

**ÇAPRAZ SEVKİYATTA ÜRÜN AKIŞ VE
YERLEŞİM PROBLEMİNİN
BÜTÜNLEŞİK OPTİMİZASYONU**

İlker KÜÇÜKOĞLU



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAPRAZ SEVKİYATTA ÜRÜN AKIŞ VE YERLEŞİM PROBLEMİNİN
BÜTÜNLEŞİK OPTİMİZASYONU**

İlker KÜÇÜKOĞLU

Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2015

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

İlker KÜÇÜKOĞLU tarafından hazırlanan “Çapraz Sevkiyatta Ürün Akış ve Yerleşim Probleminin Bütünleşik Optimizasyonu” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nursel Öztürk

Başkan : Prof. Dr. Nursel Öztürk
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Üye : Prof. Dr. Mehmet Tanyaş
Maltepe Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
Uluslararası Ticaret ve Lojistik Yönetimi Anabilim Dalı
İmza

Üye : Prof. Dr. Erdal Emel
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Akansel
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat Baskak
İstanbul Teknik Üniversitesi
İşletme Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
.../06/2015

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

15/06/2015

İlker KÜÇÜKOĞLU

ÖZET

Doktora Tezi

ÇAPRAZ SEVKİYATTA ÜRÜN AKIŞ VE YERLEŞİM PROBLEMİNİN BÜTÜNLEŞİK OPTİMİZASYONU

İlker KÜÇÜKOĞLU

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK

Küreselleşme kavramının ortaya çıkmasıyla beraber önemi hızla artan ve günümüzde işletmelere rekabet avantajı sağlayabilecek en etkili faktörlerden biri, tedarik zinciri sisteminin yönetimi olmuştur. Bu hızlı ilgi artışının temel sebebi ise günümüzde üretim maliyetlerinin çok fazla değişmediği piyasa koşullarında işletmelerin maliyet tasarruflarını etkili bir tedarik zinciri yönetimi ile sağlıyor olmasıdır. Bu nedenle işletmeler, toplam maliyet üzerinde önemli bir payı olan dağıtım planlamaları için çeşitli metotlar geliştirmektedir. Bu metotlardan birisi olan ve yalın lojistik kavramı neticesinde ortaya çıkan çapraz sevkiyat sistemi, malzeme akışının etkinliğinin artırılması için birçok işletme tarafından ilgi duyulan bir uygulama haline gelmiştir.

Bu tez çalışması, çapraz sevkiyat şebekelerinde üretici noktalarından müşteri noktalarına olan ürün akışları ve yerleşim planlarında toplam taşıma maliyetlerini en aza indirecek bir çözüm yaklaşımı sunmaktadır. Bu kapsamda, çapraz sevkiyat şebekesinde ulaştırma problemi ve çapraz sevkiyat merkezlerinde araç-kapı atama problemi birlikte ele alınmıştır. Şebekede ürün akışlarına ait operasyonel kararların daha gerçekçi oluşturulabilmesi için problemde araçlara ve çapraz sevkiyat merkezi alanlarına ait iki boyutlu yerleşim planları da göz önüne alınmıştır. Çapraz sevkiyatta ürün akış ve yerleşim problemi (ÇSÜAYP) olarak adlandırılan bu probleme ek olarak çalışmada; noktalar arası taşımaları, araç-kapı atamaları ve çapraz sevkiyat merkezlerinde ürün yerleşimi için farklı varsayımlara sahip üç varyasyon oluşturulmuştur. ÇSÜAYP ve varyasyonları, iki farklı modelleme yaklaşımı ile formüle edilmiştir. İlk yaklaşımda, şebekede üreticilerden müşterilere olan ürün akışlarını ve yerleşim planlarını tek seferde belirleyecek bütünleşik bir model geliştirilmiştir. İkinci yaklaşımda ise ürün akış ve yerleşim planları, ÇSÜAYP'yi ulaştırma problemi ve araç kapı atama problemlerine ayrıştırarak iki aşamada oluşturulmaktadır. Matematiksel modeller üzerinde gerçekleştirilen sayısal analizler, kesin çözüm veren yöntemlerin büyük boyutlu problemlerin çözümünde yetersiz kaldığını göstermiştir. Bu nedenle problemin çözümü için hibrit bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmanın oluşturulması esnasında; tavlama benzetimi (TB) algoritması, tabu arama (TA) algoritması, genetik algoritma (GA), diferansiyel gelişim algoritması (DGA) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritması dikkate alınmıştır. Beş temel algoritmanın yanı sıra çalışmada; GA, DGA ve PSO'nun TB ile hibrit yapıları geliştirilmiştir. Ayrıca,

geliştirilen hibrit algoritmaların işlem zamanlarını kısaltmak amacıyla bir hafıza yapısı ve kural tabanlı sistem geliştirilmiştir. Oluşturulan algoritmaların test edilmesi sonucunda en iyi performansı TB ve sıralı çaprazlama (SÇ) yönteminin kullanıldığı GA'dan elde edilen hibrit yapı (HGA-TB-SÇ) göstermiştir. HGA-TB-SÇ, yapılan parametrik analizlerin ardından büyük boyutlu ÇSÜAYP ve varyasyonlarına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, HGA-TB-SÇ'nin ÇSÜAYP ve varyasyonları için kabul edilebilir işlem zamanları içinde etkin sonuçlar bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca; ÇSÜAYP için elde edilen sonuçlar, bütünleşik model yaklaşımının iki aşamalı model yaklaşımına göre daha düşük maliyetli çözümler oluşturulduğunu ortaya çıkarmaktadır. Tez çalışması neticesinde geliştirilen HGA-TB-SÇ ile işletmelerin rekabet gücünü arttırmaları konusunda gerçek hayata ait çapraz sevkiyat uygulamalarında kullanılabilecek etkin bir çözüm yöntemi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çapraz sevkiyat, bütünleşik optimizasyon, sezgisel algoritmalar

2015, xii + 214 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

INTEGRATED OPTIMIZATION FOR MATERIAL FLOW AND PLACEMENT PROBLEM IN CROSS-DOCKING

İlker KÜÇÜKOĞLU

Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK

One of the most influential factor, the importance of which is rapidly growing with the emergence of the globalization agent, and which should provide competitive benefits to the companies, is the management of the supply chain system. The main reason of this rapidly growing interest is that, companies provide their cost savings by an effective supply chain management in today's market circumstances where the production costs are not too diverse. Therefore, companies develop various methods for the distribution planning, which takes a significant part on the total costs. Cross-docking system, which is one of these methods and originated by the lean logistics concept, has become a practice concerned by many companies in order to increase the efficiency of the material flow.

This thesis presents a solution approach that minimizes the total transportation cost on material flow and allocation plans from supplier nodes to customer nodes in cross-docking networks. In this context, the transportation problem of the cross-docking network and truck-door assignment problem of the cross-docking centers are jointly taken into account. In order to generate more realistic operational decisions about the material flows in network, two dimensional placement plans belongs to trucks and cross-docking center areas are also considered for the problem. In addition to this problem, which is entitled as material flow and placement problem in cross-docking (MFPPC), three variations including different assumptions for transportation between the nodes, truck-door assignment and material placement in the cross-docking center area are formed for the study. MFPPC and its variations are formulated by using two different modelling approaches. In the first approach, an integrated model is developed, which specifies the material flows from suppliers to customers and placement plans in network at a time. In the second approach, the material flows and placement plans are specified in two stages by separating the MFPPC into transportation problem and truck-door assignment problem. Computational analyses on mathematical models show that the exact algorithms are insufficient to solve large sized problems. Thus, a hybrid heuristic algorithm is developed to solve the problem. During the formation of the hybrid algorithm, simulated annealing (SA) algorithm, tabu search (TS) algorithm, genetic algorithm (GA), differential evolution algorithm (DEA) and particle swarm optimization (PSO) algorithm are taken into account. Besides the five basic algorithms,

hybrid frameworks of the GA, DEA and PSO with SA are developed. Furthermore, a memory structure and a rule based system are developed to reduce the processing times of the hybrid algorithms. As a result of the tests executed for the proposed algorithms, the hybrid framework of the SA and GA with ordered crossover (OC) method (HGA-SA-OC) displays the best performance. After the parametric analysis, the HGA-SA-OC is applied to the large sized MFPPC and its variations. Computational results show that HGA-SA-OC finds effective solutions to MFPPC and its variations in practical processing times. Additionally, the results achieved for the MFPPC indicates that the integrated model obtains the solutions with lower cost according to the two stage model. As a result of this work, an effective solution method is presented by the proposed HGA-SA-OC that can be used for the real life cross-docking applications in order to improve competitiveness of the companies.

Key words: Cross-docking, integrated optimization, heuristic algorithms

2015, xii + 214 pages.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim ve tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, tecrübelerini aktararak bana yol gösteren ve her zaman destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nursel Öztürk'e,

Tez izleme komitesinde yer alarak kıymetli zamanlarını ayıran ve çalışmamın yönlendirilmesinde katkıları olan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Mehmet Tanyaş ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet Akansel'e,

Tez savunma sınavımda yer alarak yapmış oldukları önerilerinden dolayı Prof. Dr. Erdal Emel ve Yrd. Doç. Dr. Murat Baskak'a,

Çalışmalarım boyunca desteklerini ve dostluklarını benden esirgemeyen başta Alkın Yurtkuran olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma,

Beni yetiştirerek bugünlere gelmemi sağlayan, yol gösteren, maddi ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan, tüm engellere göğüs geren babam Abdulgani Küçüköğlü'na; hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim annem Nihayet Küçüköğlü'na ve sevgili ablam Zeynep Kır'a,

Manevi desteği ile hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan, çalışmalarımın her aşamasında anlayışı, sabrı ve güler yüzüyle bana güç veren sevgili eşim, hayat arkadaşım Ayça Küçüköğlü'na,

Doktora eğitimim süresince bana destek olan ve bundan sonra da her zaman yanımda olacağını bildiğim Aysun Yurttaş'a,

Lisansüstü eğitimim boyunca maddi destek sağlayan TÜBİTAK-BİDEB'e ve Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne,

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında yardımcı olan ve ismini yazamadığım herkese en içten teşekkürlerimi sunarım.

İlker Küçüköğlü

15/06/2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1. Çapraz Sevkiyat Merkezi Yer Seçimi.....	10
2.2. Çapraz Sevkiyat Merkezi Alanının Yerleşim Planı	12
2.3. Çapraz Sevkiyat Şebeke Tasarımı	13
2.4. Çapraz Sevkiyat Araç Rotalama	16
2.5. Çapraz Sevkiyat Merkezlerinde Araç-Kapı Atama	18
2.6. Çapraz Sevkiyat Araç Çizelgeleme	21
2.7. Çapraz Sevkiyat Merkezlerinde Malzeme Yerleşim Planlaması.....	27
2.8. Çapraz Sevkiyat Diğer Konular	28
3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELİ	29
3.1. ÇSÜAYP'ye Ait Bütünleşik Model.....	32
3.2. ÇSÜAYP'ye Ait İki Aşamalı Model	42
3.2.1. Model 1: Çapraz sevkiyat şebeke tasarımında ulaştırma problemi	42
3.2.2. Model 2: Çapraz sevkiyat araç-kapı atama problemi	45
3.3. Çapraz Sevkiyat Ürün Akış ve Yerleşim Problemine Ait Varyasyonlar	49
3.3.1. Çapraz sevkiyat merkezlerinde kapıların karışık düzende olma durumu ..	49
3.3.2. Çapraz sevkiyat merkezi alanlarında ürünlerin raflara atanması durumu .	54
3.3.3. Çapraz sevkiyat araç rotalama problemi.....	58
4. PROBLEM ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMALAR.....	68
4.1. Öncelik Sırasına Sahip Çözüm Kodlama Sistemi.....	68
4.2. Tavlama Benzetimi Algoritması	80
4.3. Tabu Arama Algoritması	82
4.4. Genetik Algoritma	84
4.4.1. Başlangıç popülasyonu ve kodlama.....	86
4.4.2. Seçim	86
4.4.3. Çaprazlama	89
4.4.4. Mutasyon	95
4.5. Diferansiyel Gelişim Algoritması.....	96

