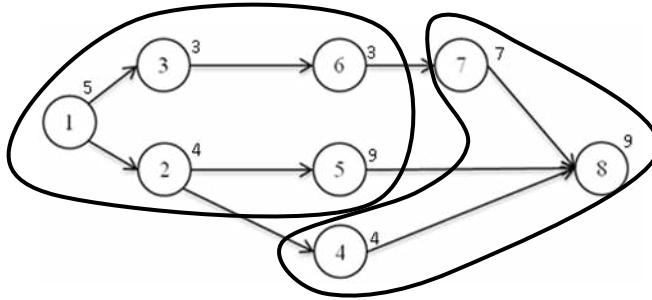
Çizelge 5.6. Birinci periyotta birinci montaj tesisi için optimal hat

İş istasyonu	Atanan görevler	İstasyon zamanı (dk.)	İstasyon boş zamanı (dk.)
1	1 - 2 - 3 - 6 - 5	24	0
2	7 - 4 - 8	20	4
Toplam		44	4

İkinci periyotta birinci montaj tesisinden müşterilere 200 birim ürün sevk edilmiş ve bu ürünlerin montajı için 2 istasyon açılmıştır. Çizelge 4.7’de montaj hattı için optimal çözüm sunulmuştur.

Çizelge 5.7. İkinci periyotta birinci montaj tesisi için optimal hat

İş istasyonu	Atanan görevler	İstasyon zamanı (dk.)	İstasyon boş zamanı (dk.)
1	1 - 2 - 3 - 6 - 5	24	0
2	7 - 4 - 8	20	4
Toplam		44	4



Şekil 5.3. Birinci montaj tesisi için dengelenmiş hat diyagramı (Her iki periyot için)

Birinci periyotta ikinci montajcıdan müşterilere $150+50+100=300$ birim ürün gönderilmiştir. Bu ürünlerin montajı için montaj hattında 3 istasyon açılmış ve çevrim süresi 16 dakika olarak hesaplanmıştır. İş istasyonlarına atanan görevler ile optimal çözüm Çizelge 4.8’de verilmiştir.

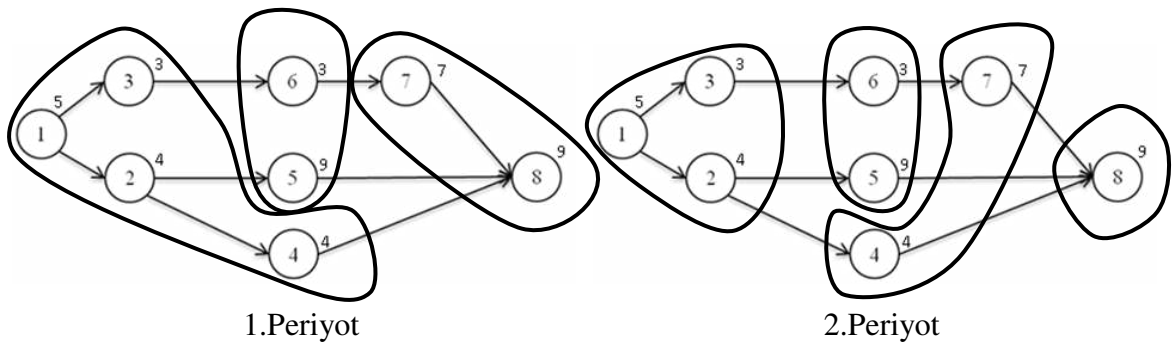
Çizelge 5.8. Birinci periyotta ikinci montaj tesisi için optimal hat

İş istasyonu	Atanan görevler	İstasyon zamanı (dk.)	İstasyon boş zamanı (dk.)
1	1 - 2 - 3 - 4	16	0
2	6 - 5	12	4
3	7 - 8	16	0
Toplam		44	4

İkinci periyotta ikinci montaj tesisinden müşterilere $50+150+100+50=350$ birim ürün sevk edilmiş ve bu ürünlerin montajı için 4 istasyon açılmıştır. Çizelge 4.9’da montaj hattı için optimal çözüm sunulmuştur.

Çizelge 5.9. İkinci periyotta ikinci montaj tesisi için optimal hat

İş istasyonu	Atanan görevler	İstasyon zamanı (dk.)	İstasyon boş zamanı (dk.)
1	1 - 2 - 3	12	1,71
2	6-5	12	1,71
3	7-4	11	2,71
4	8	9	4,71
Toplam		44	10,84



Şekil 5.4. İkinci montaj tesisi için dengelenmiş hat diyagramı

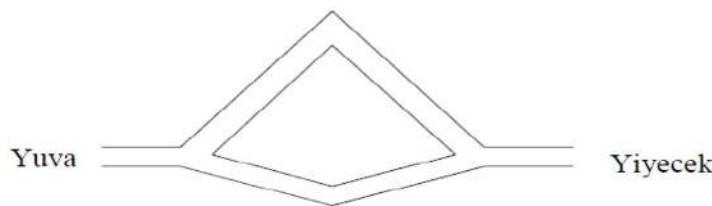
6. SÜRÜ ZEKASI

Bireysel olarak sınırlı yeteneğe sahip dağınık yapıli bireylerin bir amaca yönelik olarak bir araya gelip topluca akıllı davranış sergilemesi ‘Sürü Zekası’ olarak adlandırılır. Sürü zekası, kuş, balık sürüleri, karınca kolonileri veya diğeri canlı toplumlarının kolektif davranışlarından esinlenerek problemlerin çözümüne yönelik algoritmalar oluşturan bir alan olarak tanımlanabilir.

Sürüdeki bireyleri yönlendiren herhangi bir merkezi kontrol mekanizması yoktur. Bunun yerine bireyler birbirleri ve çevre ile etkileşim halindedirler. Sürüdeki bireyler bir amaca yönelik davranış gerçekleştirmek ve hedefe ulaşmak için birlikte çalışırlar. Bireyler faaliyetlerini idare etmek için basit bireysel kuralları kullanmaktadırlar.

6.1. Karınca Kolonisi Optimizasyonu

Karınca algoritmaları, gerçek karıncaların davranışlarından etkilenilmiş ajanlardan meydana gelen çok ajanlı sistemlerdir. Karınca algoritmaları, gezgin satıcı probleminden haberleşme şebekelerinin yönlendirilmesine kadar birçok problem türünde kullanılmış sürü zekası sistemlerinin başarılı bir örneğidir. Karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) algoritması, Marco Dorigo tarafından Goss ve arkadaşlarının gerçek karıncaları kullanarak yaptıkları bir deneyden elde edilen sonuçlara dayanarak geliştirilmiştir. Arjantin karıncalarından oluşan bir laboratuvar kolonisine bulundukları yuva ile yiyecek arasında farklı uzunluktaki iki koldan oluşan bir köprü yerleştirilmiştir (Şekil 6.1). Köprünün kolları karıncaların her iki yönde kollardan birini seçebileceği şekilde yerleştirilmiştir [Goss ve ark., 1989].



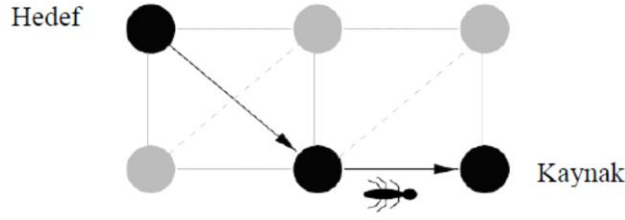
Şekil 6.1. Karınca deneyinde kullanılan köprü

Deneyin sonucunda birkaç dakikalık bir geçiş aşamasından sonra karıncaların tümü en kısa köprü kolunu kullanmaya başlamışlardır. Bunun yanında, koloninin en kısa kolu seçme olasılığının köprünün kolları arasındaki uzunluk farkına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Bu en kısa yol seçme durumunun ortaya çıkması pozitif geri besleme ve farklı yol uzunlukları türünden ifade edilebilir. Ayrıca bu durumun ortaya çıkmasında dolaylı haberleşme formlarının da etkisi bulunmaktadır.

Aslında Arjantin karıncaları yuvalarından yiyeceğe giderken ve tersi yönde hareket ederken geçtikleri yerlere *feromen* (*pheromen*) adı verilen kimyasal bir madde bırakmaktadırlar. Karıncalar köprünün kısa ve uzun kollarının kesiştiği karar verme noktasına geldiklerinde hangi taraftan gideceklerine geçiş yollarına bırakılan feromen maddesini koklayarak olasılıklı bir seçim ile karar vermektedir. Bu durum seçilen bir yolun diğer karıncalar tarafından seçilme olasılığını artıran bir otomatik katalizör görevi görmektedir. Deneyin başlangıcında köprünün kollarının hiçbirinde feromen bulunmamaktadır. Bu nedenle karıncalar hangi taraftan gideceklerinin kararını eşit olasılıkla vermektedirler. Köprü kollarının farklı uzunluklarından dolayı daha kısa yolu seçen karıncalar yiyeceğe en önce varan karıncalar olacaktır. Bu karıncalar yuvaya geri dönerken kesişme noktasına geldiklerinde önceden bıraktıkları feromen izine bağlı olarak daha büyük olasılıkla daha kısa olan yolu seçeceklerdir. Seçilen yola dönüşte yeniden feromen bırakılacak ve bu yol diğer karıncalar için daha fazla tercih edilir hale gelecektir. İşlem ilerlerken kısa olan yolda daha fazla feromen birikecek ve bu yol karıncalar tarafından daha fazla kullanılır hale gelecektir [Dorigo ve ark., 1999].

6.1.1. Temel karınca kolonisi optimizasyonu algoritması

Her bir yapay karıncanın amacı doğal karıncalarda olduğu gibi çözülen problemi ifade eden bir grafta yer alan iki düğüm arasındaki en kısa yolu bulmaktır. $G = (V, E)$ şeklinde ifade edilen, n tane düğüme sahip bağlı bir graf düşünelim. Bu grafta s kaynak düğümü ve d hedef düğümlerini birbirine bağlayan en kısa yol uzaklığın düğüm sayısı ile ifade edilmesi durumunda karınca kolonisi optimizasyonu algoritması kullanılarak bulunabilir.



Şekil 6.2. Karıncaların çözüm üretme şekli

Grafta yer alan her (i,j) arkı τ_{ij} ile gösterilen feromen miktarı ile ilişkilendirilir. Bu feromen miktarları karıncalar tarafından okunur ve yazılır. Feromen miktarının yoğunluğu bu arkı kullanmakla elde edilecek yararın oransal ifadesidir. Her bir karınca problemin çözümünü bulmak için adım adım kurucu bir karar politikası izler. Her bir düğümde, düğümden veya onu izleyen arkıdan elde edilen yerel bilgiye bağlı olarak hareket edilecek düğüm stokastik bir biçimde seçilir.

i düğümünde yer alan k karıncası bulunduğu düğümden sonra hangi $j \in N_i$ düğümüne yönleneceğine karar verirken τ_{ij} feromen miktarını kullanır. N_i , karıncanın bulunduğu i düğümüne bir adım uzaklıkta komşu olan düğümlerin kümesini göstermektedir. Unutulmamalıdır ki arama prosesinin başlangıcında her arkta τ_0 kadar bir başlangıç feromeni bulunmaktadır.

Her k karıncası aşağıdaki özelliklere sahiptir [Dorigo ve Stützle 2001]:

- Karınca $G(V,E)$ grafında geçerli çözümü bulabilmek için yoğunlaşma şeklinde bir arama yapar.
- Karınca algoritma boyunca izlediği yollara ilişkin bilgilerin tutulduğu M_k hafızasına sahiptir. Bu hafıza geçerli çözümler üretmek, bulunan çözümü değerlendirmek ve feromen biriktirmek için gelinen yolun tersi yönde gitmek için kullanılır.
- Karıncaya bir başlangıç durumu ve bir veya birden fazla sonlandırma koşulu atanabilir. Genellikle başlangıç durumu bir düğüm olarak ifade edilir, fakat boş bir dizi de olabilir.

- Genellikle geçerli çözümlere doğru olan hareketler desteklenir. Bu destekleme düzgün tanımlanmış sezgisel değeriyle veya karıncanın hafızasındaki bilgilerle olur.
- Karınca olasılıklı geçiş kuralını kullanarak hareketini gerçekleştirir. Olasılıklı geçiş kuralı şu üç bileşenin fonksiyonudur:
 - yerel olarak bulunan feromen izleri ve sezgisel değer,
 - karıncanın geçmişine ait bilgileri tuttuğu özel hafızası ve
 - problemin kısıtları k karıncasının arama süreci en az bir durdurma koşulu sağlandığında sonlanır.
- Çözüme bir düğüm eklendiğinde karınca feromen miktarını düğümü veya bağlı arkı kullanarak günceller. Buna *çevrimiçi adım adım feromen güncelleme (online step by step pheromen update)* adı verilir.
- Bir çözüm üretildikten sonra karınca geldiği yolun tersi yönde hareket ederek kullanılan düğüm ve arklardaki feromenleri günceller. Buna *çevrimiçi gecikmiş feromen güncelleme (online delayed pheromen update)* adı verilir.

Çözüm kurmanın her adımında, i düğümünde bulunan karınca k Eş. 6.1’de verilen olasılıklı kuralı kullanarak bir sonraki düğümü j seçer.

$$P_{ji}^k = \frac{[\tau_{ji}]^\alpha [\eta_{ji}]^\beta}{\sum_{l \in N_j^k} [\tau_{li}]^\alpha [\eta_{li}]^\beta} \quad i \in N_j^k \quad (6.1)$$

α : feromen değerlerinin görelî etkisi

B : Sezgisel bilginin görelî etkisi

N_i^k : i düğümünde bulunan karınca k için henüz ziyaret etmediği çözümlerin kümesi

Çözüm süreci devam ederken karıncalar feromen miktarlarını üzerlerinden geçtikleri arklar üzerine kaydederler. Bu arklar üzerindeki feromen miktarları temel KKO algoritmasında $\Delta\tau$ kadar sabit olarak artırılır. t anında i düğümünden j düğümüne hareket eden bir karınca (i,j) arkındaki feromen miktarını Eş. 6.2’deki gibi artırır:

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \Delta \tau_{ij}^{iyi} \quad (6.2)$$

$$\Delta \tau_{ij}^{iyi} = 1 / C_{iyi} \quad (6.3)$$

Bu kural sayesinde (i,j) arkını kullanan karınca diğer karıncaların da gelecekte bu arki kullanma olasılıklarını artırmaktadır. Hızlı bir alt-optimal yakınsamadan kaçmak amacıyla bir araştırma mekanizması eklenmiştir. Buna göre, gerçek feromenlerde olduğu gibi bu yapay feromenlerde de buharlaşma olmaktadır. Bu durumda tüm algoritma boyunca araştırmayı desteklemek amacıyla feromen yoğunluğu kendiliğinden azalmaktadır. Her iterasyonda feromen miktarlarının azaltılması üstel ve basit bir biçimde yapılmaktadır (Eş.6.4).

$$\tau = (1 - \rho)\tau \quad \rho \in (0,1] \quad (6.4)$$

Yapılan deneysel çalışmalar KKO algoritmasının etkin bir algoritma olduğunu göstermiştir. Ayrıca yapılan çalışmalar grafta yer alan düğüm sayısı arttıkça algoritmanın durağanlığı azaltmakta olduğunu ve parametrelerin seçilen düzeyleri kritik öneme sahip olduğunu göstermiştir.

6.1.2. MAX-MIN karınca sistemi

MAX-MIN karınca sisteminde (MMKS), feromen değerlerinin güncellenmesinde her iterasyonda bulunan en iyi çözüm ya da arama sırasında bulunan en iyi çözüm kullanılır. Ancak, sadece iyi çözüm kullanarak feromen güncellemesinin yapılması algoritmanın hızlı yakınsamasına dolayısıyla yerel en iyi çözümlere takılmasına sebep olmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla MMKS’de, feromenlerin alacağı değerleri τ_{min}, τ_{max} gibi bir aralık ile sınırlandırılmaktadır. Bir diğer özellik, belirli sayıdaki ardışık iterasyonlarda bulunan en iyi çözüm iyileşmediğinde ya da yerel en iyi çözüme yakınsama olduğunda MMKS’nin feromen değerlerine başlangıç değerleri atanır [Dorigo ve Stützle, 2004].

6.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), sürü halinde hareket eden balıklar ve böceklerden esinlenerek Kenedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir. Temel olarak sürü zekâ-sına dayanan bir algoritmadır. Sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek ve güvenlik gibi durumlarda, çoğu zaman rastgele sergiledikleri hareketlerin, amaçlarına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. PSO bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını esas alır. Arama işlemi genetik algoritmalarda olduğu jenerasyon sayısınca yapılır. Her bireye parçacık denir ve parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü (swarm) denir. Her bir parçacık kendi pozisyonunu, bir önceki tecrübesinden yararlanarak sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlar.

PSO, temel olarak sürüde bulunan bireylerin pozisyonunun, sürünün en iyi pozisyona sahip olan bireyine yaklaştırılmasına dayanır. Bu yaklaşma hızı rastgele gelişen durumdur ve çoğu zaman sürü içinde bulunan bireyler yeni hareketlerinde bir önceki konumdan daha iyi konuma gelirler ve bu süreç hedefe ulaşın-caya kadar devam eder. PSO, Sipariş miktarı belirleme, çizelgeleme problemleri, güç ve voltaj kontrolü, motor parametrelerini belirleme, tedarik seçimi ve sıralama problemleri gibi bir çok optimizasyon problemlerinde başarı ile kullanılmıştır [Özsağlam, 2008].

6.2.1. Temel parçacık sürü optimizasyonu algoritması

PSO'da popülasyonda bulunan parçacıkların kendine ait hızları vardır ve bu hız vektörü diğer parçacıklardan aldığı bilgiyi kullanarak optimum çözüm kümesine doğru sürüyü yönlendirir. Her iterasyonda bu hız önceki en iyi yerel ve en iyi global sonuçlardan da faydalanarak yeniden hesaplanır. Böylelikle popülasyonda bulunan bireyler daha iyi çözümlere doğru yönelirler.

Algoritma temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur;

- i. Rassal üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
- ii. Sürü içerisindeki tüm parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır.
- iii. Her bir parçacık için mevcut jenerasyondan yerel en iyi (pbest) bulunur.
- iv. Mevcut jenerasyondaki yerel en iyiler içerisinde global en iyi (gbest) seçilir.
- v. Pozisyon ve hızlar Eş. 6.5 ve Eş. 6.6'da gösterildiği gibi yenilenir.

$$V_i^{k+1} = V_i^k + c_1 * rand_1^k * (pbest_i^k - x_i^k) + c_2 * rand_2^k * (gbest^k - x_i^k) \quad (6.5)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + V_i^{k+1} \quad (6.6)$$

Burada X_i pozisyon ve V_i hız değerlerini verirken, $rand_1$ ve $rand_2$ değerleri rastgele üretilmiş sayılardır ve c_1 ve c_2 öğrenme faktörleridir.

- vi. Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar ii, iii, iv, v adımları tekrar edilir.

6.2.2. PSO terimleri

PSO algoritmasının basit bir yapısı vardır. Çok fazla parametre içermeyen bu algorithmada parçacık, parçacık pozisyonu, parçacık hızı, sürü büyüklüğü, parçacık aralığı, yerel en iyi, global en iyi, öğrenme faktörleri, sonlandırma kriteri kavramları aşağıda açıklanmıştır.

Parçacık: PSO'da sürüdeki her bir bireye parçacık ismi verilmektedir. Her parçacığa ait sırasıyla X ve V ile gösterilen konum ve hız değerleri mevcuttur.

Parçacık pozisyonu: Her parçacığa D boyutlu çözüm uzayında bulunduğu noktayı belirtir. X sembolü ile gösterilir. Parçacığın numarası ve iterasyon sayısı bilgileri alt ve üst indisler ile gösterilir.

Parçacık hızı: Her parçacığa D boyutlu çözüm uzayında bulunduğu iterasyondaki hızını belirtir. V sembolü ile gösterilir. Parçacık numarası ve iterasyon sayısı bilgileri alt ve üst indisler ile gösterir. Bir sonraki iterasyona ait hız ve konum güncellemede kullanılır.

Sürü büyüklüğü: PSO algoritmasında kullanılan parçacık sayısına sürü büyüklüğü denmektedir ve bu değer fazla olduğunda iterasyon sayısı bakımından daha hızlı bir aramanın olmasını sağlar. Ancak iterasyon sayısı tek başına bağlayıcı bir kistas değildir. Fonksiyonun en iyilenmesi için geçen toplam süre ise gerçek hayat problemlerinde önem arz etmektedir.

Parçacık aralığı: Optimize edilecek probleme göre değişmekle birlikte farklı boyutlarda ve aralıklarda parçacıklar tanımlanabilir.

V_{max} : Bir iterasyonda, bir parçacıkta meydana gelecek maksimum değişikliği (hız) belirler. Genellikle parçacık aralığına göre belirlenir.

Yerel en iyi değer (parçacığa ait en iyi değer): PSO algoritmasında her parçacığın hafızası bulunmaktadır. Her parçacık geçmiş iterasyonlarda elde ettiği en iyi değeri hafızasında saklar. Bu değer genellikle p_{eni} yada p_{best} olarak gösterilir.

Global en iyi değer: PSO algoritmasında sürüye ait de bir hafıza bulunur ve geçmiş iterasyonlarda tüm parçacıklar içinde en iyi değere sahip olan değer global en iyi değer olarak tutulur. Global en iyi değer genellikle g_{eni} yada g_{best} olarak gösterilir.

Öğrenme faktörleri: c_1 ve c_2 genellikle 2 olarak seçilir. Fakat farklı da seçilebilir. Genellikle c_1 , c_2 ye eşit ve $[0, 4]$ aralığında seçilir.

Durma koşulu: Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında veya değer fonksiyonu istenilen seviyeye ulaştığında algoritma durdurulabilir.

7. TZA_MHD İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA

TZA_MHD çözümü için geliştirilen matematiksel programlama modelinin problemin NP-zor yapısı ve problem boyutlarının arttığı durumlarda yeterli sonuç veremeyeceği düşünülerek problem için eş zamanlı olarak çalışan iki farklı sürü zekâsı yaklaşımı geliştirilmiştir. TZA optimizasyonu için PSO algoritması kullanılmıştır. MHD problemi için ise KKO algoritması kullanılmıştır.

PSO çok sayıda optimizasyon problemi için uygulanması kolay ve başarılı sonuçlar sağlayan bir algoritmadır. Ancak literatüre bakıldığında kesikli kombinatoriyal optimizasyon problemleri için PSO algoritması kullanılarak yapılmış çalışmaların oldukça az sayıda çalışma olduğu görülmektedir [Kadadevaramath ve ark., 2012; Venkatesan ve Kumanan, 2012]. Ayrıca PSO algoritması çok aşamalı ve çok amaçlı TZA problemleri için daha önce çalışılmamıştır. Dolayısıyla TZA problemi çözümü için PSO algoritması önerilmiştir.

KKO, karıncaların bir düğümden diğerine yiyecek bulmak için yaptıkları seyahatten esinlenen popülasyon tabanlı bir yaklaşımdır. MHD probleminde iş istasyonuna eklenecek görevlerin seçilmesi prosedürü karıncaların yaptıkları bu seyahate oldukça benzemektedir. Ayrıca KKO algoritmasında bir probleme çözüm aranırken olurlu çözümler kümesi üzerinden yapılan aramanın yanı sıra yerel bir sezgisel fonksiyonun kullanılması algoritmanın etkinliğini daha da artırmaktadır. KKO algoritması çizelgeleme, gezgin satıcı problemi, karesel atama problemi, ağ tasarımı, gibi çeşitli kombinatoriyal optimizasyon problemlerine başarı ile uygulandığı bilinmektedir. Literatürde KKO algoritmasının montaj hattı dengeleme problemlerinde iyi çözümler sağladığı görülmüştür [McMullen ve Tarasewich, 2003; Bautista ve Pereira, 2007; Simaria ve Vilarinho, 2009; Baykasoğlu ve Dereli, 2009]. Tüm bu faktörler ışığında MHD problemi için KKO algoritması kullanılmasına karar verilmiştir.

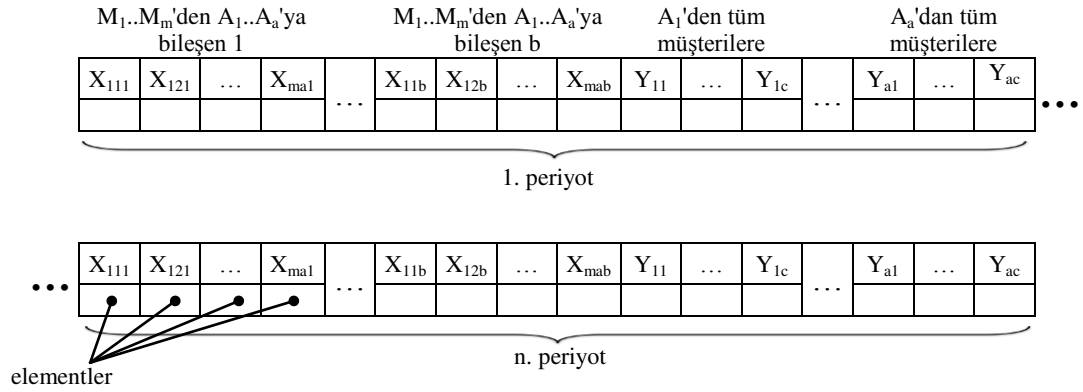
Takip eden alt bölümlerde TZA_MHD problemi için önerilen sezgisel yaklaşımın ayrıntıları (çözüm gösterimi, operatörler vb.) ve algoritmanın adımlarından bahsedilecektir.

7.1. Önerilen PSO Algoritması

Bu bölümde tedarik zinciri ağ tasarım probleminin çözümü için PSO tabanlı olarak geliştirilen algoritma (tza_PSO), çözüm gösterimi, başlangıç çözümlerinin oluşturulması, pozisyonların güncellenmesi ve kullanılan operatörlere ilişkin bilgiler verilecektir.

7.1.1. Çözüm Gösterimi

Çok aşamalı TZA yapısı için önerilen tza_PSO algoritmasında bir çözüm bir parçacık tarafından temsil edilmektedir. X_{mab} ve Y_{ac} karar değişkenleri Şekil 7.1’de gösterildiği gibi bir çözüm kümesini temsil eden parçacığı oluştururlar. Çözüm gösterimi periyot periyot düşünülmüştür. Aktörler arasında (imalatçı-montajcı ve montajcı-müşteri) talep ve kapasiteler arasında farklılık varsa kukla talep noktaları oluşturulmuştur. Böylelikle parçacık güncellemelerinde kısıtların dışına çıkılması engellenmiştir.



Şekil 7.1. tza_PSO algoritmasında parçacık gösterimi

İki imalat tesisi, iki montaj tesisi, üç müşteriden oluşan ve bir periyot olarak tasarlanan TZA için bir çözümü temsil eden parçacık şekil 7.2’de gösterilmiştir. İmalat ve montaj tesislerinin kapasiteleri talepten fazla olduğu için kukla (d) talep noktaları oluşturulmuştur.