4.6. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritması	99
4.7. Geliştirilen Hibrit Algoritmalar	102
4.7.1. Hafıza yapısı ve kural tabanlı sistem	104
4.7.2. Hibrit genetik algoritma.....	106
4.7.3. Hibrit diferansiyel gelişim algoritması	107
4.7.4. Hibrit parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması	108
5. SAYISAL UYGULAMALAR.....	111
5.1. Matematiksel Modelin Geçerliliğinin ve Etkinliğinin Test Edilmesi	111
5.1.1. Model çıktıları.....	111
5.1.2. Bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modelin karşılaştırılması.....	116
5.1.3. Büyük boyutlu problemlerde iki aşamalı modelin performansı	119
5.2. ÇSÜAYP İçin Geliştirilen Algoritmaların Performans Analizleri	121
5.2.1. Algoritmaların temel yapılarına ait performans analizleri.....	121
5.2.2. Geliştirilen hibrit algoritmalara ait performans analizleri	128
5.2.3. HGA-TB-SÇ'nin parametrik analizleri	134
5.3. HGA-TB-SÇ'nin Büyük Boyutlu Problemler İçin Performans Analizi	139
5.3.1. ÇSÜAYP-KKD için elde edilen sonuçlar.....	142
5.3.2. ÇSÜAYP-ÜRA için elde edilen sonuçlar	145
5.3.3. ÇSÜAYP-ARP için elde edilen sonuçlar.....	152
6. SONUÇ	155
KAYNAKLAR	159
EKLER.....	172
EK 1 Küçük Boyutlu Problemlerde Algoritmaların Temel Yapılarına Ait Sonuçlar ...	173
EK 2 ÇSÜAYP İçin Geliştirilmiş Olan Alternatif Algoritmalara Ait Sonuçlar	178
EK 3 HGA-TB-SÇ'nin Parametrik Analizlerine Ait Sonuçlar.....	198
EK 4 ÇSÜAYP-ÜRA İçin HGA-TB-SÇ İle Elde Edilen Sonuçlar	210
ÖZGEÇMİŞ	213

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
BI	Belirli iyileşme sayısı
c	Tavlama benzetimi algoritmasına ait soğuma parametresi
c_1	Parçacık sürüsü optimizasyonuna ait öğrenme faktörü
c_2	Parçacık sürüsü optimizasyonuna ait öğrenme faktörü
CO	Genetik algoritma ve diferansiyel gelişim algoritmasına ait çaprazlama oranı
EO	Genetik algoritmaya ait elitizm oranı
F	Diferansiyel gelişim algoritmasına ait ölçekleme faktörü
HL	Hafıza listesi
KS	Tabu arama algoritmasına ait komşuluk sayısı
MI	Maksimum iterasyon sayısı
MO	Genetik algoritma ve diferansiyel gelişim algoritmasına ait mutasyon oranı
PB	Genetik algoritma ve diferansiyel gelişim algoritmasına ait popülasyon büyüklüğü
PS	Parçacık sürüsü optimizasyonuna ait parçacık sayısı
r_1	Meta-sezgisel algoritmalarda kullanılan rassal sayı
r_2	Meta-sezgisel algoritmalarda kullanılan rassal sayı
r_3	Meta-sezgisel algoritmalarda kullanılan rassal sayı
T	Tavlama benzetimi algoritmasına ait sıcaklık değeri
TSO	Genetik algoritmaya ait turnuva seçim oranı
TU	Tabu arama algoritmasına ait tabu listesi uzunluğu
w	Parçacık sürüsü optimizasyonuna ait atalet ağırlık parametresi
Δ	Tavlama benzetimi algoritmasında yeni çözüm ile mevcut çözüm arasındaki uygunluk değeri farkı
η	Tabu arama algoritmasına ait çözüm vektörü
η'	Tabu arama algoritması ile elde edilen yeni çözüm vektörü
η^*	Tabu arama algoritmasına ait en iyi çözüm vektörü
q_i	Parçacık sürüsü optimizasyonunda i parçacığına ait hız vektörü
ϕ	Tavlama benzetimi algoritmasına ait çözüm vektörü
ϕ'	Tavlama benzetimi algoritması ile elde edilen yeni çözüm vektörü
ϕ^*	Tavlama benzetimi algoritmasına ait en iyi çözüm vektörü
χ_i	Genetik algoritmaya ait i bireyi
χ^{best}	Genetik algoritmaya ait en iyi birey
ψ_i	Diferansiyel gelişim algoritmasına ait i dizisi
ψ_i'	Diferansiyel gelişim algoritmasına ait i ara dizisi
ψ_i''	Diferansiyel gelişim algoritmasında üretilen i yeni dizisi
ψ_i	Diferansiyel gelişim algoritmasında üretilen i yeni dizisi
ψ_{ij}	Diferansiyel gelişim algoritmasında i dizisine ait j değişkeni
ψ_j^L	Diferansiyel gelişim algoritmasında j değişkenine ait alt sınır değeri

Simgeler	Açıklama
ψ_j^U	Diferansiyel gelişim algoritmasında j değişkenine ait üst sınır değeri
Φ_i	Parçacık sürüsü optimizasyonunda i parçacığının konumu
Φ_i'	Parçacık sürüsü optimizasyonunda i parçacığının yeni konumu
Φ_i''	Parçacık sürüsü optimizasyonunda i parçacığının en iyi konumu
Φ^*	Parçacık sürüsü optimizasyonunda parçacıkların bulunduğu en iyi konum

Kısaltmalar	Açıklama
AFD	Amaç Fonksiyonu Değeri
ARP	Araç Rotalama Problemi
ÇSM	Çapraz Sevkiyat Merkezi
ÇSÜAYP	Çapraz Sevkiyatta Ürün Akış ve Yerleşim Problemi
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
EMA	Elektromanyetik Algoritma
GA	Genetik Algoritma
HGA	Hibrit Genetik Algoritma
HKDGA	Hibrit Kesikli Diferansiyel Gelişim Algoritması
HKSPO	Hibrit Kesikli Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
HPSO	Hibrit Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
KAS	Kullanılan Araç Sayısı
KDGA	Kesikli Diferansiyel Gelişim Algoritması
KEÇ	Kısmi Eşleştirilmiş Çaprazlama
KKD	Karışık Kapı Düzeni
KKO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
KPSO	Kesikli Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
PSO	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
PTÇ	Pozisyon Temelli Çaprazlama
SÇ	Sıralı Çaprazlama
SS	Standart Sapma
STÇ	Sıra Temelli Çaprazlama
TA	Tabu Arama
TB	Tavlama Benzetimi
TS	Toplam Saniye
ÜRA	Ürünlerin Raflara Atanması Durumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çapraz sevkiyat sisteminin yapısal gösterimi.....	6
Şekil 2.2. Çapraz sevkiyat konusunda yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı.....	8
Şekil 3.1. Tanımlanan probleme ait örnek bir şebeke tasarımı.....	31
Şekil 3.2. Çapraz sevkiyatta araç-kapı atamasına örnek bir gösterim.....	32
Şekil 3.3. ÇSM alanlarında karışık kapı düzenine örnek gösterim.....	50
Şekil 3.4. Çapraz sevkiyat merkezi alanlarında ürün atamalarına örnek gösterim.....	55
Şekil 3.5. Çapraz sevkiyatta araç rotalama problemine örnek gösterim (tek merkez)..	60
Şekil 3.6. Çapraz sevkiyatta araç rotalama problemine örnek gösterim (çok merkez).	60
Şekil 4.1. Matris kodlama sistemine örnek bir gösterim.....	69
Şekil 4.2. Liu ve ark. (2008) tarafından geliştirilen kodlama sistemi.....	69
Şekil 4.3. Tek aşamalı ulaştırma probleminin öncelik sırası ile kodlanması.....	70
Şekil 4.4. İki aşamalı ulaştırma probleminin öncelik sırası ile kodlanması.....	71
Şekil 4.5. Tersine lojistik ağ tasarımına ait öncelik sırasına sahip kodlama sistemi	72
Şekil 4.6. Miao ve ark. (2012) tarafından geliştirilen iki aşamalı kodlama sistemi.....	73
Şekil 4.7. Geliştirilen öncelik sırasına sahip kodlama sistemi.....	75
Şekil 4.8. Aşağı sol algoritması ile oluşturulmuş örnek bir yerleşim planı.....	76
Şekil 4.9. Bir ürünün belirli alana yerleştirilmesi sonucu oluşan olası pozisyonlar	77
Şekil 4.10. Bütünleşik modelde amaç fonksiyon değeri hesaplamasına ait sözel kod ...	78
Şekil 4.11. Model 1 için amaç fonksiyon değeri hesaplamasına ait sözel kod.....	79
Şekil 4.12. Model 2 için amaç fonksiyon değeri hesaplamasına ait sözel kod.....	79
Şekil 4.13. Tavlama benzetimi algoritmasının temel yapısına ait sözel kod.....	81
Şekil 4.14. Yer değiştirme, ters çevirme ve kaydırma metotlarına ait örnek gösterim...	82
Şekil 4.15. Tabu arama algoritmasının temel yapısına ait sözel kod.....	84
Şekil 4.16. Genetik algoritmanın temel yapısına ait sözel kod.....	85
Şekil 4.17. Genetik algoritma için kullanılan kodlama sistemleri.....	87
Şekil 4.18. Rulet tekeri seçim yöntemi için örnek bir grafik.....	88
Şekil 4.19. Tek noktalı çaprazlama.....	90
Şekil 4.20. Çift noktalı çaprazlama.....	91
Şekil 4.21. Tek düzen çaprazlama.....	91
Şekil 4.22. Geliştirilmiş tek noktalı çaprazlama yöntemi.....	92
Şekil 4.23. Kısmi eşleştirilmiş çaprazlama yöntemi.....	93
Şekil 4.24. Sıralı çaprazlama yöntemi.....	93
Şekil 4.25. Sıra temelli çaprazlama yöntemi.....	94
Şekil 4.26. Pozisyon temelli çaprazlama yöntemi.....	95
Şekil 4.27. Diferansiyel gelişim algoritmasının temel yapısına ait sözel kod.....	97
Şekil 4.28. Kesikli diferansiyel gelişim algoritmasında örnek bir mutasyon işlemi.....	99

Şekil 4.29. Kesikli diferansiyel gelişim algoritmasına ait sözel kod	99
Şekil 4.30. Parçacık sürüsü optimizasyonunun temel yapısına ait sözel kod	101
Şekil 4.31. Kesikli parçacık sürüsü optimizasyonuna ait sözel kod	103
Şekil 4.32. Ağaç ve dizi sisteminde hafıza yapıları	104
Şekil 4.33. Geliştirilen hafıza yapısına ait örnek bir gösterim.....	105
Şekil 4.34. Hibrit genetik algoritmaya ait sözel kod.....	107
Şekil 4.35. Hibrit diferansiyel gelişim algoritmasına ait sözel kod	108
Şekil 4.36. Hibrit parçacık sürüsü optimizasyonuna ait sözel kod	109
Şekil 4.37. Hibrit kesikli parçacık sürüsü optimizasyonuna ait sözel kod.....	110
Şekil 5.1. Örnek problemde bütünlük modele ait şebeke tasarımının gösterimi	114
Şekil 5.2. Örnek problemde bütünlük modele ait araç yerleşim planları	115
Şekil 5.3. Örnek problemde birinci ÇSM alanı için ürün akış planları.....	115
Şekil 5.4. Örnek problemde ikinci ÇSM alanı için ürün akış planları	116
Şekil 5.5. TB, TA, GA, DGA ve PSO'ya ait ortalama amaç fonksiyon değerleri.....	125
Şekil 5.6. TB, TA, GA, DGA ve PSO'ya ait ortalama işlem zamanları	125
Şekil 5.7. Algoritmalarda hafıza yapısının bütünlük model üzerindeki etkisi	129
Şekil 5.8. Algoritmalarda hafıza yapısının iki aşamalı model üzerindeki etkisi.....	129
Şekil 5.9. Örnek bir problem için iterasyon – zaman grafiği	130
Şekil 5.10. Uygulama yapılan depo alanına ait yerleşim planı	146
Şekil 5.11. Uygulama yapılan depo alanına ait raf yerleşim düzeni.....	147
Şekil 5.12. ÇSÜAYP-ÜRA için elde edilen ortalama maliyetler	151
Şekil 5.13. ÇSÜAYP-ÜRA için elde edilen ortalama işlem zamanları	151