M ₁ -M ₂ 'den A ₁ -A ₂ -A _{kukla} 'ya bileşen 1						M ₁ -M ₂ 'den A ₁ -A ₂ -A _{kukla} 'ya bileşen 2						A ₁ 'den tüm müşterilere			A ₂ 'den tüm müşterilere				
X ₁₁₁	X ₁₂₁	X _{1d1}	X ₂₁₁	X ₂₂₁	X _{2d1}	X ₁₁₁	X ₁₂₁	X _{1d1}	X ₂₁₁	X ₂₂₁	X _{2d1}	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y _{1d}	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y _{2d}
250	0	0	50	250	100	100	50	100	200	200	0	75	75	50	100	75	125	50	0

1. Periyot

Şekil 7.2. Örnek problem için bir çözümü temsil eden parçacık gösterimi

7.1.2. Başlangıç Çözümünün Oluşturulması

Sürüde bulunan parçacıklar için başlangıç çözümleri rassal olarak üretilmiştir. Parçacık üzerinde rassal olarak seçilen elementlere, dağınık çözümler üretmek için uygun miktarlarda atama yapılır. Önerilen tza_PSO algoritmasında kullanılan prosedür şekil 7.3'de verilmiştir.

procedure başlangıç çözümü oluştur

var (algoritmada kullanılan *i, j* döngü indisleridir)

begin

for b=1 to B *do* (tüm bileşenler)

begin

$S_1 := \{1, 2, \dots, m \cdot a\}; S_2 := \{1, 2, \dots, a \cdot c\}$

repeat

$re_1 := S_1$ içinde rassal element

$i := \lfloor (re_1 - 1) / a \rfloor + 1$

$j := ((re_1 - 1) \bmod a) + 1$

$x_{ijb} := \min(a_i, b_j)$

$a_i := a_i - x_{ijb}$

$b_i := b_i - x_{ijb}$

$S_1 := S_1 / \{re_1\}$

until $S_1 = \emptyset$ *end;*

repeat

$re_2 := S_2$ kümesi rassal element

$i := \lfloor (re_2 - 1) / c \rfloor + 1$

$j := ((re_2 - 1) \bmod c) + 1$

$y_{ij} := \min(b_i, u_j)$

$b_i := b_i - y_{ij}$

$u_i := u_i - y_{ij}$

$S_2 := S_2 / \{re_2\}$

until $S_2 = \emptyset$ *end*

Şekil 7.3. Başlangıç çözümünün elde edilmesi için prosedür

7.1.3. Pozisyonların Güncellenmesi

PSO algoritmasının önceki bölümlerde anlatılan klasik güncelleme kuralı TZA probleminin kısıtlarını sağlamadığı için bu eksikliği gidermek maksadıyla Huang ve Hao (2009) yaptıkları çalışmadan da yararlanılarak güncelleme kuralı oluşturuldu. Bu kurala göre d parçacığı için pozisyon X^d şu şekilde güncellenir:

$$V_{t+1}^d = \begin{cases} \varphi_1(P_t^d - X_t^d) + \varphi_2(G_t^d - X_t^d), & t = 0 \\ \lambda_1 V_t^d + \lambda_2[\varphi_1(P_t^d - X_t^d) + \varphi_2(G_t^d - X_t^d)], & t > 0 \end{cases} \quad (7.1)$$

$$X_{t+1}^d = V_{t+1}^d + X_t^d \quad (7.2)$$

P_t^d d parçacığının t. iterasyonda önceki en iyi pozisyonunu, G_t^d ise t. iterasyon anında sürü içerisindeki en iyi pozisyonu temsil etmektedir. $P_t^d \neq X_t^d$ ve $G_t^d \neq X_t^d$ olduğunda (1.durum) φ_1 ve φ_2 uniform dağılımdan (0,1) aralığında elde edilen rassal sayılardır. Aynı zamanda $\varphi_1 + \varphi_2 = 1$ eşitliğini sağlamaktadırlar. λ_1 uniform dağılımdan [0.8,1) aralığında elde edilen rassal sayı iken $\lambda_2 = 1 - \lambda_1$ eşitliği karşılanmaktadır.

TZA probleminde kapasite ve talep kısıtlarının aşılmaması istenen bir durumdur. Bu durumu sağlamak için φ_1 , φ_2 , λ_1 , λ_2 değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenmektedir.

1.durum	$P_t^d \neq X_t^d$ ve $G_t^d \neq X_t^d$ ise	$\varphi_1 = (0,1)$ $\lambda_1 = [0.8,1)$	$\varphi_2 = 1 - \varphi_1$ $\lambda_2 = 1 - \lambda_1$
2.durum	$P_t^d \neq X_t^d$ ve $G_t^d = X_t^d$ ise	$\varphi_1 = 1$ $\lambda_1 = [0.8,1)$	$\varphi_2 = 0$ $\lambda_2 = 1 - \lambda_1$
3.durum	$P_t^d = X_t^d$ ve $G_t^d \neq X_t^d$ ise	$\varphi_1 = 0$ $\lambda_1 = [0.8,1)$	$\varphi_2 = 1$ $\lambda_2 = 1 - \lambda_1$
4.durum	$P_t^d = X_t^d$ ve $G_t^d = X_t^d$ ise	$\varphi_1 = (0,1)$ $\lambda_1 = 1$	$\varphi_2 = 1 - \varphi_1$ $\lambda_2 = 0$

7.1.4. Negatif Düzeltme Operatörü

Parçacık pozisyon güncellemesinin ardından negatif değer alan elementler için negatif düzeltme operatörü kullanılmıştır. $x_{mab} < 0$ veya $y_{ac} < 0$ olduğunda ilgili elementin değeri 0'a eşitlenir ve bu güncellemeden etkilenen diğer elementler yenilenir.

Önerilen tza_PSO algoritmasında kullanılan prosedür şekil 7.4'de verilmiştir.

```

procedure negatif düzeltme çalıştır
  var ( algoritmada kullanılan i, j, l döngü indisleridir)
  begin
     $(x_{ijb}) < 0$ 
     $S_1 = \{x_{1jb}, x_{2jb}, \dots, x_{mjb}\}$ 
     $S_2 = \{x_{i1b}, x_{i2b}, \dots, x_{iab}\}$ 
     $S_1$  kümesi içinden en büyük elementi seç ( $x_{ljb}$ )
     $x_0 = x_{ijb}$ 
     $x_{ljb} = x_{ljb} - |x_0|$ 
     $x_{ijb} = 0$ 
     $S_1$  ve  $S_2$  kümesinin elemanlarını güncelle
  end begin

     $(y_{ij}) < 0$ 
     $S_1 = \{y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{aj}\}$ 
     $S_2 = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ic}\}$ 
     $S_1$  kümesi içinden en büyük elementi seç ( $y_{lj}$ )
     $y_0 = y_{ij}$ 
     $y_{lj} = y_{lj} - |y_0|$ 
     $y_{ij} = 0$ 
     $S_1$  ve  $S_2$  kümesinin elemanlarını güncelle
  end

```

Şekil 7.4. Negatif düzeltme operatörü prosedürü

7.1.5. Mutasyon Operatörü

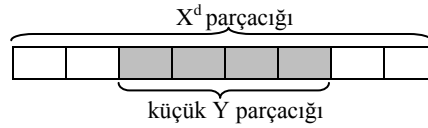
Genetik algoritma için oldukça popüler olan mutasyon operatörü önerilen PSO algoritmasında da kullanılmıştır. Mutasyon operatörü mevcut parçacığın bir kısmını rassal olarak değiştirerek çözüm uzayında yeni noktalara ulaşmayı ve aramayı çeşitlendirmeyi amaçlamaktadır.

Önerilen tza_PSO algoritmasında kullanılan prosedür şekil 7.5’de verilmiştir.

procedure Mutasyon

begin

X^d parçacığı içinden rassal olarak bir küçük Y parçacığı seç



Seçilen Y parçacığına atanan değerleri sıfırla

Kapasite ve talep miktarlarını güncelle

Y parçacığı için başlangıç çözümü prosedürünü çalıştır

X^d parçacığını güncelle

end

Şekil 7.5. Mutasyon operatörü prosedürü

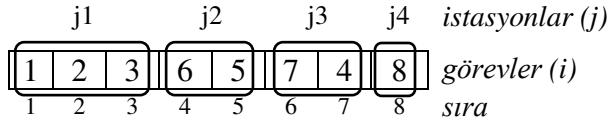
7.2. Önerilen KKO Algoritması

Bu bölümde basit montaj hattı dengeleme problemi(BMHDP) çözümü için Max-Min karınca sistemi (MMKS) tabanlı olarak önerilen algoritma (mhd_MMKS), çözümün gösterimi ve kurulması, sezgisel bilginin kullanılması, feromen değerlerinin belirlenmesine ilişkin bilgiler verilecektir.

BMHDP için performans ölçütü olarak belirlenen çevrim zamanı içerisinde iş istasyonu sayısının en azlanması alınmıştır.

7.2.1. Çözümün gösterimi ve kurulması

Çözümlerin gösteriminde permütasyon kodlama kullanılmıştır. Sekiz görev, dört istasyondan oluşan örnek çözüm gösterimi şekil 7.6 ‘da verilmiştir.



Şekil 7.6. mhd_MMKS algoritması için örnek çözüm gösterimi

BMHDP için KKO algoritmalarından MMKS algoritması kullanılmıştır. Bir çözümün oluşumunda karıncalar bir sonraki sıraya atanacak olan görevi stokastik bir mekanizmayla seçmektedir. Karınca k 'nın, j . iş istasyonuna i . görevi yerleştirme olasılığı (P_{ji}^k) eşitlik x.x. 'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$P_{ji}^k = \frac{[\tau_{ji}]^\alpha [\eta_{ji}]^\beta}{\sum_{l \in N_j^k} [\tau_{li}]^\alpha [\eta_{li}]^\beta} \quad i \in N_j^k \quad (7.3)$$

Eş. 7.3'de τ_{ji} j . iş istasyonuna i . görevi koyan karıncaların bıraktıkları feromen düzeyini, η_{ji} ise j . iş istasyonuna i görevi atanması için sezgisel bilginin değerini temsil etmektedir. α feromen değerinin göreceli etkisini, β ise sezgisel bilginin göreceli etkisini temsil etmektedir. N_j^k j düğümünde bulunan k karıncası için henüz ziyaret etmediği düğümlerin kümesini ifade etmektedir.

Önerilen algoritmada öncelikle bütün görevlerin yerleştirme olasılığı (P_{ji}^k) Eş. 7.3'e göre hesaplanır. En yüksek olasılık değerine sahip görev mevcut istasyona atanır. Ataması yapılmayan görev kalmayacak şekilde görevler istasyonlara yerleştirilir. Görevler olasılıklı kurala göre iş istasyonlarına atanırken istasyon zamanının çevrim zamanını aşmaması sağlanır. Eğer iş istasyonunun istasyon zamanı çevrim zamanını aşacak ise yeni iş istasyonu açılır.

7.2.2. Sezgisel bilginin kullanılması

Geliştirilen mhd_MMKS algoritmasında sezgisel bilgi olarak Helgeson ve Birnie (1961) tarafından önerilen pozisyon ağırlığı yöntemi kullanılmıştır. Her bir görev için o görevin kendi süresi ile o görevin ardılı olan görevlerin süreleri toplamına eşit olan pozisyon ağırlıkları hesap edilir. Pozisyon ağırlıklarının hesaplanmasına ilişkin prosedür şekil 7.7’deki gibidir.

Hesap edilen pozisyon ağırlıkları (poz_ag) olasılık kuralında kullanılmadan önce çevrim zamanı kısıdını göz önüne alan bir katsayı (d) ile güncellenir. Sezgisel bilgini kullanılmasına ilişkin izlenen yol şekil 7.8’deki gibidir.

```

procedure pozisyon ağırlığı hesapla (poz_ag[ i ])
begin
    for i=1 to N do (tüm görevler)
        begin poz_ag[ i ]=sure[ i ]
            for ii=1 to N do
                if oncelik[ ii, i ] = 1 then // bu görevin öncülü ise
                    poz_ag[ i ]= poz_ag[ i ]+sure[ i ]
            end
        end
    end

```

Şekil 7.7. Pozisyon ağırlığı prosedürü

```

procedure sezgisel bilgi hesapla ( $\eta_{ji}$ )
begin
    if süre[ i ] < i istasyonu için kalan çevrim zamanı then d=1
    if süre[ i ] = i istasyonu için kalan çevrim zamanı then d=2
    if süre[ i ] > i istasyonu için kalan çevrim zamanı then d=0.5
     $\eta_{ij} = \text{poz\_ag}[ i ] * d$ 
end

```

Şekil 7.8. Sezgisel bilginin hesap edilmesine ilişkin prosedür

7.2.3. Feromen değerlerinin güncellenmesi

Başlangıçta tüm feromen değerlerine (τ_{ji}^0) başlangıç feromen değeri atanmıştır. Kolonideki tüm karıncalar bir çözüm turunu tamamladıktan sonra tüm feromen değerleri Eş. 7.4 kullanılarak buharlaştırılır.

$$\tau_{ji} = (1 - \rho) * \tau_{ji} \quad (7.4)$$

Bu eşitlikte ρ feromen buharlaştırma oranıdır ($0 \leq \rho \leq 1$). Bu çalışmada 0,1 olarak alınmıştır.

Ardından, her bir feromen değeri ilgili iterasyona kadar bulunan en iyi çözümün (global en iyi) oluşturulmasında kullanılan istasyon-görev çiftinin feromen değerleri ise Eş. 7.5 ve Eş. 7.6'e göre artırılır.

$$\tau_{ji} = \tau_{ji} + \Delta\tau_{ji}^{iyi} \quad (7.5)$$

$$\Delta\tau_{ji}^{iyi} = \rho * \left(100 * \frac{c_j}{CT} \right) \quad (7.6)$$

Eş. 7.6'da CT çevrim zamanını, c_j ise j . istasyonun istasyon zamanını ifade etmektedir. Önerilen bu eşitlikle iyi çözümü oluşturan görev-istasyon çiftleri için istasyon boş zamanı (varsa) dikkate alınmıştır. Böylelikle feromen miktarları çözüm kalitesine göre her görev-istasyon çifti ($i-j$) için farklı miktarlarda artırılmıştır.

7.2.4. Feromen değerlerinin alt ve üst sınırları (max-min)

Önerilen mhd_MMKS algoritmasında çözüm uzayındaki aramanın çeşitlendirilmesi ve zamansız yakınsamanın önlenmesi amacıyla feromen değerleri alt (τ_{min}) ve üst (τ_{max}) sınırlar aracılığıyla kısıtlanır.

τ_{max} ve τ_{min} değerleri aşağıda verilen Eş. 7.6 ve Eş. 7.8 'e göre hesaplanmaktadır.

$$\tau_{max} = (1 + \rho) * \tau_{ji}^0 \quad (7.7)$$

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}}{(1-\rho)} \quad (7.8)$$

Bu eşitliklerde kullanılan ρ buharlaşma katsayısı, τ_{ji}^0 ise başlangıç feromen değerleridir.

Belirli bir sayıda iterasyondan sonra algoritmanın zamansız yakınsaması söz konusu olabilmektedir. Önerilen algortmada τ_{min} alt ve τ_{max} üst sınırlarına ulaşan feromen değerleri yeniden başlangıç değerlerine döndürülerek çözüm uzayının farklı bölgelerinde aramanın gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

7.2.5. Durdurma koşulu

Önerilen mhd_MMKS algoritmasında durdurma koşulu olarak iki yöntem belirlenmiştir. Birincisi, belirli sayıda ardışık iterasyonda (ite_num) çözümde iyileşme olmuyorsa algoritma sonlandırılmaktadır. İkincisi olarak ise bulunabilecek minimum istasyon sayısına ulaşıldığında algoritma sonlandırılmaktadır.

7.3. tza_PSO ve mhd_MMKS algoritmalarının birleştirilmesi

Önceki bölümlerde TZA_MHD problemi için eş zamanlı olarak çalışan iki farklı sürü zekası tekniği kullanıldığından bahsetmiştik. Paksoy ve ark. (2012) tarafından incelenen ve matematiksel modeli sunulan problem tedarik zinciri ağ tasarım probleminin içerisine montaj hattı dengeleme probleminin yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. İki problemin birleşim noktası olarak çevrim zamanı belirlenmiştir. Toplam çalışma zamanı bilinen sistemde TZA probleminin çıktısı kullanılarak her bir montaj tesisi için çevrim zamanı belirlenmektedir. Ardından belirlenen bu çevrim zamanına göre montaj hattındaki toplam istasyon sayısı en azlanmaktadır.

PSO ile ağ tasarım problemi için çözüm uzayında arama yapılırken her bir parçacığın her iterasyonda bulduğu montaj edilmesi gereken ürün sayısı değişebilmektedir. Dolayısıyla montaj hattı için belirlenen çevrim zamanı değişmekte ve mhd_MMKS algoritması çalıştırılarak yeniden hattın dengelenmesi gerekmektedir. Her iterasyonda her bir parçacık için mhd_MMKS algoritmasının çalıştırılması sistemin yavaşlamasına ve gereksiz işlem sayısının artmasına sebep olacaktır. Bunun önüne geçmek için önerilen yaklaşımda uzun dönemli hafıza kullanılmıştır. mhd_MMKS algoritması ile bulunan çözümler çevrim zamanlarına göre bir hafıza da tutulmaktadır.

PSO algoritması ile TZA problemi için çözüm kurulmasının ardından montaj istasyonlarında montaj edilmesi gereken ürün sayılarına göre çevrim zamanı hesaplanmaktadır (adım P5 ve P13). Eğer hesaplanan çevrim zamanı için mhd_MMKS algoritması daha önce çalıştırılmış ise doğrudan listeden MHD probleminin çözümü alınmaktadır. Aksi halde mhd_MMKS algoritması çalıştırılmaktadır (adım P6 ve P14).

7.4. TZA_MHD için önerilen PSO_MMKS algoritmasının adımları

begin

tza-PSO algoritması

P1 Başlangıç değerlerini ayarla

$(m, a, c, b, p, a_{mbp}, b_{ap}, u_{cp}, D_{ac}, D_{ma}, C_{acp}, C_{map}, d, mo, W_{süre})$

P2 $V_0^d = 0$ (d=1,2,...,D)

Repeat

// her parçacık için

P3 $d=d+1$

P4 *procedure* başlangıç çözümü oluştur

until d=D

P5 Çevrim zamanı hesapla $\left(CT_{ap} = \frac{W_{time}}{\sum C_{Y_{acp}}} \right)$

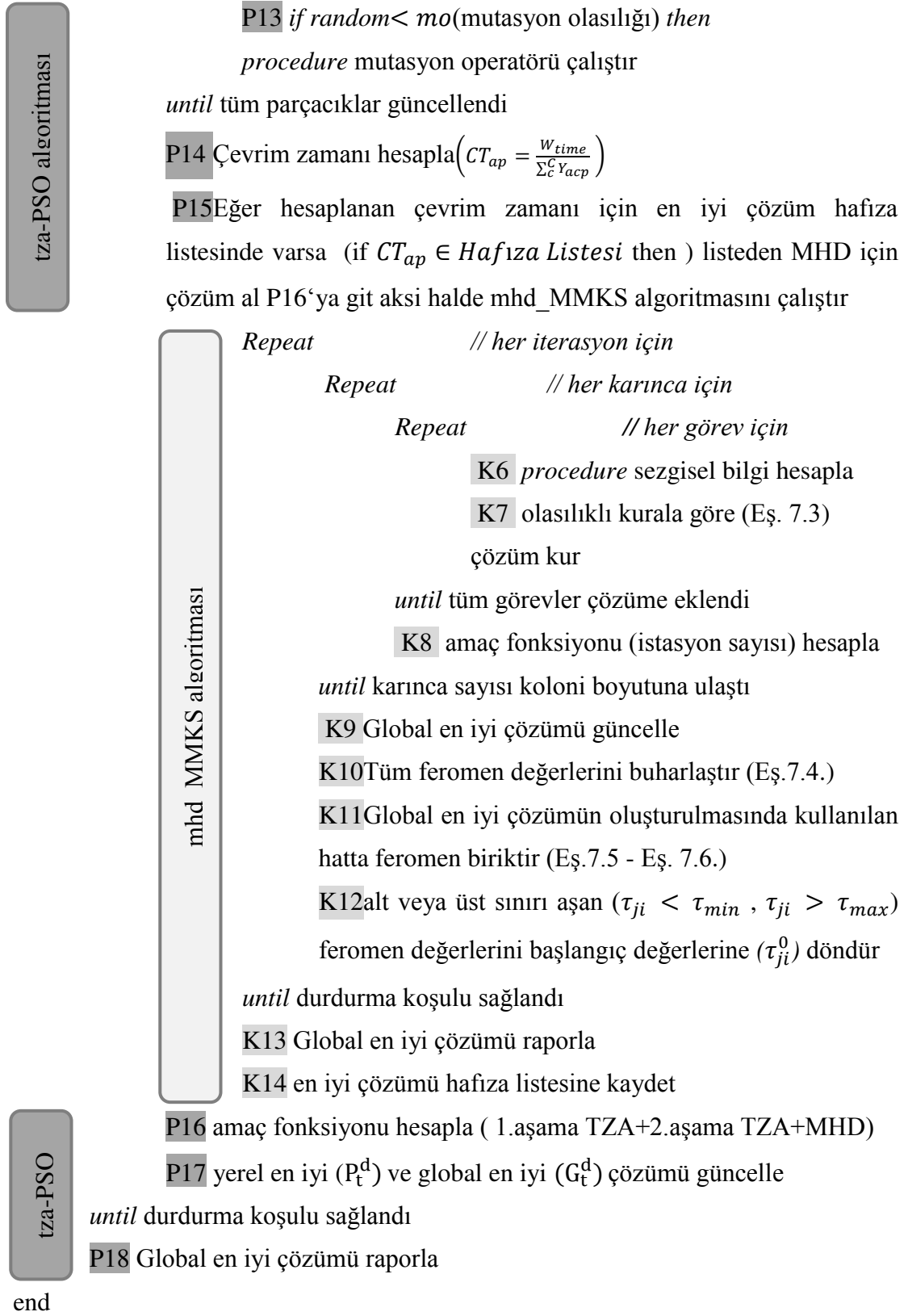
P6 Eğer hesaplanan çevrim zamanı için en iyi çözüm hafıza listesinde varsa
(if $CT_{ap} \in \text{Hafıza Listesi}$ then) listeden MHD için çözüm al adım P7'ye git
aksi halde mhd_MMKS algoritmasını çalıştır

mhd MMKS algoritması

K1 Başlangıç değerlerini ayarla ($\alpha, \beta, \rho, W_{sure}, N, k$)
K2 Öncelik ilişkileri ($oncelik[i,ii]$), görev süreleri ($sure[i]$) al
K3 *procedure* pozisyon ağırlığı hesapla ($poz_ag[i]$)
K4 τ_{ji}^0 başlangıç feromen değerlerini ata
K5 τ_{max} (Eş.7.7) ve τ_{min} (Eş. 7.8) hesapla
Repeat // her iterasyon için
 Repeat // her karınca için
 Repeat // her görev için
 K6 *procedure* sezgisel bilgi hesapla (η_{ji})
 K7 olasılıklı kurala göre (Eş. 7.3) çözüm kur
 until tüm görevler çözüme eklendi
 K8 amaç fonksiyonu (istasyon sayısı) hesapla
 until karınca sayısı koloni boyutuna ulaştı
K9 Global en iyi çözümü güncelle
K10 Tüm feromen değerlerini buharlaştır (Eş.7.4.)
K11 Global en iyi çözümün oluşturulmasında kullanılan hatta feromen biriktir (Eş.7.5 - Eş. 7.6.)
K12 alt veya üst sınırı aşan ($\tau_{ji} < \tau_{min}$, $\tau_{ji} > \tau_{max}$) feromen değerlerini başlangıç değerlerine (τ_{ji}^0) döndür
 until durdurma koşulu sağlandı
K13 Global en iyi çözümü raporla
K14 en iyi çözümü hafıza listesine kaydet

tza-PSO algoritması

P7 amaç fonksiyonu hesapla (1.aşama TZA+2.aşama TZA+MHD)
P8 yerel en iyi (P_0^d) ve global en iyi (G_0^d) çözümü ata
Repeat // her iterasyon için
 P9 $t=t+1$
 Repeat // her parçacık için
 P10 V_{t+1}^d değişim miktarı hesapla (Eş. 7.1)
 P11 X_{t+1}^d hesapla (Eş. 7.2)
 P12 *if* (x_{ijb}) < 0 *or* (y_{ij}) < 0 *then*
 procedure negatif düzeltme operatörü çalıştır



Şekil 7.9. PSO_MMKS algoritması

8. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada TZA_MHD problemin çözümü için eş zamanlı çalışan PSO ve KKO algoritmaları kullanılmıştır. Bu bölümde önerilen sezgisel yaklaşımın etkinliğinin belirlenmesi için deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada algoritmalarda kullanılan parametreler belirlenmiş ve algoritmanın performansı test problemleri ile sınanmıştır. TZA_MHD problemi için literatürde test problemi bulunmadığından dolayı test problemleri tarafımızdan önerilmiştir.

Deneysel çalışmada, her test problemi geliştirilen algoritma ile 10 kez çözülerek elde edilen çözüm değerleri ve hesaplama zamanları tutulmuştur.

Deneysel çalışmalar Win7 işletim sistemi ile çalışan, 3 GB RAM 'e sahip, AMD 2.00 GHz bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar Delphi 7 programlama dilinde kodlanmıştır. Sonuçlar, hem amaç fonksiyonu değeri hem de çözüm zamanına (CPU zamanı) açısından test problemleri ile karşılaştırılmıştır.

8.1. Test Problemlerinin Oluşturulması

Tedarik zinciri ağ tasarım problemi ve montaj hattı dengeleme probleminin entegrasyonu yeni bir yapıdır. Literatürde bu problem için önerilmiş sezgisel bir yaklaşım bulunmamaktadır. Dolayısıyla önerilen algoritmanın etkinliğinin belirlenebilmesi gerekli olan test problemleri tarafımızdan önerilmiştir.

Üretilen test probleminde gerçek hayat uygulamaları dikkate alınarak imalat ve montaj tesislerinin kapasitelerinin müşteri taleplerinden daha fazla olmasına dikkat edilmiştir. Tesis, müşteri, bileşen ve görev sayılarının farklı kombinasyonları kullanılarak test problemleri üretilmiştir. Parametre değerleri belirlenen aralıklarda uniform dağılımdan elde edilmiştir.

Test problemlerinin üretilmesi için gerekli olan parametreler ve aralıklar Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Test problemi için parametreler ve rassal aralıklar

Parametre	Değer
a_{mbp} İmalat tesislerinin kapasitesi (adet)	4 000 – 7 500
b_{ap} Montaj tesislerinin kapasitesi (adet)	2 400 – 4 800
u_{cp} Müşterilerin talebi (adet)	1 040 – 1 590
D_{ma} İmalat ve montaj tesislerin arasındaki mesafe (km.)	290 – 350
D_{ac} Montaj tesisleri ve müşteriler arasındaki mesafe (km.)	370 – 430
C_{map} İmalat ve montaj tesislerin arasındaki birim taşıma maliyeti (pb.)	0,16 – 0,24
C_{acp} Montaj tesisleri ve müşteriler arasındaki birim taşıma maliyeti (pb.)	0,12 – 0,17
t_i Görev süresi (dk.)	2 – 6
O İstasyon açma sabit maliyeti (pb.)	100
$W_{süre}$ Sistemin çalışma süresi (dk.)	28 800

8.2. Parametre Değerlerinin Belirlenmesi

8.2.1. KKO algoritması için parametre değerlerinin belirlenmesi

MHD probleminin çözümünde kullanılan KKO algoritması için kullanılacak parametreler ve bu parametrelerin düzeyleri Çizelge 8.2’ de verilmiştir.

Çizelge 8.2. KKO algoritmasında kullanılan parametreler ve düzeyleri

parametre	düzey			
	1	2	3	4
$\alpha : \beta$	1 : 1	2 : 1	5 : 1	10 : 1
koloni boyutu (K)	2	5	10	
toplam iterasyon sayısı	5	10	20	50

Feromen değerinin göreceli etkisi (α) ve sezgisel bilginin göreceli etkisi (β) için 1'e 1, 2'ye 1, 5'e 1 ve 10'a 1 olmak üzere 4 farklı düzey belirlenmiştir. Toplam karınca sayısı olarak 2, 5, 10 seçilmiştir. Toplam iterasyon sayısı da 4 düzeyde incelenmiştir.

 problem boyutu için her bir kombinasyon 10'ar kez çalıştırılmış olup toplam 1440 (4x3x4x10x3) deneme yapılmıştır. Deneysel sonuçlar izelge 8.3, izelge 8.4 ve izelge 8.5'de sunulmuştur. Bu çizelgelerde parametre kombinasyonu için 10 kez çalıştırılan algoritmanın bulduğu optimal ve optimal olmayan çözüm sayıları ile CPU zamanları verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ANOVA ve Duncan istatistiksel analizleri SPSS paket programı ile yapılarak parametre düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı incelenmiştir.

ANOVA sonuçlarına göre yalnızca toplam iterasyon sayısının anlamlı etkiye sahip olmadığı, diğer parametrelerin anlamlı etkiye sahip oldukları görülmektedir. Parametrelerin zm üzerindeki etkilerinin hangi düzeylerde anlamlı farklılıklara sahip olduğu ise izelge 8.6 – izelge 8.8'de verilmiştir.