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çapraz sevkiyat konusunda yapılan çalışmalar	9
Çizelge 4.1. Örnek bir popülasyona ait uygunluk değerleri.....	88
Çizelge 4.2. Hibrit genetik algoritma için oluşturulan alternatif yapılar	106
Çizelge 5.1. Örnek bir probleme ait veriler.....	112
Çizelge 5.2. Örnek problemde bütünlük modeline ait şebeke tasarım sonuçları.....	113
Çizelge 5.3. Örnek problemde bütünlük modeline ait yerleşim planları	113
Çizelge 5.4. Gurobi 5.5 ile küçük boyutlu problemler için elde edilen sonuçlar.....	118
Çizelge 5.5. Yüksek alan içi taşıma maliyetlerinde matematiksel model sonuçları ...	119
Çizelge 5.6. Büyük boyutlu problemlerde iki aşamalı modelin sonuçları	120
Çizelge 5.7. Küçük boyutlu problemlere ait optimum sonuçlar	122
Çizelge 5.8. Algoritmaların karşılaştırılmasında kullanılan parametre değerleri	122
Çizelge 5.9. Beş temel algoritmanın bütünlük model için genel performansı.....	124
Çizelge 5.10. Beş temel algoritmanın iki aşamalı model için genel performansı.....	125
Çizelge 5.11. Algoritmalara ait ortalamaların ikili karşılaştırması	127
Çizelge 5.12. 20 adet küçük boyutlu problem için algoritmaların genel performansı..	131
Çizelge 5.13. HGA-TB-SÇ için test edilen parametre değerleri.....	134
Çizelge 5.14. Parametre analizi için oluşturulan deneysel tasarım ve sonuçları	136
Çizelge 5.15. T , c , TSO , MO ve CO parametreleri için yapılan test sonuçları.....	138
Çizelge 5.16. Büyük boyutlu ÇSÜAYP için homojen filo ile elde edilen sonuçlar	140
Çizelge 5.17. Büyük boyutlu ÇSÜAYP için heterojen filo ile elde edilen sonuçlar	141
Çizelge 5.18. Küçük boyutlu ÇSÜAYP-KKD için elde edilen sonuçlar	143
Çizelge 5.19. Büyük boyutlu ÇSÜAYP-KKD için elde edilen sonuçlar	144
Çizelge 5.20. Uygulama için dikkate alınan varsayım ve değer aralıkları.....	149
Çizelge 5.21. Ürünlerin raflara atanması için oluşturulan kurallar	150
Çizelge 5.22. ÇSÜAYP-ÜRA için elde edilen genel sonuçlar	150
Çizelge 5.23. ÇSÜAYP-ARP için elde edilen sonuçlar.....	154

1. GİRİŞ

Günümüzde küreselleşme ile birlikte artan rekabet ortamı sonucunda işletmelerin, uzun dönemde yaşamlarını sürdürebilmek, kâr edebilmek ve rekabet gücünü yükseltebilmek için müşteri taleplerini, müşteri istekleri doğrultusunda karşılaması gerekmektedir. Tedarik zincirinde alınacak kararların tam merkezinde bulunan müşteri taleplerini en hızlı şekilde karşılayabilmek ve rekabet gücünü arttırabilmek için işletmeler birçok teknik geliştirmektedirler. Yalın düşünce kavramı, bu teknikler içerisinde Japonya’da uygulanmaya başlayıp zamanla tüm dünyada yaygın olarak kullanılan ve etkin sonuçlar veren tekniklerden birisidir.

Yalın kavramı; ihtiyaç duyulmayan, israf olarak nitelendirilen her şeyden arındırılmak anlamına gelmektedir. Bu nedenle yalın üretim ve bu kavramla ilişkili olan yalın organizasyon, yalın yönetim veya yalın lojistik gibi benzer kavramların temelinde sisteme yük getiren tüm israflardan arınma düşüncesi yatmaktadır (Shah ve Ward 2003).

Tüm dünyada yayılan yalın üretim metodu ile üreticiler yüksek esneklik, etkinlik ve düşük maliyetli üretim sağlamak için çaba göstermektedirler. Günümüz koşullarında istenen kalitede ürünlerin düşük maliyetle üretilmesinin yanı sıra, etkin bir lojistik sistemi ile en son kullanıcıya zamanında ulaştırılması da gerekmektedir. Çünkü tedarik zincirinin etkinliğini belirleyen en önemli faktörlerden birisi de, toplam maliyetlerin önemli bir kısmını içeren dağıtım sürecidir.

Malzeme akışının etkinliğinin arttırılması amacıyla işletmeler birçok yöntem geliştirmektedir. Bunlardan birisi olan yalın lojistik kavramı; lojistik alanındaki israfları azaltarak istenilen servis düzeyinde ve en düşük maliyetle, ham maddenin, süreç içi stokların ve bitmiş ürünlerin fiziki yerleşimini ve hareketliliğini kontrol etmeyi hedef alan bir yaklaşımdır (Jones ve ark. 1997).

Bu tez çalışmasında, son yıllarda ilgi duyulan ve yalın lojistik uygulamaları içinde yer alan çapraz sevkiyat konusu dikkate alınmış ve çapraz sevkiyat sisteminin günümüze kadar olan gelişimi detaylı bir şekilde incelenerek geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, henüz uygulama açısından yeni sayılabilecek bu çalışma alanı içerisinde

taşıma maliyetlerinin düşürülmesi ve müşteri memnuniyetlerinin geliştirilmesi açısından çapraz sevkiyatta ürün akış ve yerleşim problemi (ÇSÜAYP) bütünleşik olarak incelenmiştir. Bu yaklaşım ile üreticilerden müşterilere olan malzeme akışı kesintisiz olarak planlanmakta ve yerleşim planları ile operasyonel kararlar daha gerçekçi oluşturulmaktadır. Yapılan çalışmada, çapraz sevkiyat sisteminin geliştirilmesinin yanı sıra, dikkate alınan problem için etkin bir çözüm yönteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda problemin çözümü için tavlama benzetimi (TB) algoritması, tabu arama (TA) algoritması, genetik algoritma (GA), diferansiyel gelişim algoritması (DGA) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritması dikkate alınmıştır. Bu algoritmaların temel yapılarının yanı sıra, problemde daha iyi çözümü daha kısa sürede elde etmek amacıyla çeşitli hibrit algoritmalar oluşturulmuş ve yapılan sayısal analizler ile en iyi hibrit algoritma belirlenmiştir. Yapılan kaynak araştırması neticesinde bugüne kadar çapraz sevkiyat konusunda yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmanın literatüre ve uygulama alanına olan temel katkıları aşağıda açıklanmıştır:

- Çapraz sevkiyat konusunda; ürünlerin üreticilerden müşterilere olan akışında ulaştırma problemi ve araç-kapı atama problemi bütünleşik olarak dikkate alınmıştır.
- Çapraz sevkiyatta ürün akışlarına ait operasyonların daha gerçekçi planlanabilmesi için lokasyonlar arasında taşımaları gerçekleştiren araçlara ait yükleme planları ve çapraz sevkiyat merkezi (ÇSM) alanlarında ürün yerleşim planları iki boyutlu fiziksel kısıtlar dahilinde ele alınmıştır.
- Bu denli kapsamlı bir planlamayı göz önüne alan ÇSÜAYP ve çalışmada incelenen diğer problemler için doğrusal yapıya sahip iki farklı matematiksel model geliştirilmiştir.
- Problemlerin çözümü için etkinliği kanıtlanmış olan meta-sezgisel algoritmalar dikkate alınmış ve bu algoritmaların hibrit yapıları oluşturulmuştur. Yine bu hibrit algoritmalarda, işlem zamanlarını kısaltmak amacıyla yardımcı sistemler geliştirilmiştir.
- Sayısal uygulama kısmında, yapılan detaylı analiz ve deneysel tasarım çalışmalarının yanı sıra gerçek bir sistemden elde edilen verilerin kullanıldığı bir uygulamaya yer verilmiştir.

- Gerçek hayattaki çapraz sevkiyat uygulamalarında operasyonel kararların oluşturulması ve toplam maliyetlerin düşürülmesi konusunda etkili bir ürün akış ve yerleşim planı sunarak işletmelere rekabet gücü sağlayacak çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir.

Tezin ilerleyen kısımları; kaynak araştırması, problem tanımı ve matematiksel modeli, problem çözümü için geliştirilen algoritmalar, sayısal uygulama ve sonuç bölümlerinden oluşmakta olup bu bölümler aşağıda özetlenmiştir.

İkinci bölümde, çapraz sevkiyat sisteminin genel yapısı tanımlanmış ve bu konuda günümüze kadar yapılmış olan çalışmalara ait literatür araştırması detaylı bir şekilde verilmiştir. İlgili bölümde konuyla ilgili kaynaklar; stratejik, taktik ve operasyonel karar alma süreçlerinde dikkate aldıkları temel problem tiplerine göre sınıflandırılmıştır. Her bir problem tipi için yapılan çalışmalar bu kısımda özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde, ÇSÜAYP ayrıntılı bir şekilde tanımlanmış ve probleme ilişkin iki ayrı modelleme yaklaşımı geliştirilmiştir. Bütünleşik model adı verilen ilk yaklaşımda ürün akışları ve yerleşim planları üretici noktalarından müşteri noktalarına kadar kesintisiz olarak oluşturulmaktadır. Geliştirilen iki aşamalı modelde ise ilk olarak çapraz sevkiyat şebekesinde ulaştırma problemi dikkate alınmaktadır. Bu modelde, üreticiden çapraz sevkiyat merkezlerine ve çapraz sevkiyat merkezlerinden müşterilere olan ürün akışı ve araç yerleşim planları göz önüne alınmaktadır. İki aşamalı modelin ikinci aşamasında ise, birinci modelden elde edilen planlara göre çapraz sevkiyatta araç-kapı atama problemi ve alan içi yerleşim problemi dikkate alınmaktadır. Ayrıca bu bölümde, çapraz sevkiyat konusunda çalışılmış olan farklı taşıma ve yerleşim stratejileri dikkate alınmıştır. Bu stratejiler dahilinde ÇSÜAYP'yi temel alan üç farklı senaryo oluşturulmuş ve bu problemler bütünleşik ve iki aşamalı olmak üzere matematiksel olarak formüle edilmiştir.

Dördüncü bölümde ilk olarak, ÇSÜAYP'nin çözümü için kullanılacak algoritmalarda ürün akışlarını ve yerleşimlerini ifade edecek kodlama sistemi gösterilmiştir. Ardından, ÇSÜAYP ve varyasyonlarının çözümü için dikkate alınan TB, TA, GA, DGA ve PSO'nun temel yapıları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Son olarak bu bölümde,

problem için daha etkin bir çözüm elde etmek amacıyla geliştirilen hibrit (melez) algoritmalar ve bu algoritmalarda kullanılan yardımcı fonksiyonlar yer almaktadır.

Sayısal analizlerin yapıldığı beşinci bölüm üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, ÇSÜAYP için geliştirilmiş olan bütünleşik ve iki aşamalı modelin geçerliliği ve etkinliği test edilmiştir. Bu kısımda, modellerin çıktıları analiz edilerek sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Yine bu kısımda matematiksel model kullanılarak kesin çözüm veren yöntemlerin büyük boyutlu problemler üzerindeki etkinliği analiz edilmiştir. Yapılan sayısal uygulamaların ikinci kısmında, problemin çözümü için geliştirilen algoritmaların temel yapıları ve hibrit algoritmalar küçük boyutlu problemler üzerinde test edilmiştir. Ardından, elde edilen sonuçlara göre problemin çözümünde kullanılmasına karar verilen hibrit algoritmanın parametrik analizleri yapılmıştır. Son kısımda ise nihai olarak belirlenen algoritmanın büyük boyutlu ÇSÜAYP ve varyasyonları için performans analizleri yapılmıştır. Ayrıca bu bölümde, Bursa'da faaliyet gösteren bir lojistik işletmesinden elde edilerek gerçek verilerin kullanıldığı uygulamaya da yer verilmiştir.

Tezin son bölümünde ise yapılan çalışmalar özetlenmiş, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmış, sayısal uygulamalar ile elde edilen sonuçların literatüre olan katkısı irdelenmiştir.