Çizelge 8.3. Parametre değerlerinin belirlenmesi için yapılan deney sonuçları
(görev sayısı=8, çevrim sresi=11, istasyon sayısı=3)

$\alpha : \beta$	koloni boyutu	iterasyon sayısı	optimal çözüm sayısı	optimal olmayan çözüm sayısı	CPU zamanı (ort)
1 : 1	2	5	2	8	<0,01
		10	2	8	<0,01
		20	3	7	<0,01
		50	2	8	0,04
	5	5	4	6	<0,01
		10	7	3	<0,01
		20	9	1	0,03
		50	10	0	0,09
	10	5	10	0	<0,01
		10	10	0	0,03
		20	10	0	0,06
		50	10	0	0,14

Çizelge 8.3. (Devam) Parametre değerlerinin belirlenmesi için yapılan ön deney sonuçları (görev sayısı=8, çevrim süresi=11, istasyon sayısı=3)

$\alpha : \beta$	koloni boyutu	iterasyon sayısı	optimal çözüm sayısı	optimal olmayan çözüm sayısı	CPU zamanı (ort)
2 : 1	2	5	7	3	<0,01
		10	6	4	<0,01
		20	8	2	<0,01
		50	9	1	0,04
	5	5	9	1	<0,01
		10	9	1	<0,01
		20	9	1	0,03
		50	9	1	0,09
	10	5	10	0	<0,01
		10	10	0	0,03
		20	10	0	0,06
		50	10	0	0,14
5 : 1	2	5	7	3	<0,01
		10	7	3	<0,01
		20	8	2	<0,01
		50	7	3	0,04
	5	5	8	2	<0,01
		10	9	1	<0,01
		20	9	1	0,03
		50	10	0	0,09
	10	5	10	0	<0,01
		10	10	0	0,03
		20	10	0	0,06
		50	10	0	0,14
10 : 1	2	5	8	2	<0,01
		10	8	2	<0,01
		20	8	2	<0,01
		50	8	2	0,04
	5	5	9	1	<0,01
		10	10	0	<0,01
		20	10	0	0,03
		50	10	0	0,09
	10	5	10	0	<0,01
		10	10	0	0,03
		20	10	0	0,06
		50	10	0	0,14

Çizelge 8.4. Parametre değerlerinin belirlenmesi için yapılan ön deney sonuçları (görev sayısı=16, çevrim süresi=17, istasyon sayısı=9)

$\alpha : \beta$	koloni boyutu	iterasyon sayısı	optimal çözüm sayısı	optimal olmayan çözüm sayısı	CPU zamanı (ort)
1 : 1	2	5	3	7	0,02
		10	5	5	0,03
		20	3	7	0,06
		50	5	5	0,14
	5	5	8	2	0,03
		10	5	5	0,06
		20	6	4	0,10
		50	8	2	0,20
	10	5	9	1	0,04
		10	10	0	0,10
		20	10	0	0,15
		50	10	0	0,30
2 : 1	2	5	4	6	0,02
		10	4	6	0,03
		20	4	6	0,06
		50	3	7	0,14
	5	5	5	5	0,03
		10	8	2	0,06
		20	7	3	0,10
		50	10	0	0,20
	10	5	10	0	0,04
		10	10	0	0,10
		20	10	0	0,15
		50	10	0	0,30
5 : 1	2	5	4	6	0,02
		10	4	6	0,03
		20	6	4	0,06
		50	5	5	0,14
	5	5	7	3	0,03
		10	9	1	0,06
		20	9	1	0,10
		50	8	2	0,20
	10	5	9	1	0,04
		10	10	0	0,10
		20	10	0	0,15
		50	10	0	0,30
10 : 1	2	5	6	4	0,02
		10	6	4	0,03
		20	6	4	0,06
		50	6	4	0,14
	5	5	8	2	0,03
		10	8	2	0,06
		20	9	1	0,10
		50	9	1	0,20
	10	5	9	1	0,04
		10	10	0	0,10
		20	10	0	0,15
		50	10	0	0,30

Çizelge 8.5. Parametre değerlerinin belirlenmesi için yapılan ön deney sonuçları (görev sayısı=24, çevrim süresi=35, istasyon sayısı=10)

$\alpha : \beta$	koloni boyutu	iterasyon sayısı	optimal çözüm sayısı	optimal olmayan çözüm sayısı	CPU zamanı (ort)
1 : 1	2	5	7	3	0,03
		10	9	1	0,07
		20	8	2	0,12
		50	10	0	0,30
	5	5	10	0	0,04
		10	10	0	0,12
		20	10	0	0,20
		50	10	0	0,50
	10	5	10	0	0,15
		10	10	0	0,22
		20	10	0	0,37
		50	10	0	0,80
2 : 1	2	5	9	1	0,03
		10	9	1	0,07
		20	9	1	0,12
		50	9	1	0,30
	5	5	10	0	0,04
		10	10	0	0,12
		20	10	0	0,20
		50	10	0	0,50
	10	5	10	0	0,15
		10	10	0	0,22
		20	10	0	0,37
		50	10	0	0,80
5 : 1	2	5	8	2	0,03
		10	8	2	0,07
		20	9	1	0,12
		50	7	3	0,30
	5	5	9	1	0,04
		10	10	0	0,12
		20	10	0	0,20
		50	10	0	0,50
	10	5	10	0	0,15
		10	10	0	0,22
		20	10	0	0,37
		50	10	0	0,80
10 : 1	2	5	8	2	0,03
		10	9	1	0,07
		20	9	1	0,12
		50	9	1	0,30
	5	5	10	0	0,04
		10	10	0	0,12
		20	10	0	0,20
		50	10	0	0,50
	10	5	10	0	0,15
		10	10	0	0,22
		20	10	0	0,37
		50	10	0	0,80

Çizelge 8.6. $\alpha : \beta$ parametresi için duncan testi sonuçları

alfa_beta	N	Subset	
		1	2
1:1	36	5,28	
5:1	36		7,06
2:1	36		7,06
10:1	36		7,94
Sig.		1,000	,295

Çizelge 8.7. Koloni boyutu parametresi için duncan testi sonuçları

koloniBoyutu	N	Subset		
		1	2	3
2	48	2,96		
5	48		7,67	
10	48			9,88
Sig.		1,000	1,000	1,000

Çizelge 8.8. İterasyon sayısı parametresi için duncan testi sonuçları

iterasyon_sayisi	N	Subset
		1
5	36	5,94
10	36	6,78
20	36	7,17
50	36	7,44
Sig.		,086

Yapılan duncan testi için bağımlı değişken olarak optimal çözüm sayısından optimal olmayan çözüm sayısının çıkartılması ile bulunan değer kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 2:1, 5:1 ve 10:1 değerlerinin 1:1 değerinden farklılık gösterdiği görülmektedir (Çizelge 8.6). Koloni boyutu parametresi için her 3 seviyede farklılık saptanmıştır (Çizelge. 8.7). İterasyon sayısı için ise düzeyler arasında farklılık tespit edilememiştir (Çizelge 8.8). Yapılan istatistiksel analiz ve çözüm süreleri göz önüne alınarak parametreler için seçilen değerler şu şekildedir:

$\alpha : \beta$	10:1
koloniBoyutu	10
iterasyon sayisi	10

8.2.2. PSO algoritması için parametre değerlerinin belirlenmesi

TZA probleminin çözümünde kullanılan PSO algoritmasının parametreleri; yığın boyutu, mutasyon olasılığı, durdurma koşulu (iyileşme olmayan iterasyon sayısı), φ_1 , φ_2 , λ_1 , λ_2 olarak belirlenmiştir. Ancak PSO algoritmasında kullanılan φ_1 , φ_2 , λ_1 , λ_2 olasılık değerleri TZA probleminin yapısından dolayı özel olarak belirlenmiştir (Bölüm 7.1.3). Yığın boyutu hat sayısının yarısı, hat sayısı, hat sayısının 2 katı ve hat sayısının 4 katı olmak üzere 4 düzeyde incelenmiştir. Mutasyon olasılığı için 0,05, 0,1 ve 0,2 değerleri belirlenmiştir. Durdurma koşulu için ise ardı ardına iyileşme olmayan 25, 50 ve 100 iterasyon değerleri incelenmiştir.

Çizelge 8.9. PSO algoritmasında kullanılan parametreler ve düzeyleri

parametre	düzey			
	1	2	3	4
yığın boyutu	hat sayısı / 4	hat sayısı / 2	hat sayısı	hat sayısı *2
mutasyon olasılığı	0.05	0,1	0,2	
iyileşme olmayan iterasyon sayısı	25	50	100	

Farklı problem boyutları için her bir kombinasyon 10'ar kez çalıştırılmış olup toplam 1080 (4x3x3x10x3) deneme yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda parametre kombinasyonu için amaç fonksiyonu değeri ile CPU zamanları dikkate alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar ANOVA ve Duncan istatistiksel analizleri SPSS paket programı ile yapılarak parametre düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı incelenmiştir.

ANOVA sonuçları incelendiğinde bütün parametrelerin anlamlı etkiye sahip oldukları görülmektedir. Parametrelerin çözüm üzerindeki etkilerinin hangi düzeylerde anlamlı farklılıklara sahip olduğu ise Çizelge 8.10 - Çizelge 8.12.'de verilmiştir.

Çizelge 8.10. Yığın boyutu parametresi için duncan testi sonuçları

yigin_boyutu	N	Subset	
		1	2
hat_sayisi	270	5 032,57	
hat_sayisi * 2	270	5 034,14	
hat_sayisi / 2	270	5 040,09	5 040,09
hat_sayisi / 4	270		5 058,74
Sig.		,490	,070

Çizelge 8.11. Mutasyon olasılığı parametresi için duncan testi sonuçları

mutasyon_olas	N	Subset	
		1	2
0,05	360	5 019,57	
0,10	360	5 024,69	
0,20	360		5 079,90
Sig.		,562	1,000

Çizelge 8.12. İterasyon sayısı parametresi için duncan testi sonuçları

iterasyon	N	Subset	
		1	2
100	360	5 028,09	
50	360	5 043,57	5 043,57
25	360		5 052,49
Sig.		,082	1,000

Yapılan duncan testi için bağımlı değişken olarak TZA problemi amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde yığın boyutu için hat sayısı kadar ve hat sayısının iki katı büyüklükte olan yığınlar için elde edilen sonuçların diğer yığın boyutlarından farklılık gösterdiği görülmektedir (Çizelge 8.10). Mutasyon olasılığı parametresi için 0,05 değerinin en iyi seçenek olduğu saptanmıştır (Çizelge 8.11). İyileşme olmayan iterasyon sayısı için ise 100 ve 50 değeri ön plana çıkmaktadır (Çizelge 8.12). Yapılan istatistiksel analiz sonucunda çözüm süreleri de göz önüne alınarak parametreler için seçilen değerler şu şekildedir:

yığın boyutu	hat sayısı ($m*a*b + a*c$)
mutasyon olasılığı	0,05
iyileşme olmayan iterasyon sayısı	50

8.3. Deneysel Karşılaştırma Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu bölümde üretilen test problemleri kullanılarak algoritmanın performansı değerlendirilmiştir. Hazırlanan 33 örnek problem geliştirilen algoritma ile 10 kez çözülerek elde edilen çözüm değerleri ve hesaplama zamanları tutulmuştur. Elde edilen veriler GAMS/BARON çözücüsü ile elde edilen çözüm değerleri ve hesaplama zamanları ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 8.13).

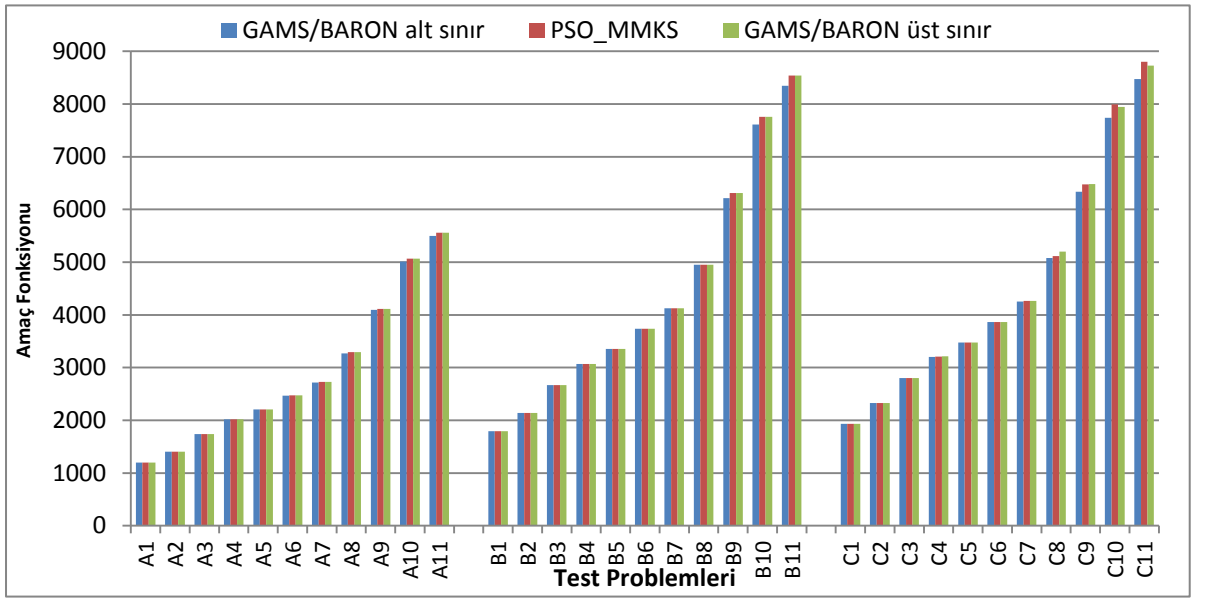
Doğrusal olmayan modelin NP-zor yapısından dolayı hesaplama zamanları oldukça fazla sürmektedir. Dolayısıyla GAMS/BARON çözücü için hesaplama zamanı üst limit 7200 sn. olarak belirlenmiştir. Bu sürenin sonunda işlem sonlandırılarak alt ve üst sınır rapor edilmiştir. Geliştirilen sezgisel yaklaşım 10 kez çalıştırılmış ve elde edilen amaç fonksiyonu ve hesaplama zamanı değerlerinin ortalaması alınmıştır.