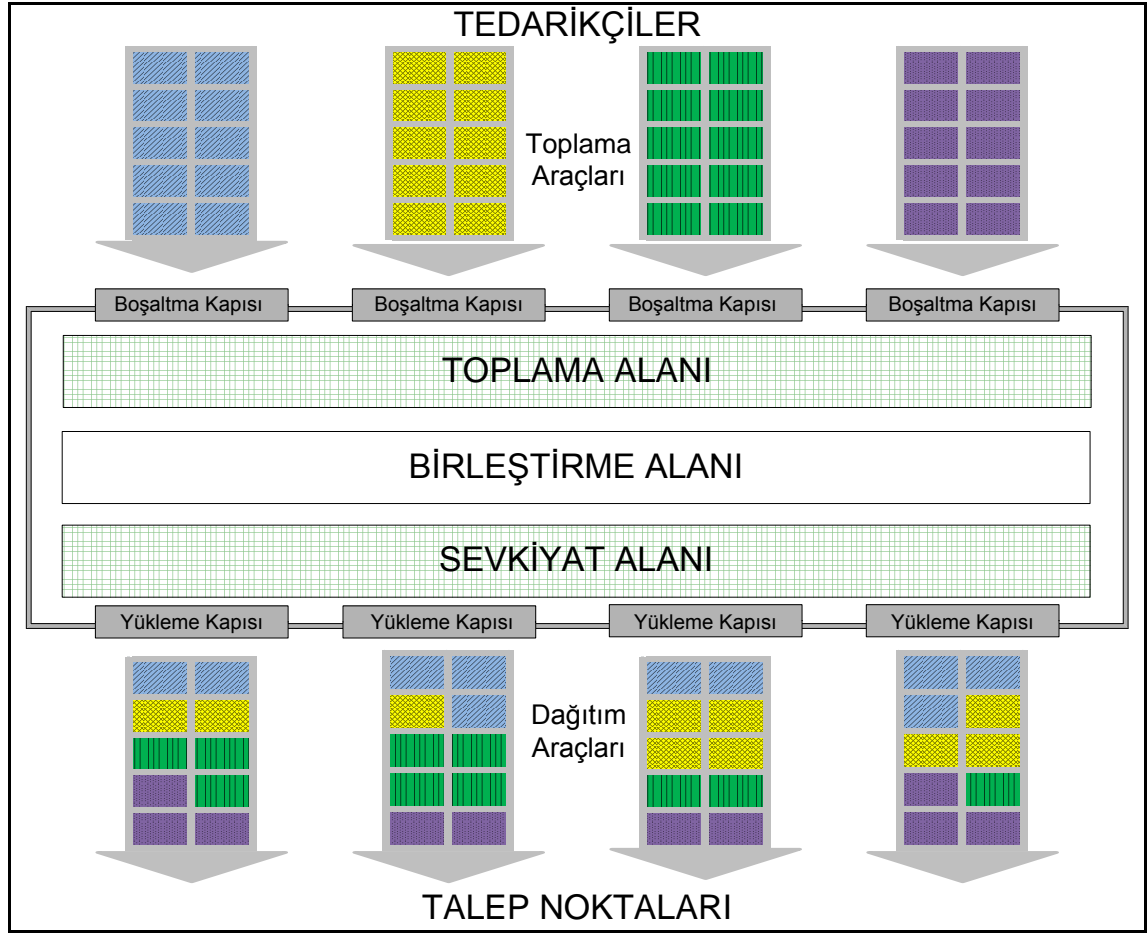
2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çapraz sevkiyat son yıllarda yalın üretim ve yalın lojistik çalışmalarının neticesinde ortaya çıkmış ve birçok işletme tarafından kullanılan bir lojistik stratejisi olmuştur. Çapraz sevkiyatın altında yatan ana prensip; tedarikçilerden gelen malzemelerin araçlardan boşaltıldıktan sonra sıfır stok ile doğrudan veya 24 saatten az kalacak bir süre için stoklanmasının ardından müşterilere gidecek araçlara yüklenerek taşımaların sağlanmasıdır (Reeves 2007, Agustina ve ark. 2010, Yang ve ark. 2010, Madani-Isfahani ve ark. 2014).

Geleneksel dağıtım sisteminde malzemeler ilk olarak depolarda teslim alınmakta ve palet, kutu vb. biçimlerde stoklanmaktadır. Ardından gelen siparişlere göre malzemeler, depoda olan stoklardan çekilerek müşterilere dağıtım yapılmaktadır. Klasik depolama mantığında yer alan bu dört ana fonksiyondan (teslim alma, stoklama, sipariş hazırlama ve taşıma), stoklama ve sipariş hazırlama içlerinde en maliyetli fonksiyonlardandır. Geleneksel depolama stratejisinin alternatifi olan çapraz sevkiyat stratejisi, gelen malzemeleri bekletmeden doğrudan gönderme veya 24 saatten az bir süre bekletme prensibi ile depolama ve sipariş oluşturma işlemlerinden kaynaklanan maliyetleri ortadan kaldırmaktadır (Van Belle ve ark. 2012).

Çapraz sevkiyatın iki anahtar noktası, eşzamanlı varışlar ve çapraz sevkiyat alanı içerisinde yapılan birleştirme işlemleridir. Çapraz sevkiyat sisteminin sınıflandırılması konusunda literatürde birçok karakteristik özellik belirtilmektedir. Yaygın olarak yapılan bir sınıflandırma, ürünlerin ÇSM alanında akışına göre tek aşamalı ve iki aşamalı olarak sınıflandırılmasıdır (Van Belle ve ark. 2012). Tek aşamalı çapraz sevkiyat sisteminde ürünler toplama araçlarından boşaltıldıktan sonra direkt olarak dağıtım araçlarına yüklenirler. İki aşamalı sistemde ise ürünler toplama araçlarından boşaltıldıktan sonra ÇSM alanında sıralanır ve belirli bir alanda bekletilir. İki aşamalı sistemde ürünler birden fazla işlem gördüğünden dolayı bir bekleme zamanı ortaya çıkmaktadır. İki aşamalı çapraz sevkiyat sistemi yapısal olarak Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Çapraz sevkiyat sisteminde alana gelen bir malzemenin, genellikle, en fazla 24 saat bekletilmesine izin verilmekte ve dağıtım işlemine giden araçlara göre birleştirme yapılarak alandan çıkışı sağlanmaktadır. Bu sayede depolama için ayrılan

alanların büyük bir kısmı transfer noktalarına dönüşerek ürün akışında büyük bir avantaj elde edilmektedir (Agustina ve ark. 2010, Vogt 2010, Yang ve ark. 2010).



Şekil 2.1. Çapraz sevkiyat sisteminin yapısal gösterimi

Çapraz sevkiyatın işletmelere kazandırdığı önemli avantajların bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Van Belle ve ark. 2012):

- Depolama işleminin ortadan kaldırılması sonucu stok seviyelerinde azalma.
- Ürün akış hızında artış.
- Daha az hacimde ve daha sık aralıklarla teslimat imkânı.
- Bekleme alanlarının depolama alanlarına göre daha az yer gerektirmesi nedeniyle tesis dağıtım kapasitesinin artması.
- Daha az miktarda stok ve daha hızlı ürün akışı ile stokların bozulma, modasının geçme ve değerini kaybetme risklerinde azalma.

Yukarıda belirtilen avantajların işletmelerin rekabet edebilirliğini önemli ölçüde arttırması nedeniyle çapraz sevkiyat konusu ilgi çeken bir konu olmaktadır. Fakat bu avantajların yanı sıra çapraz sevkiyat sisteminin olası dezavantajları da aşağıda verilmektedir (Ertek 2005):

- Düşük stok düzeyinde sistemde oluşabilecek bir aksaklık, stokta ürün kalmaması ile sonuçlanabilir ve bu durum oldukça maliyetli olabilir.
- Sistemde ürün akışının sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için araçların önceden tahsis edilmiş olması gerekmektedir.
- Çapraz sevkiyat sonucunda oluşacak iş gücü azalması, sendikalar tarafından tepki ve direnç gösterilmesine yol açabilir.

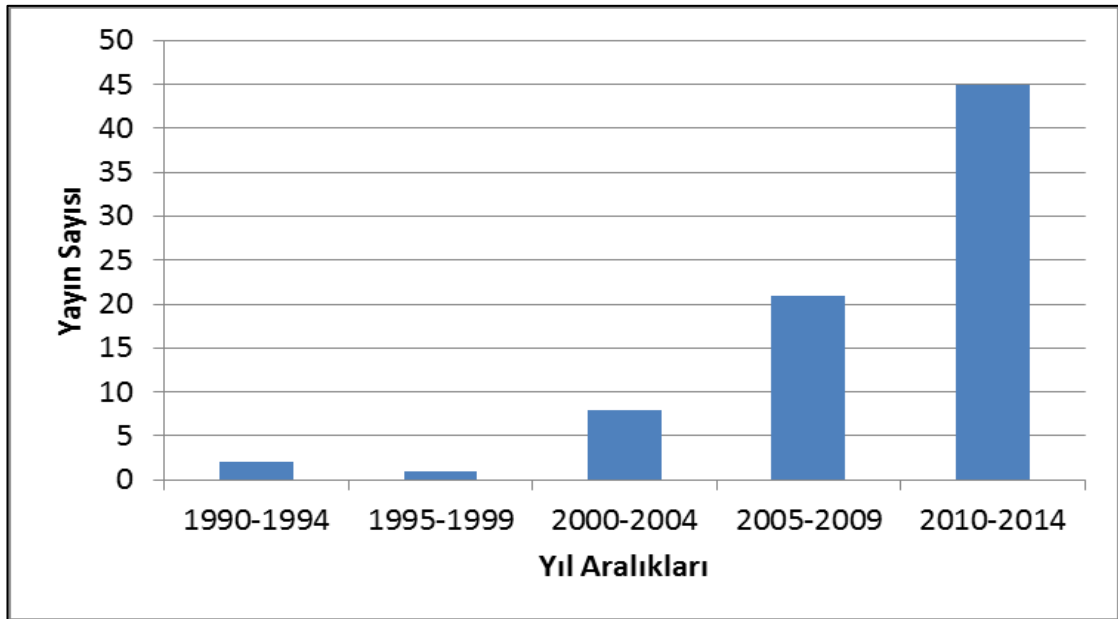
Çapraz sevkiyatın tasarımı ve işletilmesi aşamalarında işletmeler birçok karar alma sürecinden geçerler. Bu kararlar uzun dönemi kapsayan stratejik ve taktik kararlar olabileceği gibi, anlık düşünülmesi gereken operasyonel kararlar da olabilmektedir. Karar alma süreci ne olursa olsun, alınacak kararların sistemin verimliliği üzerinde ciddi bir etkisi olacağından bu çalışmaların çok dikkatli yapılması gerekmektedir (Buijs ve ark. 2014).

Stratejik karar alma sürecinde planlanması gereken konu, ÇSM'nin nerede kurulacağı ve ÇSM alanının yerleşim planı veya yerleşim şeklidir. Kurulacak olan ÇSM, içerisinde bir veya birden fazla ÇSM'nin de bulunabileceği bir tedarik zincirinin parçası olabilir. Bu şebeke içerisinde müşteri talepleri doğrultusunda malzeme akışlarının kontrolünü sağlayacak ve maliyetleri minimize edecek taktik kararların alınması gerekmektedir. Operasyonel karar alma sürecinde ise malzeme akışının anlık değişimlere göre planlanması gerekmektedir. Van Belle ve ark. (2012), yapmış oldukları literatür araştırmasında çapraz sevkiyat konusunda dikkate alınan problemleri aşağıdaki şekilde gruplandırmışlardır:

- Çapraz sevkiyat merkezi yer seçimi
- Çapraz sevkiyat merkezi alanının yerleşim planı
- Çapraz sevkiyatta şebeke tasarımı
- Çapraz sevkiyatta araç rotalama
- Çapraz sevkiyat merkezlerinde araç-kapı atama

- Çapraz sevkiyatta araç çizelgeleme
- Çapraz sevkiyat merkezlerinde malzeme yerleşim planlaması
- Çapraz sevkiyatta diğer konular

Yapılan kaynak araştırması neticesinde, çapraz sevkiyat problemlerine ait bulunan çalışmalar Çizelge 2.1’de verilmiş olup bu kaynakların yıllara göre dağılımı Şekil 2.2’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Yapılan bu sınıflandırma tablosu ve yayın sayısı dağılımı grafiği iki önemli sonucu ortaya koymaktadır. Birincisi, çapraz sevkiyat konusunda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu çapraz sevkiyatta araç çizelgeleme problemini dikkate almaktadır. Dolayısıyla, çapraz sevkiyatta operasyonel karar alma süreçlerinden şebeke tasarımı, araç rotalama, araç-kapı atama ve malzeme yerleşim planlaması gibi konular çizelgeme problemine nazaran araştırmaya daha çok açık olan potansiyel konulardır. Aynı şekilde, çapraz sevkiyatta stratejik karar alma süreçlerinden yer seçimi ve yerleşim planları da çalışılabilecek potansiyel konular arasında yer almaktadır. İkinci önemli sonuç ise çapraz sevkiyat konusunda yapılan çalışmalar 2000 yılından sonra hız kazanmış ve özellikle 2010 yılından itibaren oldukça artmıştır. Bu da çapraz sevkiyat konusunun günden güne ilgi çekici bir lojistik uygulaması haline geldiğini göstermektedir. Bu bölümün ilerleyen kısımlarında, çapraz sevkiyat problemlerine ait Çizelge 2.1’de verilen kaynakların özetleri yer almaktadır.



Şekil 2.2. Çapraz sevkiyat konusunda yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı

Çizelge 2.1. Çapraz sevkiyat konusunda yapılan çalışmalar

Problem Tipi	Kaynaklar
ÇSM yer seçimi	Jayaraman ve Ross (2003), Sung ve Song (2003), Gümüş ve Bookbinder (2004), Bachlaus ve ark. (2008), Ross ve Jayaraman (2008), Sung ve Yang (2008), Musa ve ark. (2010), Abouee-Mehrizi ve ark. (2013), Mousavi ve ark. (2013), Mousavi ve ark. (2014)
ÇSM alanının yerleşim planı	Gue ve Kang (2001), Bartholdi ve Gue (2004), Vis ve Roodbergen (2008)
Çapraz sevkiyatta şebeke tasarımı	Donaldson ve ark. (1998), Lim ve ark. (2005), Chen ve ark. (2006), Makui ve ark. (2006), Musa ve ark. (2010), Charkhgard ve Tabar (2011), Ma ve ark. (2011), Marjani ve ark. (2012), Miao ve ark. (2012), Hosseini ve ark. (2014), Javanmard ve ark. (2014)
Çapraz sevkiyatta araç rotalama	Lee ve ark. (2006), Wen ve ark. (2009), Liao ve ark. (2010), Dondo ve ark. (2011), Dondo ve Cerdá (2013), Tarantilis (2013), Agustina ve ark. (2014), Dondo ve Cerdá (2014), Moghadam ve ark. (2014), Morais ve ark. (2014), Vahdani ve Sadigh Behzadi (2014)
Çapraz sevkiyat merkezlerinde araç-kapı atama	Tsui ve Chang (1990), Tsui ve Chang (1992), Bartholdi ve Gue (2000), Bermúdez ve Cole (2001), Bartz-Beielstein ve ark. (2006), Oh ve ark. (2006), Bozer ve Carlo (2008), Cohen ve Keren (2008), Yu ve ark. (2008), Miao ve ark. (2009), Zhu ve ark. (2009), Stephan ve Boysen (2011), Guignard ve ark. (2012)
Çapraz sevkiyatta araç çizelgeleme	McWilliams ve ark. (2005), McWilliams ve ark. (2008), Shakeri ve ark. (2008), Wang ve Regan (2008), Yu ve Egbelu (2008), Chen ve Lee (2009), Chen ve Song (2009), Chmielewski ve ark. (2009), McWilliams (2009), Rosales ve ark. (2009), Bolori Arabani ve ark. (2010), Boysen (2010), Boysen ve ark. (2010), Forouharfard ve Zandieh (2010), McWilliams (2010), Soltani ve Sadjadi (2010), Vahdani ve ark. (2010), Vahdani ve Zandieh (2010), Alpan ve ark. (2011), Bolori Arabani ve ark. (2011), Larbi ve ark. (2011), Liao ve ark. (2012), Kuo (2013), Ladier ve Alpan (2013), Liao ve ark. (2013), Liao ve ark. (2014), Madani-Isfahani ve ark. (2014), Maknoon ve ark. (2014), Shiguemoto ve ark. (2014)
Çapraz sevkiyat merkezlerinde malzeme yerleşim planlaması	Werners ve Wülfing (2010), Vis ve Roodbergen (2011), Choy ve ark. (2012), Luo ve Noble (2012)
Diğer konular	Li ve ark. (2004), Waller ve ark. (2006), Alvarez-Perez ve ark. (2009), Yan ve Tang (2009), Tang ve Yan (2010)

2.1. Çapraz Sevkiyat Merkezi Yer Seçimi

Bir veya birden fazla çapraz sevkiyat merkezine ait yerlerin belirlenmesi, dağıtım Őebekesinin veya tedarik zincirinin tasarım aşamasına ait bir problemdir. En önemli stratejik karar, çapraz sevkiyat merkezlerinin pozisyonlarıdır ve bu karar ağ içindeki ürün akışları ile birlikte dikkate alınmalıdır.

Sung ve Song (2003) SM yer seçimiyle ilgili ilk çalıŐmayı yapmıŐlardır. Ele aldıkları problemde malzemeler, tedarikçilerden talep noktalarına doğrudan taŐımaya izin verilmeksizin çapraz sevkiyat ile taŐınmaktadır. Çapraz sevkiyat için seçilecek alan, sabit maliyetlerle deėerlendirilmiŐ olası birkaç lokasyon içerisinden seçilmektedir. MűŐterilerin talep miktarı önceden bilinmekte ve bu malzemelerin taŐınmaları farklı boyut ve taŐıma maliyetine sahip iki tip araç ile yapılmaktadır. Problemde amaç, toplam taŐıma maliyetini ve sabit maliyetleri minimize edecek tesis yer seçiminin ve gerekli olan araç sayısının belirlenmesidir. Makalede probleme iliŐkin tamsayılı matematiksel model yer almaktadır. Problemin NP-zor yapıda olması sebebiyle çözüm için TA algoritması kullanılmıŐtır. OluŐturdukları algoritmanın deneysel çalıŐmalarını kendi ürettikleri örnek verileri ile test etmiŐler ve algoritmanın kabul edilebilir zaman içerisinde uygun sonuçlar elde ettiğini belirtmiŐlerdir.

Jayaraman ve Ross (2003) bir üreticiden üretilen birden fazla ürün çeşidinin çok sayıda dağıtıcıya gönderileceği bir çapraz sevkiyat sisteminde çok kademeli yer seçimi problemini incelemişlerdir. Problem iki aşamada ele alınmıştır. İlk aşamada yer seçiminin yapılacağı ve toplam maliyetlerin (sabit tesis maliyetlerinden ve çeşitli taşıma maliyetlerinden oluşan) minimize edilmesinin amaçlandığı stratejik tamsayılı model kullanılmıştır. Modelde müşteri taleplerinin ayrıştırılmasına izin verilmemektedir. İkinci aşamada ise malzeme tiplerine bağlı olarak malzemelerin hangi çapraz sevkiyat merkezlerine ulaştırılacağı belirlendiği operasyonel model yer almaktadır. Problemin özüm aşamasında TB algoritması kullanılmıştır. Kendi ürettikleri test problemleri ile TB performansı optimum sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde geliştirilen algoritma, %4'lük bir farkla optimum sonuçlara yakın sonuçlar üretmiştir. Aynı yazarlar problemde bölgesel optimum sonuçlardan kurtularak daha iyi sonuçlar elde edebilmek için yine TB tabanlı iki farklı algoritma önermişlerdir. İlk algoritmada,

TB algoritmasına ek olarak tabu listesi kullanılmıştır. İkinci algoritmada ise TB’de sistem sıcaklığının aniden değişimine izin veren bir yaklaşım kullanılmıştır. Her iki algoritma, farklı soğuma parametreleri ile test edilmiş ve test sonuçlarına göre tabu listesinin kullanıldığı ilk algoritma işlem zamanını biraz uzatsa da daha iyi sonuçlar vermiştir (Ross ve Jayaraman 2008).

Gümüş ve Bookbinder (2004) inceledikleri problemde, tedarikçilerden talep noktalarına olan doğrudan taşımalara izin verilmesi ve farklı tiplerde malzemelerin kullanılması durumunu dikkate almışlardır. Her bir ÇSM’nin toplam maliyeti, sabit maliyetten ve alanda yapılan yükleme miktarına bağlı değişken maliyetlerden oluşmaktadır. Taşıma maliyetleri de yer seçimi maliyetleri gibi sabit ve değişken maliyetlerden oluşmaktadır. Her bir aracın maliyeti sabit maliyet olarak ele alınırken, araçlarda taşınan malzemelerin taşınma uzaklıklarına bağlı olarak hesaplandığı maliyetler ise değişken maliyet olarak değerlendirilmiştir. Probleme ilgili karma tamsayılı model geliştirilmiş ve küçük boyutlu test problemleri ile maliyet faktörlerinin çözüm üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Sung ve Yang (2008) yapmış oldukları çalışmada Sung ve Song’un 2003’te ele aldıkları problem için kesin çözüm veren dal-fiyat (branch and price) algoritmasını kullanmışlardır. Algoritmanın etkinliğini tespit edebilmek için yine Sung ve Song’un kullanmış oldukları TA algoritmasını biraz daha geliştirerek kullanmışlardır. Test sonuçları, kullanmış oldukları dal-fiyat algoritmasının küçük ölçekli problemlerde etkin sonuçlar elde ettiğini göstermiştir.

Bachlaus ve ark. (2008) tedarikçilerin, üreticilerin, dağıtım merkezlerinin, çapraz sevkiyat merkezlerinin ve müşterilerin bulunduğu bir sistemde çok kademeli yer seçimi problemini incelemişlerdir. Amaç, malzeme akışını optimize edecek tedarikçi, üretici, dağıtım merkezi ve çapraz sevkiyat merkezine ait yerleşim yerinin ve sayısının tespit edilmesidir. Problem; çok amaçlı optimizasyon modeli ile formüle edilmiş, hesaplama zorluğu nedeniyle çözüm aşamasında PSO algoritması kullanılmıştır. Yürüttükleri testlerde geliştirilen algoritma ile, GA ve denedikleri diğer iki PSO algoritması çeşidine göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Musa ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, Sung ve Song (2003) tarafından geliştirilen matematiksel modele benzer bir tamsayılı model geliştirmişlerdir. Bu modelde,

tedarikçilerden talep noktalarına olan ürün akışlarında doğrudan taşımalara izin verilmiştir. Çözüm aşamasında ise karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) algoritması kullanılmıştır.

Abouee-Mehrizi ve ark. (2013) yer seçimi problemini, çapraz sevkiyat merkezlerinin kapasitelerini dikkate alarak incelemiştir. Doğrusal olmayan karma tamsayılı matematiksel olarak modellenen problemde amaç fonksiyonu, bilinen talep miktarları doğrultusunda kurulacak ÇSM sayısını ve lokasyonlarını belirlemektir. Yazarlar problemin çözümü için bir sütun üretme algoritması geliştirmiştir.

Mousavi ve ark. (2013) çapraz sevkiyat yer seçimi problemini araç rotalama problemi ile birlikte incelemiştir. İki aşamadan oluşan problemin ilk aşamasında açılacak olan ÇSM sayısı ve yerleri belirlenmektedir. İkinci aşamada ise ürün taşıma maliyetlerini en aza indirecek araç rotaları oluşturulmaktadır. Araç rotalama probleminde ayrıca zaman penceresi kısıtları da göz önüne alınmıştır. Karma tamsayılı matematiksel model olarak formüle edilen problemin çözümü için bir TB algoritması önerilmiş ve yapılan sayısal uygulamalarda farklı boyutta problemler için kabul edilebilir işlem zamanları içinde çözüm elde edilebilmiştir. Yer seçimi ve araç rotalama probleminin iki aşamada incelendiği benzer problem Mousavi ve Tavakkoli-Moghaddam (2013) tarafından çalışılmış ve problemin çözümü için hibrit bir TB algoritması geliştirilmiştir. Mousavi ve ark. (2014) ise bilgilerin kesin olmadığı durumlar için problemi stokastik olarak modellemiştir.

2.2. Çapraz Sevkiyat Merkezi Alanının Yerleşim Planı

ÇSM yer seçimi yapıldıktan sonra alınması gereken diğer bir stratejik karar ise ÇSM alanının boyutları ve şekliyle ilgili olan yerleşim planıdır. Bartholdi ve Gue (2004) yaptıkları çalışmada ÇSM alanının şekliyle ilgilenmişlerdir. Birçok ÇSM alanı, dar ve uzun olan I yapıda olmasına rağmen ÇSM alanının kısıtlarına göre tercih edilebilecek L, U, T, H, E veya X gibi farklı şekil tiplerinin de bulunduğu belirtilmiştir. Deneysel çalışmalar, 150'den az kapının bulunduğu küçük ÇSM alanlarında I şeklinin en etkin yerleşim planı olduğunu göstermiştir. Orta ölçekli ÇSM alanlarında T, 200'den fazla kapının bulunduğu ÇSM alanlarında ise X şekli daha etkin olmaktadır. Fakat köşe

sayısının arttığı yerleşim planlarında ise köşelerde bulunan komşu kapılardan birisinin kullanılmadığı ve bu durumun işletmelere ek maliyet çıkardığı da belirtilmiştir.

ÇSM alanının planlanmasında ilgilenilen diğer bir konu ise alan içi yerleşim planlarıdır. Gue ve Kang (2001) yaptıkları çalışmada ÇSM alanları içinde depolama işlemlerine ait stratejilerin operasyonel etkinliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. ÇSM alanı içinde iki kademeli depolama işlemi ve karışık düzende tek kademeli depolama işlemlerinin performansını simülasyon analizleri ile test etmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda tek kademeli depolama sisteminin çift kademeli depolama sistemine göre daha kısa kuyruk uzunlukları ile iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Vis ve Roodbergen (2008) ise gelen malzemelerin bekletileceği alanlarla ilgili operasyonel kararlara ilişkin bir çalışma yapmışlardır. Geliştirdikleri algoritma ile ÇSM alanında kullanılacak olan paralel alanların sayısı ve uzunluklarına ilişkin bilgiler elde edilmiştir.