Çizelge 8.13 incelendiğinde A grubu test problemlerinde optimal sonucu bilinen ilk 5 problem için PSO_MMKS algoritmasının optimale ulaştığı görülmektedir. A grubunun diğer problemleri için ise elde edilen sonuçların alt ve üst sınır aralığında olduğu görülmektedir. Geliştirilen algoritma kullanılarak ulaşılan sonuçlar alt sınırdan % 0,28 ile % 1,10 kadar sapma göstermiştir. Çözüm süreleri açısından incelendiğinde ise geliştirilen algoritmanın çok rekabetçi olduğu görülmektedir.

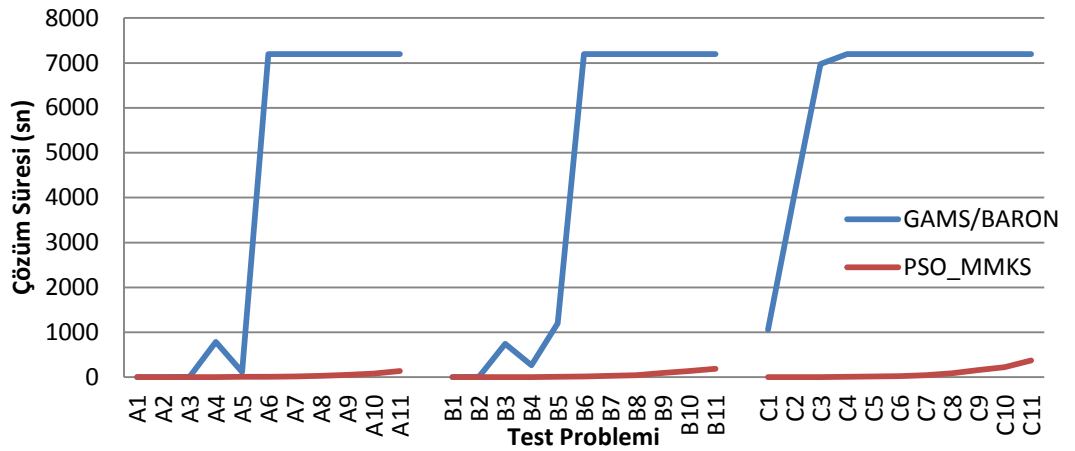
B grubu test problemleri incelendiğinde önerilen algoritma, optimal sonucu bilinen test problemleri için optimal çözüm sağlamıştır. Optimal çözümü bilinmeyen diğer B grubu problemleri için ise elde edilen sonuçların alt ve üst sınır aralığında olduğu görülmektedir. Alt ve üst sınır aralığında bulunan çözümler için sapma oranları %0,005 ile % 2,30 aralığında değişmektedir. Çözüm süreleri ise matematiksel modelin çözüm süreleri ile karşılaştırıldığında oldukça iyi bulunmuştur.

C grubu test problemleri için sadece 3 test problemi için optimal sonuç bilinmektedir. Optimal sonucu bilinen problemler için önerilen sezgisel yaklaşım optimale ulaşmıştır. Diğer test problemleri için alt sınırdan sapma oranları %0.001 ile % 3.85 aralığında, üst sınırdan sapma oranları ise 0,09 ile 0.85 aralığında değişmektedir.

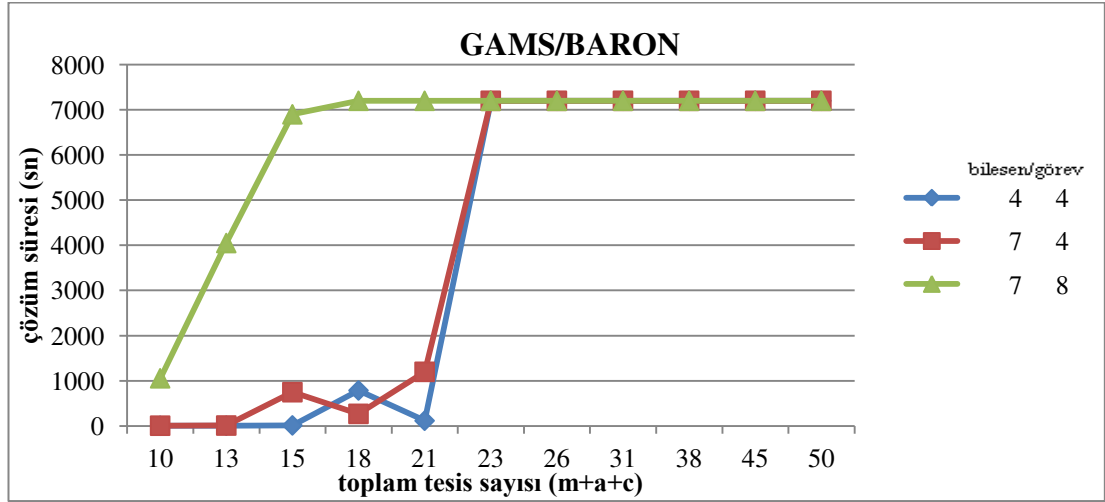
Geliştirilen algoritma farklı problem boyutları için 0,99 sn. ile 374,15 sn. değişen sürelerde çözüme ulaşmıştır. Sonuçlar incelendiğinde geliştirilen algoritmanın optimal sonucu bilinen bütün test problemleri için optimal sonuca ulaştığı görülmektedir. Optimal sonucu bilinmeyen problemlerin ise %85'inde bulunan çözüm, alt ve üst sınır aralığında elde edilmiştir. Sadece %15'inde üst sınırdan sapma göstermiştir (Şekil 8.1). Çözüm süreleri açısından ise geliştirilen sezgisel algoritma oldukça rekabetçi süreler içinde çözüme ulaşmıştır (Şekil 8.2).



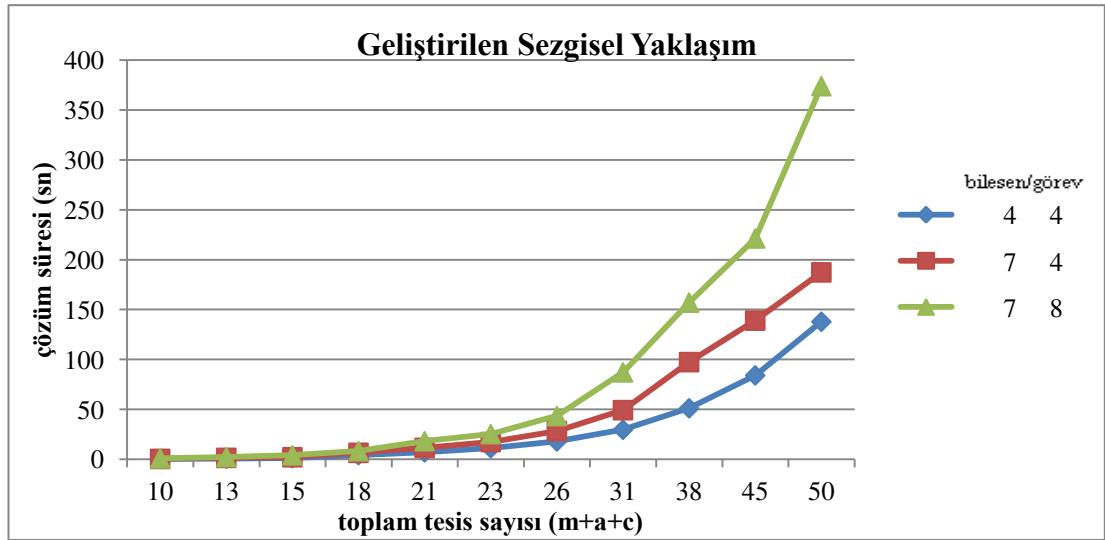
Şekil 8.1. Çözüm değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 8.2. Çözüm süresi değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 8.3. Bileşen, görev ve toplam tesis sayılarının çözüm süresine etkisi(GAMS)



Şekil 8.4. Bileşen, görev ve toplam tesis sayılarının çözüm süresine etkisi(Geliştirilen sezgisel yaklaşım)

Yapılan deneysel çalışmalarla problem boyutundaki değişimlerin çözüm süresine etkisi incelenmiştir. Şekil 8.3 ve Şekil 8.4’de toplam tesis sayısı, bileşen sayısı ve görev sayısının çözüm süreleri üzerine etkisi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde görev sayısındaki değişimin toplam tesis sayısı ve bileşen sayısındaki değişimlere kıyasla çözüm süresini daha çok etkilediği görülmüştür.

Çizelge 8.13. Test problemleri için geliştirilen sezgisel yaklaşım (PSO_MMKS) ve GAMS ile bulunan sonuçların karşılaştırılması

Test prob.	Problem Boyutu					GAMS / BARON				Geliştirilen sezgisel yaklaşım(PSO_MMKS)		Durum	Alt sınır yüzde sapma	Üst sınır yüzde sapma
	İmalat tesisi sayısı (m)	Montaj tesisi sayısı (a)	Müşteri sayısı (c)	Bileşen sayısı (b)	Görev sayısı (i)	Amaç fonksiyonu değeri			Çözüm süresi (sn)	Ortalama amaç fonksiyonu değeri	Ortalama çözüm süresi (sn)			
						Alt sınır	Üst sınır	Yüzde sapma değeri						
A1	4	2	4	4	4	-	1 196 224	0,00	4,081	1 196 224	0,25	*	0,00	0,00
A2	5	3	5	4	4	-	1 403 090	0,00	5,605	1 403 090	0,74	*	0,00	0,00
A3	6	3	6	4	4	-	1 741 380	0,00	12,574	1 741 380	1,17	*	0,00	0,00
A4	7	4	7	4	4	-	2 017 860	0,00	785,149	2 017 860	4,25	*	0,00	0,00
A5	8	5	8	4	4	-	2 208 640	0,00	115,689	2 208 640	7,09	*	0,00	0,00
A6	9	5	9	4	4	2 466 800	2 477 300	0,42	7200+	2 475 230	11,20	✓	0,34	0,00
A7	10	6	10	4	4	2 719 010	2 728 520	0,34	7200+	2 726 820	17,97	✓	0,28	0,00
A8	12	7	12	4	4	3 266 840	3 297 365	0,93	7200+	3 291 140	29,67	✓	0,74	0,00
A9	15	8	15	4	4	4 094 890	4 128 640	0,82	7200+	4 114 992	51,17	✓	0,49	0,00
A10	18	9	18	4	4	5 009 130	5 082 410	1,46	7200+	5 064 250	84,19	✓	1,10	0,00
A11	20	10	20	4	4	5 500 790	5 579 220	1,42	7200+	5 556 190	137,96	✓	1,00	0,00
Ortalama						2 874 968	2 896 422	0,49	4 011,19	2 890 528	31,42	✓	0,36	0,00

*: optimal sonuca ulaşıldı ✓ : amaç fonksiyonu değeri alt ve üst sınır içinde

✗: amaç fonksiyonu değeri alt ve üst sınır dışında.

Çizelge 8.13. (DEVAM) Test problemleri için geliştirilen sezgisel yaklaşım (PSO_MMKS) ve GAMS ile bulunan sonuçların karşılaştırılması

Test prob.	Problem Boyutu					GAMS / BARON				Geliştirilen sezgisel yaklaşım(PSO MMKS)		Durum	Alt sınır yüzde sapma	Üst sınır yüzde sapma
	İmalat tesisi sayısı (m)	Montaj tesisi sayısı (a)	Müşteri sayısı (c)	Bileşen sayısı (b)	Görev sayısı (i)	Amaç fonksiyonu değeri			Çözüm süresi (sn)	Ortalama amaç fonksiyonu değeri	Ortalama çözüm süresi (sn)			
						Alt sınır	Üst sınır	Yüzde sapma değeri						
B1	4	2	4	7	4	-	1 794 588	0,00	5,024	1 794 588	0,45	*	0,00	0,00
B2	5	3	5	7	4	-	2 140 730	0,00	9,232	2 140 730	1,47	*	0,00	0,00
B3	6	3	6	7	4	-	2 665 500	0,00	747,038	2 665 500	2,14	*	0,00	0,00
B4	7	4	7	7	4	-	3 069 060	0,00	267,005	3 069 060	6,54	*	0,00	0,00
B5	8	5	8	7	4	-	3 351 000	0,00	1198,874	3 351 000	11,49	*	0,00	0,00
B6	9	5	9	7	4	3 734 570	3 735 070	0,01	7200+	3 735 070	17,33	✓	0,01	0,00
B7	10	6	10	7	4	4 124 502	4 124 940	0,01	7200+	4 124 730	28,32	✓	0,005	0,00
B8	12	7	12	7	4	4 952 022	4 962 720	0,21	7200+	4 954 680	49,32	✓	0,05	0,00
B9	15	8	15	7	4	6 213 940	6 410 101	3,15	7200+	6 314 250	97,47	✓	1,61	0,00
B10	18	9	18	7	4	7 612 160	8 117 218	6,63	7200+	7 754 170	139,10	✓	1,86	0,00
B11	20	10	20	7	4	8 347 790	8 755 488	4,88	7200+	8 540 445	187,44	✓	2,30	0,00
Ortalama						4 364 169	4 466 038	1,35	4 129,66	4 404 020	49,19	✓	0,53	0,00

*: optimal sonuca ulaşıldı ✓ : amaç fonksiyonu değeri alt ve üst sınır içinde

✗: amaç fonksiyonu değeri alt ve üst sınır dışında.

Çizelge 8.13. (DEVAM) Test problemleri için geliştirilen sezgisel yaklaşım (PSO_MMKS) ve GAMS ile bulunan sonuçların karşılaştırılması

Test prob.	Problem Boyutu					GAMS / BARON				Geliştirilen sezgisel yaklaşım(PSO MMKS)		Durum	Alt sınır yüzde sapma	Üst sınır yüzde sapma
	İmalat tesisi sayısı (m)	Montaj tesisi sayısı (a)	Müşteri sayısı (c)	Bileşen sayısı (b)	Görev sayısı (i)	Amaç fonksiyonu değeri			Çözüm süresi (sn)	Ortalama amaç fonksiyonu değeri	Ortalama çözüm süresi (sn)			
						Alt sınır	Üst sınır	Yüzde sapma değeri						
C1	4	2	4	7	8	-	1 934 860	0,00	1055,601	1 934 860	0,99	*	0,00	0,00
C2	5	3	5	7	8	-	2 328 330	0,00	4052,415	2 328 330	2,27	*	0,00	0,00
C3	6	3	6	7	8	-	2 799 140	0,00	6975,634	2 799 140	4,05	*	0,00	0,00
C4	7	4	7	7	8	3 202 919	3 217 700	0,46	7200+	3 207 480	8,14	✓	0,14	0,00
C5	8	5	8	7	8	3 476 040	3 476 180	0,00	7200+	3 476 080	18,25	✓	0,001	0,00
C6	9	5	9	7	8	3 863 310	3 867 440	0,10	7200+	3 867 380	25,35	✓	0,10	0,00
C7	10	6	10	7	8	4 253 090	4 263 220	0,23	7200+	4 267 180	43,48	✗	0,33	0,09
C8	12	7	12	7	8	5 078 180	5 201 260	2,42	7200+	5 113 220	87,24	✓	0,69	0,00
C9	15	8	15	7	8	6 338 340	6 481 190	2,25	7200+	6 475 350	157,13	✓	2,16	0,00
C10	18	9	18	7	8	7 739 660	7 944 168	2,64	7200+	7 992 142	221,47	✗	3,26	0,60
C11	20	10	20	7	8	8 473 590	8 726 114	2,98	7200+	8 800 580	374,15	✗	3,85	0,85
Ortalama						4 498 860	4 567 237	1,01	6 334,88	4 569 249	85,68	✓	0,96	0,14

*: optimal sonuca ulaşıldı ✓ : amaç fonksiyonu değeri alt ve üst sınır içinde

✗: amaç fonksiyonu değeri alt ve üst sınır dışında.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çevik bir üretim hattına sahip olmak ve müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmek için stratejik bir karar olan tedarik zinciri ağ tasarımı sürecine taktiksel bir karar olan montaj hattı dengeleme probleminin entegre edildiği ve her iki kararın eş zamanlı olarak düşünüldüğü bir problem ele alınmıştır. Literatürde her iki problemde NP-zor olduğu bilindiğinden dolayı ortaya konulan iki problemin entegrasyonu da NP-zor olmaktadır. Bu nedenle problem boyutu arttıkça istenen sürede optimal sonuçlara ulaşılması oldukça zorlaşmaktadır.

Yapılan tez çalışmasında tedarik zinciri tasarım ve montaj hattı dengeleme entegrasyonu probleminin çözümü için eş zamanlı çalışan iki farklı sürü zekası tekniği kullanılarak bir sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir.

Bireylerin sosyal çevresi ile ve diğer bireylerle olan etkileşimini ve ortak davranışlarının incelenmesi ile ortaya çıkan sürü zekası teknikleri optimizasyon problemlerinin çözümü için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, montaj hattı dengeleme problemi için karınca kolonisi optimizasyonunun; tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için ise parçacık sürü optimizasyonunun eş zamanlı olarak çalıştığı bir yöntem önerilmiştir. Literatür incelendiğinde PSO algoritmasının çok aşamalı ve çok amaçlı TZA problemleri için daha önce çalışılmadığı görülmüştür. Ayrıca iki problemin entegrasyonu için yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada ele alınan problem için parçacık gösterimi geliştirilmiştir. Ayrıca PSO algoritmasının önemli adımlarından biri olan pozisyon güncellemeleri TZA probleminin yapısına uyum sağlaması için revize edilmiştir. MMKS algoritması kullanılarak basit montaj hattı dengeleme problemi için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. İki algoritmanın entegrasyonunda uzun dönemli hafıza listesi kullanılmıştır. Böylelikle gereksiz işlem sayısının artmasının önüne geçilmiş ve iki algoritmanın eş zamanlı olarak çalışması sağlanmıştır.

Önerilen algoritmanın (PSO_MMKS) performansı parametre değerlerinin uygun olarak belirlenmesine bağlıdır. Bu nedenle uygun parametre setlerinin belirlenmesi için parametre analizi yapılmıştır.

Ele alınan problem yeni bir yapı olduğu için literatürde yapılmış herhangi bir çalışma ve test problemi bulunmamaktadır. Bu nedenle önerilen algoritmanın performansını değerlendirebilmek için test problemleri üretilmiştir. Tesis, müşteri, bileşen ve görev sayılarının kombinasyonundan oluşan 33 farklı test problemi elde edilmiştir. Geliştirilen sezgisel yaklaşım stokastik yapıda olduğundan dolayı her bir test problemi için algoritma 10 kez çalıştırılarak elde edilen çözüm değerleri ve çözüm süreleri tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar optimal çözüm ve çözüm süreleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde geliştirilen algoritmanın optimal sonucu bilinen bütün test problemleri için optimal sonuca ulaştığı görülmektedir. Optimal sonucu bilinmeyen problemlerin ise %85'inde bulunan çözüm, alt ve üst sınır aralığında elde edilmiştir. Sadece %15'inde üst sınırdan sapma göstermiştir. Çözüm süreleri açısından ise geliştirilen sezgisel algoritmanın oldukça rekabetçi süreler içinde çözüme ulaştığı görülmüştür.

İlerleyen çalışmalarda önerilen PSO_MMKS algoritmasının performansının daha iyi ölçülebilmesi için farklı meta-sezgisel yaklaşımlar kullanılarak referans değerler oluşturması sağlanabilir. Böylelikle büyük boyutlu problemler için geliştirilen algoritmanın etkinliği daha iyi karşılaştırılabilecektir. Ayrıca iki algoritmanın birleşimi için farklı yöntemler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Ağpak, K. And Gökçen, H., “Assembly line balancing: two resources constrained cases”, *International Journal of Production Economics*, 96 (1):129–140 (2005).

Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Karaoglan, I., “A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design”, *Computers and Industrial Engineering*, 56 (2): 521–537 (2009).

Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Paksoy, T., “A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks”, *Computers and Industrial Engineering*, 51(1):197–216 (2006).

Azaron, A., Brown, K.N., Tarim, S.A., Modarres, M., “A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk”, *International Journal of Production Economics*, 116 (1):129–138 (2008).

Bautista, J. And Pereira, J., “Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem”, *European Journal of Operational Research*, 177:2016–2032 (2007).

Baybars, I., “A survey of exact algorithms for the simple line balancing problem”, *Management Science*, 32:909–932 (1986).

Baykasoğlu, A. And Dereli, T. “Simple and u-type assembly line balancing by using an ant colony based algorithm”, *Mathematical and Computational Applications*, 14 (1):1-12 (2009).

Beamon, B.M. And Sabri, E.H., “A multi objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design”, *Omega*, 28(5):581–598 (2000).

Becker, C. And Scholl, A., “A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing”, *European Journal of Operational Research*, 168:694–715 (2006).

Chan, F.T.S. And Chung, S.H., “Multi-criteria genetic optimization for distribution network problems”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24(7-8):517–532 (2004).

Chan, F.T.S. And Kumar, N., “Effective allocation of customers to distribution centres: a multiple ant colony optimization approach”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 25(1):1–12 (2009).

Che, Z.-G., Che, Z.H., And Hsu, T.A., “Co-operator selection and industry assignment in supply chain network with line balancing technology”, *Expert Systems With Applications*, 36:10381–10387 (2009).

Che, Z.H. And Chiang, C.J., “A modified pareto genetic algorithm for multi-objective build-to-order supply chain planning with product assembly”, *Advances in Engineering Software*, 41:1011–1022 (2010).

Chen, L. And Lee, W., “Multi objective optimization of multi echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices”, *Computers and Chemical Engineering*, 28:1131–1144 (2004).

Chen, M. And Wang, W., “A linear programming model for integrated steel production and distribution planning”, *International Journal of Operations and Production Management*, 17:592–610 (1997).

Chern, C-C. And Hsieh, J-S., “A heuristic algorithm for master planning that satisfies multiple objectives”, *Computers and Operations Research*, 34(11): 3491–3513 (2007).

Cohen, M.A. ve Lee, H.L., “Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution Networks”, *Journal of Manufacturing and Operational Management*, 2:81–104 (1989).

Cohen, S. And Roussel, J., “Strategic supply chain management”, *McGraw Hill*, New York, 10-20 (2004).

Ding, H., Benyoucef, L. And Xie, X., “A simulation-based multi-objective genetic algorithm approach for networked enterprises optimization”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19(6):609–623 (2006).

Dorigo, M. And Stützle, T., “Ant Colony Optimization”, Prior, R., *MIT Pres*, Cambridge, Massachusetts, 10-20 (2004).

Dorigo, M. And Stützle, T., “Metaheuristic Handbook”, Glover, F., Kochenberger, G., International Series in Operational Research and Management Science, *Kluwer Academic*, Boston, 1-13 (2001).

Dorigo, M., Di Caro, G., And Gambardella, L. M., “Ant algorithms for discrete optimisation”, *Artificial Life*, 5:137–172 (1999).

Du, F. And Evans, G.W., “A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service”, *Computers and Operations Research*, 35(8):2617–2634 (2008).

Erel, E. And Sarin, S.C., “A survey of the assembly line balancing procedures”, *Production Planning ve Control*, 9:414–434 (1998).

Farahani, R.Z. And Elahipanah, M., “A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for just-in-time distribution in a supply chain”, *International Journal of Production Economics*, 111(2):229–243 (2007).

Fox, S.M., Chionglo, F. J., ve Barbuceanu, M., “The Integrated Supply Chain Management System”, University of Toronto (1993).

Ganeshan, R., “Managing supply chain inventories: a multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model”, *International Journal of Production Economics*, 59:341–354 (1999).

Ganeshan, R., Harrison, T. P., “Supply Chain Management”, Department of Management Science ana Information Systems, Penn State University (1995).

Gen, M., Syarif, A., “Hybrid genetic algorithm for multi-time period production/distribution planning”, *Computers&Industrial Engineering*, 48(4): 799-809 (2005).

Goss, S., Aron, S., Dereuborg, J.L. And Pasteels, J.M., “Self Organized Shortcuts in the Argentina Ant”, *Naturwissenschaften*, 76:579-581 (1989).

Gökçen, H. And Ağpak, K., “A goal programming approach to simple u-line balancing problem”, *European Journal of Operational Research*, 171 (2): 577-585 (2006).

Gökçen, H. And Erel, E., “A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem”, *Int. J. Production Economics*, 48:177-185 (1997).

Gökçen, H., “Karışık Modelli MHD Problemleri için Yeni Modeller”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-32 (1994).

Gökçen, H., And Erel, E., “Karışık Ürünlü Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Bir Sezgisel Yöntem”, *Verimlilik Dergisi*, 2:131-140 (1995).

Graves, S.C. And Lamar, B.W., “An integer programming procedure for assembly system design problems”, *Operations Research*, 31 (3):522–545 (1983).

Güleş, H.K., Paksoy, T., Bülbül, H., Özceylan, E., “Tedarik zinciri yönetimi”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 15-19 (2012).

Helgeson, W. B. And Birnie, D. P., “Assembly Line Balancing Using Ranked Positional Weight Technique”, *Journal of Industrial Engineering*, 12(6):394-398, (1961).

Huang, H., Hao, Z., “Particle swarm optimization for transportation problems”, Particle swarm optimization, *In-Tech*, Austria, 275-290 (2009).

Hugos, M., “Essentials Of Supply Chain Management”, *John Wiley & Sons*, New Jersey, 2-10 (2003).

Jayaraman, V. And Pirkul, H., “Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities”, *European Journal of Operational Research*, 133:394–408 (2001).

Kadadevaramath, R.S., Chen, J.C.H., Latha Shankar, B., Rameshkumar, K., “Application of particle swarm intelligence algorithms in supply chain network architecture optimization”, *Expert Systems with Applications*, 39 (11):10160-10176 (2012).

Kanyalkar, A.P. And Adil, G.K., “An integrated aggregate and detailed planning in a multi-site production environment using linear programming”, *International Journal of Production Research*, 43:4431–4454 (2005).

Kara, Y., Paksoy, T., And Chang., C.-T., “Binary fuzzy goal programming approach to single model straight and u-shaped assembly line balancing”, *European Journal of Operational Research*, 195:335–347 (2009).

Kennedy, J. And Eberhart, R.C., “Particle swarm optimization”, *In: Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, 1942–1948 (1995).

Lee H.L., Billington C., Carter B., “Hewlett-Packard Gains Control of Inventory and Service Through Design for Localization”, *Interfaces Studies*, 43(4). :1-11 (1993).

McMullen, P. R., And Tarasewich, P. , “Using ant techniques to solve the assembly line balancing problem”, *IIE Transactions*, 35:605–617 (2003).

Melachrinoudis, E., Messac, A. And Min, H., “Consolidating a warehouse network: a physical programming approach”, *International Journal of Production Economics*, 97(1):1–17 (2005).

Moncayo-Martinez, L.A. And Zhang, D.Z., “Multi-objective ant colony optimisation: a meta-heuristic approach to supply chain design”, *International Journal of Production Economics*, 131(1):407–420 (2011).

Mula, J., Peidro, D., Díaz-Madroñero, M., Vicens, E., “Mathematical programming models for supply chain production and transport planning”, *European Journal of Operational Research*, 204 (3): 377-390 (2010).

Nicosia, G., Pacciarelli, D., And Pacifici, A., “Optimally balancing assembly lines with different workstations”, *Discrete Applied Mathematics*, 118: 99–113 (2002).

Ozdamar, L. And Yazgac, T., “ Capacity driven due date settings in make-to-order production systems”, *International Journal of Production Economics*, 49 (1):29–44 (1997).

Özsağlam, M. Y., Çunkas M. , “Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçaçık Sürü Optimizasyonu Algoritması”, *Journal of Polytechnic*, 11(4):193-198 (2008).

Paksoy, T. And Chang, C.-T., “ Revised multi-choice goal programming for multi-period, multi-stage inventory controlled supply chain model with popup stores in guerrilla marketing” *Applied Mathematical Modelling*, 34 (11):3586–3598 (2010).

Paksoy, T., “Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıdı Altında Stratejik Bir Üretim – Dağıtım Modeli”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14: 435-454 (2005).

Paksoy, T., Özceylan, E., Gökçen, H., “Supply chain optimisation with assembly line balancing”, *International Journal of Production Research*, 50 (11): 3115-3136 (2012).

Pinnoi, A. And Wilhelm, W.E., “A family of hierarchical models for assembly system design”, *International Journal of Production Research*, 35: 253–280 (1997).