2.3. Çapraz Sevkiyatta Şebeke Tasarımı

Tedarikçilerden talep noktalarına yapılan taşımalarda birden fazla ÇSM'nin kullanılması olası bir durumdur. Şebeke içinde alternatif merkezlerin bulunduğu böyle bir durumda malzeme akışlarının, farklı sabit ve değişken maliyet içeren ÇSM'lere göre planlanması gerekmektedir. Günlük, haftalık veya dönemsel olarak değişen talebe göre bu planların tekrardan oluşturulması çapraz sevkiyat sisteminin etkinliğini koruyabilmek açısından önemlidir.

Lim ve ark. (2005) klasik ulaştırma problemini çapraz sevkiyat sistemine göre geliştirmişlerdir. Tedarikçilerin, depolama merkezlerinin ve talep noktalarının bulunduğu ulaştırma probleminde taşımalar, farklı kapasite ve maliyetlere sahip arklar (kanallar) üzerinden yapılmaktadır. Geliştirilen problemde ise depolama merkezleri birer ÇSM olarak düşünülmüştür. Ayrıca problemde tedarikçi/müşteri zaman pencereleri, ÇSM kapasiteleri ve malzeme bekletme maliyetleri de kısıt olarak yer almaktadır. Eğer çoklu yüklemeye ve çoklu dağıtıma (multiple shipping – multiple delivery) izin verilirse problem, en az maliyetli akış problemi olarak formüle edilebilmekte ve polinom bir zamanda çözüme ulaşılabilmektedir. Aksi takdirde problemin NP-zor sınıfına girdiği ispat edilmiştir.

Chen ve ark. (2006) ulaştırma problemini farklı tipte ürünler ve ayrıştırılmayan talep miktarları ile ele almışlardır. Probleme ilişkin tamsayılı matematiksel model oluşturmuş ve çözüm zorluğundan dolayı üç farklı sezgisel algoritma önermişlerdir. Önerilen algoritmalar; TB algoritması, TA algoritması ve bu iki algoritmanın kombinasyonundan oluşturulan hibrit bir algoritmadır. Her bir algoritma, modellerin CPLEX ile çözümünden %10 daha kısa bir sürede çözüme ulaşmış ve en iyi performansı hibrit algoritma göstermiştir.

Yukarıda açıklanan çalışmalarda, şebekede yapılan ürün taşımaları bir akış olarak ifade edilmiş ve maliyetler taşınan ürün miktarı ile hesaplanmıştır. Fakat çapraz sevkiyat sisteminde temel olan birleştirme stratejisini dikkate alabilmek için maliyetlerin, taşımaları yapan araçlar üzerinden hesaplanması daha gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır. Donaldson ve ark. (1998) bu doğrultuda yaptıkları çalışmada taşıma maliyetlerini lokasyonlar arasında kullanılan araç sayısı üzerinden dikkate almıştır. Çalışmada tamsayılı matematiksel model olarak ifade edilen problemin çözümü için bir dal-sınır algoritması ve bir tekrarlayıcı yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşım ile problemler için optimuma yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Makui ve ark. (2006) ise problem için doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Musa ve ark. (2010) aynı problemi tesis yer seçimi problemi ile birlikte dikkate almış ve çözümü için bir KKO algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri algoritma ile dal-sınır algoritmasına göre daha kısa zamanlarda daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Charkhgard ve Tabar (2011) çapraz sevkiyat şebeke tasarımında ulaştırma problemini, araçların üç boyutlu kapasitelerini dikkate alarak incelemişlerdir. İnceledikleri problemi doğrusal olmayan bir matematiksel model olarak formüle etmişlerdir. Fakat geliştirdikleri model herhangi bir yerleşim planı içermemekle birlikte araçların üç boyutlu doluluk oranları araca yüklenen ürün sayıları ile hesaplanmıştır. Yazarlar problemin çözümü için ise bir TB algoritması geliştirmişlerdir.

Ma ve ark. (2011), ulaştırma probleminde tedarikçi ve talep noktalarına ait zaman pencerelerinin yanı sıra şebekede taşıma zamanlarını da dikkate almışlardır. Ayrıca tedarikçiden talep noktasına doğrudan taşımaları da dikkate alarak ÇSM alanlarındaki bekleme maliyetlerini de problemde incelemişlerdir. Şebekede taşımalar ise tek tip ürün dikkate alınarak yapılmaktadır. Çalışmanın çözüm aşamasında iki aşamalı sezgisel bir

metot geliştirilmiş ve CPLEX ile elde edilmiş optimum sonuçlarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre geliştirmiş oldukları sezgisel algoritma, çok kısa bir sürede kabul edilebilir çözümler sunmaktadır.

Miao ve ark. (2012) birden fazla ÇSM'nin bulunduğu ulaştırma probleminde tedarikçilere ve talep noktalarına ait zaman pencerelerini, esnek ve sıkı olarak iki farklı durumda incelemişlerdir. Problemin amaç fonksiyonunda taşıma maliyetleri, ürünlerin ÇSM alanında bekleme maliyetleri ve ceza maliyetleri yer almaktadır. Çalışmanın çözüm aşamasında uyarlanabilir TA ve uyarlanabilir GA kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda her iki algoritmanın da kabul edilebilir zaman dilimi içerisinde iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Birden fazla amaç fonksiyonunun dikkate alındığı diğer bir çalışma ise Marjani ve ark. (2012) tarafından yapılmıştır. Şebeke tasarımı için oluşturdukları matematiksel modelde; envanter düzeyi, toplam maliyet ve toplam gecikmenin minimizasyonunu amaçlamışlardır.

Zaman kısıtlarının dikkate alındığı diğer bir çalışma ise Javanmard ve ark. (2014) tarafından gerçekleştirilmiştir. Birden fazla ürün çeşidinin bulunduğu problemde ürünlerin ayrıştırılarak farklı çapraz sevkiyat merkezlerine gönderilmesine izin verilmiştir. Karma tamsayılı matematiksel model olarak ifade edilen problemde amaç, toplam taşıma ve elde tutma maliyetlerini en aza indirmektir. Yazarlar, büyük boyuta sahip problemlerin çözümü için bir yayılımcı rekabetçi sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

Hosseini ve ark. (2014) çapraz sevkiyat şebekesinde kullanılan araç sayısını ve dolayısıyla taşıma maliyetlerini minimize edebilmek için üreticilerden müşterilere olan taşımalarda üç farklı yaklaşımı bir arada incelemişlerdir. Bu yaklaşımlar; ürünlerin doğrudan müşterilere taşınması, ürünlerin ÇSM vasıtasıyla taşınması ve ürünlerin araç rotalama sistemi ile taşınmasıdır. Üç farklı taşıma şeklinin birlikte kullanıldığı şebekede her bir ürün için farklı taşıma sistemi kullanılabilir. Problem için önerilen modelin çözüm zorluğundan dolayı yazarlar armoni arama ve TB algoritmalarından oluşan hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu algoritma ile CPLEX'e göre daha kısa sürelerde etkin sonuçlar bulmuşlardır.

2.4. Çapraz Sevkiyatta Araç Rotalama

Çapraz sevkiyat Şebekesinde toplama ve dağıtım işleminin gerçekleştirilebileceği birçok lokasyon bulunabilir. Bu lokasyonlar için yapılacak toplama ve dağıtım işlemleri stratejik açıdan bir araç rotalama problemi (ARP) olarak dikkate alınabilir. Bu sayede bir aracın birden fazla lokasyona hizmet vermesiyle araç doluluk oranları arttırılabilir.

Lee ve ark. (2006) apraz sevkiyatta taşıma maliyetlerinin ve araçların sabit maliyetlerinin toplamını minimize etmek için araç rotalama problemini incelemişlerdir. Ele aldıkları problemde mŐŐterilerin talep miktarlarının farklı araçlarla temin edilmesine izin verilmemiŐtir. Ayrıca SM alanlarında araçların bekleme yapmaması için toplama ve dağıtım yapacak araçların aynı zamanda alana gelmesi gerekmektedir. Çalışmada problemi ifade edecek tamsayılı matematiksel model oluşturulmuş, fakat çözüm aşamasında TA algoritması kullanılmıştır. Uyguladıkları algoritma, iki alt ARP'nin çözümünden oluşmaktadır. İlk aşamada toplama işlemleri için ARP özölürken, ikinci aşama hemen ardından başlayarak dağıtım işlemleri için araç rotalarını tespit etmektedir. Liao ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada aynı problem için farklı bir TA algoritması geliştirmişlerdir.

Wen ve ark. (2009) apraz sevkiyatta araç rotalama problemini homojen araçlardan oluşan filo ile incelemiştir. Tedarikçilerden toplanan malzemeler çapraz sevkiyat merkezine getirilmekte ve burada birleştirme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Hazırlanan malzemeler toplama yapılan aynı tip araçlarla dağıtıma çıkmaktadır. Bu nedenle dağıtım yapacak araçlara yüklenme yapılmadan önce toplama işlemlerinden gelen araçların boşaltılması gerekmektedir. Zaman penceresi kısıtı ve taleplerin ayrıŐtırılamaması bu problem içinde geçerli sayılmıŐtır. Çalışmada; SM alanında birleştirme işleminin yok sayılmıŐ olması durumunda, problemin iki alt ARP Şeklinde özölubileceğine deđinmiŐlerdir. Fakat birleştirme işlemi devreye girdiğinde toplama ve dağıtım işlemleri birbirine bağımlı hale gelmektedir. Bu nedenle problem daha karmaşık bir yapıya sahip olmaktadır. Probleme ilişkin karma tamsayılı model oluşturulmuş, fakat modelde çok fazla değişken ve kısıt olması nedeniyle çözümde TA algoritması kullanılmıştır. Geliştirdikleri algoritmayı 200 tedarikçi-mŐŐteri çiftine kadar olan problem setleri ile test etmişlerdir. Küçük boyutlu problemlerde algoritma, beş saniye

içerisinde optimum sonuca %1'den daha az bir sapma ile yakın sonuçlar vermiştir. Büyük boyutlu problemlerde ise algoritma, yaklaşık beş dakikadan az koşum süreleri ile problemin alt sınır değerine %5'ten daha az sapmalarla sonuçlar üretmiştir.

Dondo ve ark. (2011) çok kademeli ve çok ürünlü çapraz sevkiyat şebekelerinde araç rotalama problemini zaman penceresi kısıtlarıyla birlikte incelemişlerdir. Birden fazla kademenin bulunduğu problemde amaç, müşteri taleplerini karşılayacak en az maliyete sahip rota planlarının oluşturulmasıdır. Problem için geliştirdikleri karma tamsayılı lineer matematiksel modeli beş farklı örneklem seti üzerinde test etmişlerdir. Kabul edilebilir işlem zamanlarında optimum sonuca ulaştıkları problemler için elde ettikleri bulguları rapor etmişlerdir. Benzer problem Dondo ve Cerdá (2013) ve Dondo ve Cerdá (2014) tarafından yapılan çalışmalarda dikkate alınmıştır.

Tarantilis (2013) tek bir ÇSM ve birden fazla üretici noktasının bulunduğu açık ve kapalı yapıya sahip şebekeler için araç rotalama problemini dikkate almıştır. Kapalı yapıya sahip şebekede araç filoları ÇSM'ye ait olup araçlar, rotalarına çapraz sevkiyat merkezlerinden başlayıp tekrar aynı noktaya dönerler. Açık yapıya sahip şebekede ise hizmet verecek araçlar üçüncü parti lojistik işletmeleri tarafından sağlanmakta ve ÇSM'ler sadece ürünlerin birleştirilmesi ve bekletilmesi için kullanılmaktadır. Çalışmada problemin çözümü için bir TA algoritması geliştirilmiş ve algoritmanın performansı literatürde yer alan örnek problem setleri üzerinde test edilmiştir. Geliştirilen algoritma ile mevcut çözümlere göre daha iyi sonuçlar bulunmuştur. ARP'de tek ÇSM'nin dikkate alındığı diğer bir çalışma ise Morais ve ark. (2014) tarafından gerçekleştirilmiş ve problemin çözümü için üç farklı bölgesel arama metodu sunulmuştur.

Agustina ve ark. (2014) gıda sektörüne ait bir tedarik zincirinde araç rotalama ve araç çizelgeleme problemini bütünleşik olarak incelemişleridir. Ürünlerin tam zamanında ve en az maliyetle müşterilerine ulaştırılabilmesi için zaman kısıtları, erken ve geç teslim cezaları ile birlikte dikkate alınmıştır. Ayrıca ÇSM alanlarında ürünlerin bekletilmesine ekstra bir elde bulundurma maliyeti ile izin verilmiştir. Çalışmada araç rotalama ve araç çizelgeleme problemi bütünleşik olarak modellenmiş ve modelin performansı farklı büyüklükteki örnekler üzerinde test edilmiştir. Yapılan sayısal uygulamalar sonucunda CPLEX ile ancak küçük boyutlu problemler için kabul edilebilir işlem süreleri içinde

çözümüne ulaşılabilirdiği, büyük boyutlu problemlerde ise kesin çözüm veren yöntemlerin yetersiz kalacağı belirtilmiştir.