Pokharel, S., “A two objective model for decision making in supply chain”, *International Journal of Production Economics*, 111(2):378–388 (2008).

Rizk, N., Martel, A., And D’amours, S., “Synchronized production–distribution planning in a single-plant multi-destination network”, *Journal of the Operational Research Society*, 59:90–104 (2008).

Ross, D.F., “Competing Through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships”, *Kluwer Academic Publishers*, Boston (1998).

Sakawa, M., Nishizaki, I., And Uemura, Y., “Fuzzy programming and profit and cost allocation for a production and transportation problem”, *European Journal of Operational Research*, 131: 1–15 (2001).

Salveson, M.E., “The assembly line balancing problem”, *Journal of Industrial Engineering*, 6:18–25 (1955).

Sawik, T., “Coordinated supply chain scheduling”, *International Journal of Production Economics*, 120:437–451 (2009).

Schmidt, G. And Wilhelm, W.E., “Strategic, tactical and operational decisions in multi-national logistics networks: a review and discussion of modelling issues”, *International Journal of Production Research*, 38 (7): 1501–1523 (2000).

Scholl, A., “Balancing and Sequencing Of Assembly Lines”, *Physica Verlag*, Heidelberg, New York, 9-36 (1999).

Scholl, A., And Becker, C., “State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing”, *European Journal of Operational Research*, 168:666–693 (2006).

Shen, Z-J.M. And Daskin, M.S. “Trade-offs between customer service and cost in integrated supply chain design”, *Manufacturing Service and Operations Management*, 7(3):188–207 (2005).

Simaria, A.S. And Vilarinho, P.M., “2-ANTBAL: An ant colony optimization algorithm for balancing two-sided assembly lines”, *Computers & Industrial Engineering*, 56:489–506 (2009).

Simchi-Levi, D., Kamisky, P., Simchi-Levi, E., “Designing And Managing The Supply Chain”, *Irvin McGraw-Hill*, United States of America (2000).

Singhvi, A., Madhavan, K.P., And Shenoy, U.V., “Pinch analyses for aggregate production planning in supply chains”, *Computers & Chemical Engineering*, 28 (6/7):993–999 (2004).

Syarif, A., Yun, Y., Gen, M., “Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach”, *Computers&Industrial Engineering*, 43(1-2): 299-314 (2002).

Torabi, S.A. And Hassini, E., “An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning”, *Fuzzy Sets and Systems*, 159:193–214 (2008).

Tsai, K.-M., You, S.-Y., Lin, Y.-H., Tsai, C.-H., “A fuzzy goal programming approach with priority for channel allocation problem in steel industry”, *Expert System and Applications*, 34:1870–1876 (2008).

Tuzkaya, U.R. And Önüt, S., “A holonic approach based integration methodology for transportation and warehousing functions of the supply network”, *Computers and Industrial Engineering*, 56:708–723 (2009).

Venkatesan, S.P., Kumanan, S., “A multi-objective discrete particle swarm optimisation algorithm for supply chain network design”, *International Journal of Logistics Systems and Management*, 11(3):375-406 (2012).

Xiaobo, Z., Xu, D., Zhang, H., He, Q.-M., “Modelling and analysis of a supply–assembly–store chain”, *European Journal of Operational Research*, 176(1): 275–294 (2007).

Yamada, T. And Matsui, M., “A management design approach to assembly line systems”, *International Journal of Production Economics*, 84:193–204 (2003).

Yan, H., Yu, Z., And Cheng, T.C.E., “A strategic model for supply chain design with logical constraints: formulation and solution”, *Computers and Operations Research*, 30 (14):2135–2155 (2003).

Yüksel, H., “Tedarik Zinciri Yönetiminde Bilgi Sistemlerinin Önemi”, Dokuz Eylül Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(3), (2002).

Zhou, G., Min, H. And Gen, M., “A genetic algorithm approach to the bi-criteria allocation of customers to warehouses”, *International Journal of Production Economics*, 86(1):35–45 (2003).

EKLER

EK -1. Delphi 7 programlama dilinde geliştirilen program arayüzü

PSO_MMKS - Bilal ERVURAL

İmalat tesisleri 6 **Montaj tesisleri** 5 **Müşteriler** 9 **Bileşenler** 7 **import excel**

M'den A'ya Mesafe*Br Taşıma Maliyetleri

	A1	A2	A3	A4	A5
M1	1	2	2	4	1
M2	2	2	2	2	2
M3	1	2	1	4	1
M4	3	1	2	1	1
M5	3	4	3	4	4
M6	4	4	1	2	2

A'dan C'ye Mesafe*Br Taşıma Maliyetleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	9	5	3	7	6	10
A2	1	5	1	3	5	9
A3	6	2	9	6	4	8
A4	5	5	10	10	1	1
A5	3	5	10	9	5	1

Kapasite

	A1	A2	A3	A4	A5
K1	2000	1200	600	200	500
K2	500	600	500	1000	400
K3	750	800	400	500	200
K4	750	1400	900	0	500
K5	200	500	1100	0	100
K6	500	0	1750	100	1250
K7	1500	200	600	200	500

Talep

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
K1	185								
K2	110								
K3	736								
K4	101								
K5	237								
K6	588								
K7	153								
K8	164								
K9	926								

Miktar

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
	1	1	1	1	1	1	1

Görevlerin İşlem süreleri

Görev	Süre
1	8
2	9
3	5
4	10
5	3
6	7
7	6
8	1
9	8
10	6
11	9
12	5

Görevlerin Öncelik ilişkileri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

TZA Parametreler

parçacık sayısı 324
 iterasyon sayısı 400
 mutasyon olasılığı 0,05

MHD Parametreler

Görev Sayısı 21
 İstasyon Açma Sabit Maliyeti 100
 Karınca Sayısı 5
 Feromon Etkisi 1
 Sezgisel Etkisi 0,2
 Buharlaşma Oranı 0,1
 Feromon Miktarı 100
 İterasyon Sayısı 10

PSO_MMKS

Çalışma Süresi(gün) 60
 Günlük Çalışma Süresi (saat) 8

rasal örnek üret
 sayısal örnek (paksöy ve ark.)
 sayısal örnek p1 sayısal örnek p2
 mhd16 mhd24 mhd_MMKS
 Çevrim Süresi

EK-2. GAMS/BARON kodları (Bölüm 4.3 sayısal örnek)

```

SETS
M MANUFACTURERS /1*3/
A ASSEMBLERS /1*2/
C CUSTOMERS /1*5/
K COMPONENTS /1*4/
i TASKS /1*8/
J STATIONS /1*4/
p period / 1*2 /;

ALIAS (i,r,s);

set L(r,s) "precedence"
/
2.1
3.1
6.3
5.2
4.2
7.6
8.4
8.5
8.7
/
;

table MKAP(M,K,P)
      1.1      2.1      3.1      4.1      1.2      2.2      3.2      4.2
1      250      200      300      250      400      200      200      400
2      200      300      250      300      200      300      250      200
3      300      250      300      300      200      400      300      200
;

TABLE AKAP(A,P)
      1      2
1      400      450
2      300      350
;

TABLE CTALEP(C,P)

```

```

      1      2
1      150    50
2      50     150
3      150    100
4      100    50
5      50     200
;

table COST_MA(M,A,P)
      1.1      2.1      1.2      2.2
1      0.2      0.25    0.25    0.30
2      0.38      0.35    0.35    0.45
3      0.22      0.28    0.27    0.30
;

table COST_AC(A,C,P)
      1.1  2.1  3.1  4.1  5.1  1.2  2.2  3.2  4.2  5.2
1      0.35 0.30 0.43 0.28 0.23 0.25  0.27 0.45 0.25 0.19
2      0.40 0.35 0.35 0.16 0.30 0.36  0.41 0.30 0.18 0.24
;

table MESAFE_MA(M,A)
      1      2
1      250    340
2      660    110
3      330    210
;

table MESAFE_AC(A,C)
      1      2      3      4      5
1      480    540    250    320    320
2      130    450    340    610    660
;

PARAMETER
T(i)
/
1      5
2      4
3      3
4      4
5      9
6      3
7      7

```

```

8          9
/
st(j)
/
1          1
2          2
3          3
4          4
/
stmax/4/
O /1000/
WTIME /4800/
;

```

VARIABLES

OBJFUNC

OBJFUNC1

OBJFUNC2

X(M,A,K,P)

Y(A,C,P)

Z(A,J,P)

V(A,I,J,P)

V(A,R,J,P)

V(A,S,J,P)

CT(A,P);

BINARY VARIABLES Z(A,J,P),V(A,I,J,P),V(A,R,J,P),V(A,S,J,P);

POSITIVE VARIABLES X(M,A,K,P),Y(A,C,P),CT(A,P);

EQUATIONS

OBJ

OBJ1

OBJ2

CONST1

CONST2

CONST3

CONST4

CONST5

CONST6

```

CONST7
CONST8
CONST9
;

OBJ..
OBJFUNC=E=SUM( (M,A,K,P),MESAFE_MA(M,A)*COST_MA(M,A,P)*X(M,A,K,P))+SU
M( (A,C,P),MESAFE_AC(A,C)*COST_AC(A,C,P)*Y(A,C,P))+SUM( (A,J,P),O*Z(A,
J,P));
OBJ1..      OBJFUNC1      =E=SUM( (M,A,K,P),MESAFE_MA(M,A)*COST_MA(M,A,P)*
X(M,A,K,P)) + SUM( (A,C,P),MESAFE_AC(A,C)*COST_AC(A,C,P)*Y(A,C,P));
OBJ2..      OBJFUNC2=E=SUM( (A,J,P),O*Z(A,J,P));
CONST1(M,K,P)..      SUM(A,X(M,A,K,P))=L=MKAP(M,K,P);
CONST2(A,P)..      SUM(C,Y(A,C,P))=L=AKAP(A,P);
CONST3(C,P)..      SUM(A,Y(A,C,P))=G=CTALEP(C,P);
CONST4(A,K,P)..      SUM(M,X(M,A,K,P))-SUM(C,Y(A,C,P))=E=0;
CONST5(A,I,P)..      SUM(J,V(A,I,J,P))=E=1;
CONST6(A,L(R,S),P)..      SUM(J,(st(J)*(V(A,s,J,P)-V(A,r,J,P))))=L=0;
CONST7(A,P)..      WTIME=E=SUM(C,Y(A,C,P))*CT(A,P);
CONST8(A,J,P)..      SUM(i,T(I)*V(A,I,J,P))=L=CT(A,P);
CONST9(A,J,P)..      SUM(I,V(A,I,J,P))-stmax*Z(A,J,P)=L=0;

MODEL CLOSED /all/;
CLOSED.optcr=0;
CLOSED.reslim=36000;
CLOSED.iterlim=1e9;
CLOSED.limrow=1000;
CLOSED.limcol=1000;

SOLVE CLOSED USING MINLP MINIMIZING OBJFUNC;

```

EK-3. tza_PSO algoritması sözde kodları

begin

P1 Başlangıç değerlerini ayarla $(m, a, c, b, p, a_{mbp}, b_{ap}, u_{cp}, D_{ac}, D_{ma}, C_{acp}, C_{map}, d, mo, W_{süre})$ **P2** $V_0^d = 0$ ($d=1,2,...,D$)*Repeat*

// her parçacık için

P3 $d=d+1$ **P4** *procedure* başlangıç çözümü oluştur*until* $d=D$ **P5** amaç fonksiyonu hesapla (1.aşama TZA+2.aşama TZA)**P6** yerel en iyi (P_0^d) ve global en iyi (G_0^d) çözümü ata*Repeat*

// her iterasyon için

P7 $t=t+1$ *Repeat*

// her parçacık için

P8 V_{t+1}^d değişim miktarı hesapla (eş. x.x)**P9** X_{t+1}^d hesapla (eş. x.x)**P10** *if* $(x_{ijb}) < 0$ *or* $(y_{ij}) < 0$ *then**procedure* negatif düzeltme operatörü çalıştır**P11** *if* $random < mo$ (mutasyon olasılığı) *then**procedure* mutasyon operatörü çalıştır*until* tüm parçacıklar güncellendi**P12** amaç fonksiyonu hesapla (1.aşama TZA+2.aşama TZA)**P13** yerel en iyi (P_t^d) ve global en iyi (G_t^d) çözümü güncelle*until* durdurma koşulu sağlandı**P14** Global en iyi çözümü raporla

end

EK-4. mhd_MMKS algoritması sözde kodları

```

K1 Başlangıç değerlerini ayarla ( $\alpha, \beta, \rho, W_{sure}, N, k$ )
    K2 Öncelik ilişkileri ( $oncelik[i, ii]$ ), görev süreleri ( $sure[i]$ ) al
    K3 procedure pozisyon ağırlığı hesapla ( $poz\_ag[i]$ )
    K4  $\tau_{ji}^0$  başlangıç feromen değerlerini ata
    K5  $\tau_{max}$  (eş.x.x) ve  $\tau_{min}$  (eş. x.x) hesapla
    Repeat                                     // her iterasyon için
        Repeat                                 // her karınca için
            Repeat                             // her görev için
                K6 procedure sezgisel bilgi hesapla ( $\eta_{ji}$ )
                K7 olasılıklı kurala göre (eş. x.x) çözüm kur
            until tüm görevler çözüme eklendi
        K8 amaç fonksiyonu (istasyon sayısı) hesapla
    until karınca sayısı koloni boyutuna ulaştı
    K9 Global en iyi çözümü güncelle
    K10 Tüm feromen değerlerini buharlaştır (eş.x.x.)
    K11 Global en iyi çözümün oluşturulmasında kullanılan hatta feromen
    biriktir (eş.x.x - eş. x.x.)
    K12 alt veya üst sınırı aşan ( $\tau_{ji} < \tau_{min}$  ,  $\tau_{ji} > \tau_{max}$ ) feromen
    değerlerini başlangıç değerlerine ( $\tau_{ji}^0$ ) döndür
    until durdurma koşulu sağlandı
    K13 Global en iyi çözümü raporla

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERVURAL, Bilal
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 18.09.1986 KONYA
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (537) 418 42 55
e-mail : bervural@konya.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2012
Lisans	Selçuk Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2010
Lise	Meram Muhittin Güzelkılınç Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-	Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi	Arş. Gör.

Yabancı Dil

İngilizce