Araç rotalama ve araç çizelgeleme probleminin birlikte göz önüne alındığı diğer bir çalışma ise Moghadam ve ark. (2014) tarafından ayrıştırılabilir talep miktarı için gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan matematiksel model olarak formüle edilen problemin çözümü için TB algoritması ve TB'nin KKO ile birleştirilmesinden elde edilen hibrit algoritma kullanılmıştır. Yapılan sayısal uygulamalar sonucunda hibrit algoritmanın TB'ye göre daha üstün olduğu belirtilmiştir.

Vahdani ve Sadigh Behzadi (2014), Mousavi ve ark. (2013) tarafından ÇSM yer seçimi için yapılan çalışmada olduğu gibi kesin olmayan veriler için stokastik programlama yöntemini ARP için kullanmışlardır. Problemden ayrıca çoklu ürün, zaman penceresi, heterojen filo ve araç kapasiteleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu kısıtlar dahilinde yazarlar problemi karma tamsayı matematiksel model olarak formüle etmişlerdir.

2.5. Çapraz Sevkiyat Merkezlerinde Araç-Kapı Atama

Toplama ve dağıtım işlemlerini tamamlayan araçlar çapraz sevkiyat merkezine vardıkları zaman hangi kapılara yanaşacaklarının bilinmesi gerekmektedir. İyi bir araç-kapı atama planı ile çapraz sevkiyat merkezlerinde gerçekleştirilen operasyonel maliyetler düşürülebilmektedir. Bu nedenle araç-kapı atama probleminde amaç birden fazla kapının bulunduğu alanlarda en iyi atama planını oluşturabilmektir (Shuib ve Fatthi 2012).

Çapraz sevkiyatta araç-kapı atama planları kısa veya orta vadede yapılabilmektedir. Orta vadede yapılan planlar kısa vadeli planlara göre daha kalıcı olabilmektedir. Böyle bir durumda her aracın hangi kapıya geleceği işgörenler tarafından da bilinmekte ve işlemlerde kolaylık sağlamaktadır. Fakat bu tarz planlamalarda sistemin esnekliği kısa vadeli planlara göre daha az olmaktadır. Ayrıca sistemde önemli bir değişiklik gerçekleştiğinde atama planlarının yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Eğer tedarikçi ve talep noktalarına ait yeterli bilgiye sahip olma olanağı varsa, her gün yeniden oluşturulabilecek kısa dönemli planlamalar daha avantajlı hale gelebilmektedir (Boysen ve Fliedner 2010). Araç-kapı atama probleminin kısa vadeli süreçlerde de dikkate

alınabilmesi için araçlar hakkındaki verilerin yeteri kadar bilinmesi gerekmektedir. Böylelikle araçların hangi kapılara atanacağı ve taşıma planları anlık olarak planlanabilir.

Tsui ve Chang (1990), araçların kapılara atanmasıyla ilgili ilk çalışmalardan birisini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çapraz sevkiyat sistemi tam olarak ifade edilmiş olmasa da ürünlerin aktarma işlemlerini dikkate alınan problem, araç-kapı atama problemini tanımlamaktadır. Problemden, aktarma merkezine gelen toplama araçlarından boşaltılan malzemelerin doğrudan dağıtım araçlarına yüklendiği varsayılmıştır. Amaç, toplama ve dağıtım araçlarına ait taşıma mesafelerinin minimizasyonudur. Çalışmalarında problem, çoklu lineer (bilinear) model ile formüle edilmiş ve çözüm aşamasında bölgesel optimum sonuç bulan bir sezgisel (greedy) algoritma geliştirilmiştir. Geliştirdikleri algoritma için test yapmasalar da başlangıç çözümü için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Aynı yazarlar yapmış oldukları başka çalışmada, çoklu lineer modellerin çözümü için kesin sonuç veren yöntemlerin bulunduğu fakat bunların ele aldıkları problem için uygun olmadıklarını belirtmişlerdir. Bu nedenle problemin çözümü için dal-sınır algoritmasını geliştirmişlerdir. Yaptıkları testlerde ise dal-sınır algoritmasının hesaplama yükünün çok fazla olduğu görülmüştür (Tsui ve Chang 1992).

Bartholdi ve Gue (2000) ÇSM alanlarının tasarımını, kapıların şerit halinde ve yığın halinde olma özelliklerine göre tanımlamışlardır. Çalışmada, toplama işleminden gelen araçların şerit halinde kapılara ve müşterilere dağıtım yapacak araçların yığın halindeki kapılara atanacağı varsayılmıştır. Problem, doğrusal olmayan matematiksel model olarak formüle edilmiş ve çözümü için bir TB algoritması geliştirilmiştir. Geliştirdikleri algoritma ile gerçek bir sistemde yapmış oldukları uygulamada, elde edilen sonuçlar mevcut sistemin verimliliğini %11,7 arttırmıştır.

Bermúdez ve Cole (2001) karışık kapı düzenine sahip ÇSM alanları için araç-kapı atama problemini dikkate almışlardır. Karışık kapı düzeni yaklaşımı ile bir kapıya, toplama veya dağıtım yapacak araç ayırt edilmeksizin atanabilmektedir. Problemin matematiksel modeli, Tsui ve Chang (1990) tarafından geliştirilen modele karışık kapı düzeni adapte edilerek geliştirilmiş ve çözümü için bir GA kullanılmıştır. Algoritmanın

performansını 2-opt sezgiseli ile karşılaştırmış ve GA ile elde edilen sonuçların daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Bartz-Beielstein ve ark. (2006) araç-kapı atama problemi için gerçek hayata ait bir problemi simülasyon tabanlı bir algoritma geliştirerek çözmüşlerdir. Problemden, araçların boş kalan hacimlerini ve araçların bekleme zamanlarını minimize edebilmeyi amaçlayan iki farklı amaç fonksiyonunu bir arada dikkate almışlardır.

Oh ve ark. (2006) çapraz sevkiyatta araç-kapı atama problemini Kore’de bir posta dağıtım merkezinde uygulamışlardır. Bu merkezde farklı tiplerde bulunan kapılar gruplar haline getirilmektedir. Her grubun ÇSM alanında kendine ait bekleme yeri bulunmakta ve toplama araçlarından boşaltılan malzemeler buralarda bekletildikten sonra gruba ait kapılardan dağıtım araçlarına yüklenmektedir. Yukarıda belirtilen problemlerden farklı olarak bu problemde taşımaları minimize edecek kapı gruplarının da belirlenmesi gerekmektedir. Problem doğrusal olmayan model ile formüle edilmiş ve çözüm aşamasında iki farklı sezgisel metot sunulmuştur. Geliştirdikleri her iki metot da mevcut durumda kullanılan atamalardan daha iyi sonuç vermiştir.

Cohen ve Keren (2008), Tsui ve Chang (1990) tarafından ortaya konulan araç-kapı atama problemini bölünebilir talep varsayımı ile dikkate almışlardır. Böylece bir müşteri noktasına ait talep miktarları farklı kapılara ayrıştırılabilmektedir. Yazarlar, problemin çözümü için ise bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu sezgisel algoritmanın performansının en az mevcut algoritmalar kadar iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Bozer ve Carlo (2008) araçların kapılara atanması problemini dinamik olarak ele almıştır. Problem, kareli tamsayılı atama probleminin matematiksel modelinden yola çıkılarak lineer atama modeline dönüştürülerek formüle edilmiştir. Çözüm aşamasında TB algoritması kullanılmıştır. Zhu ve ark. (2009) ise Tsui ve Chang (1990) tarafından geliştirilen modeli temel alarak problem için üç boyutlu bir kareli atama modeli geliştirmişlerdir.

Yu ve ark. (2008) araç-kapı atama probleminde toplama araçlarının servis öncelikleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Daha önce yapılan çalışmalarda araç-kapı atama problemi, ÇSM alanına gelen toplama araçlarında ilk gelen ilk servis alır (First Come

First Service) politikası ile modellenmiştir. Bu çalışmada ise bu politikanın gerçek hayatta optimum sonuçtan daha uzak sonuçlar ürettiğini ve bunun yerine anlık politikaların geliştirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Çözüm aşamasında geliştirmiş oldukları GA ve bölgesel arama metotlarının, yapmış oldukları testlerde mevcut uygulamalardan daha iyi sonuçlar ürettiğini tespit etmişlerdir.

Miao ve ark. (2009) ÇSM'de araçların kapılara uygun bir şekilde atanmasını üç kısıt altında incelemişlerdir. Bunlar; ÇSM alanına gelen ve ÇSM alanından ayrılan her aracın zaman penceresi, kapılarda gerçekleşen yüklemelerin operasyon zamanları ve ÇSM alanının toplam kapasitesidir. Problemden amaç fonksiyonu ise toplam operasyon maliyetleri ve yerine getirilemeyen yüklemelerin ceza maliyetlerinin birleşiminin minimize edilmesidir. Problemden zaman faktörü, sadece operasyonların düzenlenmesi açısından bir kısıt olarak ifade edilmesi nedeniyle bu çalışma bir araç-kapı atama problemi olarak dikkate alınmıştır. Çalışmanın çözüm aşamasında TA algoritması ve GA ayrı ayrı uygulanmıştır. Yapılan testlerde, özellikle TA algoritması daha belirgin olmak üzere, her iki sezgisel algoritma da süre bakımından CPLEX'e göre daha üstün çıkmıştır.

Stephan ve Boysen (2011) ÇSM alanında kapıların yerleşim düzeninin alan içi taşımalarının verimliliğine olan etkisini incelemişlerdir. Toplama ve dağıtım araçlarına ait kapıların gruplandırıldığı tek düzen stratejisi ile karışık düzende olan kapı düzeni stratejisini karşılaştırmış ve yaptıkları sayısal analizlerde karmaşık kapı düzeninin gruplandırılmış kapı düzenine göre daha etkin olduğunu belirtmişlerdir.

Guignard ve ark. (2012) araç-kapı atama problemi için geliştirdikleri matematiksel modelde, araçların kapılara atanması yerine üretici ve müşteri noktalarını ÇSM alanlarındaki boşaltma ve yükleme kapılarına atamıştır. Araç kapasiteleri yerine ise kapılara ait kapasiteler tanımlanmıştır. Kareli tamsayılı olarak geliştirilen matematiksel modelin çözümü için ise iki farklı sezgisel metot önerilmiştir.

2.6. Çapraz Sevkiyatta Araç Çizelgeleme

Araç-kapı atama probleminde, ÇSM alanına toplama/dağıtım araçlarının hangi kapılara atanacağı belirlenmesine rağmen tedarikçilere veya talep noktalarına ait zaman

pencereleri içinde bu kapılarda ne zaman işlem göreceği belirtilmemiştir. Dağıtım ve toplama işlemi yapan araç sayısının ÇSM kapı sayılarından fazla olması durumunda bir kapıda aynı anda birden fazla araç işlem göremeyeceğinden bu araçların sıralanması gerekmektedir. Çapraz sevkiyatta araç çizelgeleme problemi konusu dahilinde zamana bağlı bu kısıtlar incelenmektedir ve bu durumda araç-kapı atama problemi araç çizelgeleme probleminin bir kısmını oluşturmaktadır. Araç-kapı atama problemi orta ve kısa vadede yapılan planlar için dikkate alınabilirken araç çizelgeleme problemi sadece kısa vadeli planlar için uygundur.

Literatürde yer alan çoğu çalışmada araç çizelgeleme problemi, tek bir şerit (boşaltma, giriş veya toplama kapısı) ve tek bir yığın (yükleme, çıkış veya dağıtım kapısı) için ele alınmıştır. Bu kapsamda Yu ve Egbelu (2008) iki makineli çizelgeleme yaklaşımını temel alarak çapraz sevkiyatta çizelgeleme problemini incelemiştir ve problemde malzemelerin araçlar arasında değiştirilebilir olduğu varsayılmıştır. Bu değişim işlemi modelin amaç fonksiyonunda ilave bir süreye neden olmaktadır. Problem, karma tamsayı model olarak formüle edilmiş ve çözümü için bir sezgisel metot geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma birçok küçük problem setleri ile test edilmiş ve optimum sonuçlara yakın sonuçlar bularak etkin bir performans sergilemiştir. Vahdani ve Zandieh (2010) bu problemin çözümünü daha da geliştirebilmek için GA, TA algoritması, TB algoritması, elektromanyetik algoritma (EMA) ve komşu çözüm algoritmalarından oluşan beş farklı algoritmayı probleme uygulamışlardır. Yu ve Egbelu (2008) tarafından geliştirilen sezgisel algoritmayı ise başlangıç çözümü üretmekte kullanmışlardır. Uygulanan beş ayrı meta-sezgisel metot da, işlem zamanını uzatmış olsa da, daha iyi sonuçlar üretmiştir. Bolori Arabani ve ark. (2011) aynı problemde; GA, TA algoritması, PSO algoritması, KKO algoritması ve DGA uygulamıştır. Aynı zamanda çalışmalarında geliştirilen bu algoritmalara ait en iyi parametre değerlerini araştırmışlardır. Dokuz farklı test problemi üzerinde yapılan analizler sonucunda; GA, PSO, KKO ve DGA'nın birbirlerine yakın sonuçlar ürettiğini fakat TA algoritmasının diğer dört algoritmaya kıyasla daha kötü performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Chen ve Lee (2009) akış tipi çizelgeleme problemini çapraz sevkiyat sistemine adapte etmişlerdir. Amaç, ilk boşaltma işleminden son yükleme işlemine kadar olan maksimum

tamamlanma zamanını minimize etmektir. Problemin matematiksel modeli, iki makineli akış tipi çizelgeleme problemi temel alınarak formüle edilmiştir. Fakat modelde ek olarak yükleme araçlarına ait öncelik kısıtları yer almaktadır. İkinci makine olarak düşünülen yükleme kapısındaki yükleme işlemleri, boşaltma kapısında ilgili araca ait boşaltma işlemleri tamamlanmadan başlayamamaktadır. Çalışmada dal-sınır tekniği ile 60 araçlık problem büyüklüğüne kadar, kabul edilebilir zaman dilimi içerisinde çözüm üretebilmişlerdir. Ayrıca Johnson algoritmasını temel alan bir sezgisel metot da geliştirmişlerdir. Chen ve Song (2009) aynı problemi iki aşamalı hibrit çizelgeleme problemi olarak geliştirmişlerdir. Bu problemde paralel makinalarda çizelgeleme problemi gibi birden fazla araç ÇSM alanında boşaltma veya yükleme işlemi görebilmektedir. Probleme ilişkin karma tamsayılı model yer almakta ve çözümü için Johnson algoritmasını temel alan birkaç farklı sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Boysen ve ark. (2010) çapraz sevkiyatta çizelgeleme konusunu daha büyük boyutlu problemlerde incelemiştir. Çalışmada, zaman ufkunu kesikli zaman dilimlerine ayırmış ve her bir zaman dilimi içerisinde toplama araçlarının ve dağıtım araçlarının çizelgeleme problemini optimize etmişlerdir. Yazarlar probleme ait tamsayılı matematiksel model geliştirmiş ve çözüm aşamasında ayrıştırma tekniğini kullanmışlardır.

Tek boşaltma ve tek yükleme kapısına ait çizelgeleme problemi için yapılan diğer bir çalışma Liao ve ark. (2012) tarafından yapılmıştır. Yu ve Egbelu (2008) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da çizelgeleme problemi için dikkate alınan amaç fonksiyonu toplam operasyon zamanının minimizasyonu olmuştur. Yazarlar problemin çözümü için bölgesel arama metotlarını kullanarak iki farklı hibrit DGA geliştirmişlerdir. Yapılan sayısal uygulamalar neticesinde iki önemli bulguyu irdelemişlerdir. Birincisi, geliştirdikleri iki farklı hibrit DGA, Bolori Arabani ve ark. (2011) tarafından geliştirilen DGA'ya göre daha iyi sonuç vermektedir. İkincisi, elde edilen sonuçlar Yu ve Egbelu (2008) tarafından yapılan çalışmaya göre daha gerçekçi ve etkin operasyonel kararları içermektedir.

Yukarıda açıklanan çalışmalara benzer şekilde iki makineli çizelgeleme yaklaşımını temel alarak çapraz sevkiyatta araç çizelgeleme problemini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Forouharfard ve Zandieh (2010) toplama ve dağıtım araçlarının sırasını

ÇSM alanında geçici olarak depolanacak ürünlerin sayısını minimize edecek şekilde planlanmış ve problemin çözümü için yayılımcı rekabetçi bir algoritma sunmuşlardır. Bolori Arabani ve ark. (2010) araç çizelgeleme problemini farklı bir amaç fonksiyonu ile incelemişlerdir. Problemden dağıtım yapacak araçların bir teslim tarihinin bulunduğu varsayılmış ve bu teslim tarihine göre araçların ağırlıklı toplam erken teslim ve gecikme zamanlarının minimizasyonu amaçlanmıştır. Problemin çözümü için GA, PSO ve DGA kullanılmıştır. Vahdani ve ark. (2010) ise benzer bir problemi, alan içinde stoklara izin vermeden dikkate almıştır. Bu varsayımla toplama işleminden gelen ürünler, boşaltma kapılarından yükleme kapılarına doğrudan taşınmaktadır. Yazarlar, problemin çözümü için GA ve EMA kullanmışlardır. Soltani ve Sadjadi (2010) aynı problem için TB ve değişken komşuluk arama algoritmalarını temel alan iki farklı hibrit algoritma geliştirmişlerdir. Larbi ve ark. (2011) araç çizelgeleme problemini sadece dağıtım araçları için dikkate almış ve çözümü için iki farklı sezgisel algoritma önermişlerdir. Alpan ve ark. (2011) ise bu çalışmayı çoklu kapılar için dikkate alarak genişletmişlerdir.

Çapraz sevkiyatta araç çizelgeleme konusunda yapılan diğer çalışmalar çoklu boşaltma ve çoklu yükleme kapısını dikkate almaktadır. Fakat bunlardan bazıları sadece toplama işlemi yapan araçların çizelgenmesine odaklanmışlardır. Dağıtım yapan araçların ise daha önceden çizelgelendiği veya orta vadeli planlarda müşteri noktalarına olan atamalarının belirlendiği varsayılmıştır (Boysen ve Fliedner 2010). Bu problemin çözümü için McWilliams ve ark. (2005) simülasyon tabanlı bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Simülasyon analizleri için farklı senaryoların üretilmesi için ise bir GA kullanılmıştır. Geliştirdikleri yapı ile farklı büyüklükte problemlere ait elde edilen sonuçların daha etkin olduğunu belirtmişlerdir. Aynı yazarlar yaptıkları başka bir çalışmada ise simülasyon tabanlı bu yapıyı gerçek bir sisteme uygulamış ve toplam operasyonel zamanlarda %16,1 iyileşme sağlamışlardır (McWilliams ve ark. 2008).

Wang ve Regan (2008) yaptıkları çalışmada ÇSM alanlarında birden fazla boşaltma kapısı için genellikle ilk gelen ilk servis alır stratejisinin uygulandığını fakat bu stratejinin her zaman en iyi sonucu vermeyeceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle araçların çizelgenmesi konusunda bazı kurallar sunmuşlardır. Önerdikleri bu kurallar ile ilk gelen ilk servis alır stratejisine göre çizelgelerde önemli zaman tasarrufları sağladıklarını belirtmişlerdir.

Rosales ve ark. (2009) birden fazla boşaltma kapısına ait çizelgeleme problemini büyük boyutlu ÇSM alanları için dikkate almıştır. Ek maliyet ile gecikmeye izin verilen problemde bütün araçların çizelgeleme başında uygun olduğu varsayılmıştır. Yazarlar problemi karma tamsayı matematiksel model olarak formüle etmiş ve CPLEX ile kabul edilebilir işlem zamanları içinde problemler için çözüm elde edebilmişlerdir. Sadece toplama işlemi yapan araçların çizelgelendiği benzer çalışmalar Chmielewski ve ark. (2009), McWilliams (2009) ve McWilliams (2010) tarafından çalışılmıştır. Konur ve Golias (2013) ise bu çizelgeleme probleminde araç varışlarının belirsiz olduğu durumları göz önüne almış ve problemin çözümü için ilk gelen ilk servis alır politikasının kullanıldığı bir genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Liao ve ark. (2013) sadece toplama işlemi yapan araçların çizelgelenmesi için kapsamlı bir çalışma yapmış ve problemin çözümü için altı farklı meta-sezgisel algoritmanın performansını analiz etmişlerdir. Bu algoritmalar; TB, TA, KKO, DGA ve iki farklı hibrit DGA'dır. Her bir algoritmanın 40 farklı örnek problem üzerinde test edilmesi ile elde edilen sonuçları dört ana başlıkta özetlemişlerdir. Birincisi, dikkate alınan problemin çözümü için meta-sezgisel algoritmalar genel olarak daha etkilidir. İkincisi, popülasyon tabanlı algoritmalar diğer algoritmalara göre genel olarak daha üstündür. Üçüncü çıkarım, algoritmalara ait uygun parametre değerlerinin kullanılması, TB ve TA algoritmaları için diğer popülasyon tabanlı algoritmalara göre çözüm kalitesi açısından daha önemlidir. Son olarak, KKO algoritması ve hibrit DGA'dan ikincisi, diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar üretmiş ve bu iki algoritmadan hibrit DGA daha kısa sürelerde sonuca ulaşması nedeniyle çalışılan algoritmalar arasında en iyi algoritma olarak belirtilmiştir. Liao ve ark. (2014) çizelgeleme probleminin çözümüne ait algoritmaların kıyaslanması için başka bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Hem bağımsız paralel makine çizelgeleme, hem de çapraz sevkியatta araç çizelgeleme probleminin göz önüne alındığı bu çalışmada üç farklı hibrit KKO ve iki farklı hibrit TB algoritmasının performansları kıyaslanmıştır. Yaptıkları sayısal uygulamalar sonucunda problemin çözümü için geliştirmiş oldukları iki kademeli hibrit KKO algoritmasının en iyi performansı gösterdiğini belirtmişlerdir.

Araç çizelgeleme konusunda literatürde yer alan diğer çalışmalarda ise hem toplama yapan araçların hem de dağıtım yapan araçların çoklu kapılarda çizelgelenmesi

problemi dikkate alınmıştır. Shakeri ve ark. (2008) bu problem için kapsamlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelde boşaltma kapılarına ve yükleme kapılarına olan araç atamaları iki farklı aşama olarak tanımlanmış ve her iki ayrı aşamada kapılar birer paralel makine gibi dikkate alınmıştır. Birleştirme alanlarına yapılan taşımaların da göz önünde bulundurulduğu modelde amaç, toplam operasyonel zamanı en aza indirmektir. Benzer çizelgeleme probleminin çözümü için Maknoon ve ark. (2014) araçların ilk gelen ilk servisi alır stratejisine dayanan bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

Boysen (2010) ise çizelgeleme problemini gıda sektörüne ait bir dağıtım sistemi için incelemiştir. Gıda ürünlerinin çabuk bozulmalarından dolayı çapraz sevkiyat sisteminde sıfır stok stratejisi dikkate alınmıştır. Problemin çözümü için ise dinamik programlama ve TB algoritması kullanılmıştır.

Kuo (2013) diğer çalışmalardan farklı olarak araç çizelgeleme probleminde her bir ürün için toplama araçlarından boşaltma ve dağıtım araçlarına yükleme zamanlarını dikkate almıştır. Problemde dikkate alınan diğer bir varsayım ise toplama yapan bir araca ait ürünlerin yükleme kapılarına transferlerinin ancak aracın tamamıyla boşaltılması ile başlamasıdır. Çalışmada problemin çözümü için bir değişken komşu arama algoritması geliştirilmiş ve bu algoritmanın performansı, dört farklı TB algoritması ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlarda değişken komşu arama algoritması her problem için en iyi sonucu bulamasa da genel olarak TB algoritmasına göre daha üstün olduğu belirtilmiştir.

Ladier ve Alpan (2013) problemde ürünlerin alan içinde bekletilecekleri konumları da dikkate almış ve oluşturdukları matematiksel modelde, ÇSM alanında bekletilecek palet sayısını ve toplam operasyonel zamanı en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Problemin çözümü için çalışmada iki farklı sezgisel metot önerilmiştir.

Madani-Isfahani ve ark. (2014) ise çalışmalarında birden fazla ÇSM için araç çizelgeleme problemini dikkate almıştır. Problemde, aynı ürünlerin farklı ÇSM'lere gönderilmesine ve bu ürünlerin ÇSM alanlarında anlık olarak bekletilmesine izin verilmiştir. Yazarlar, problemin çözümü için TB ve ateşböceği algoritmalarını kullanmış ve bu iki algoritmanın performanslarını karşılaştırmışlardır. Büyük boyutlu

problemler üzerinde yapılan analizler sonucunda ateşböceği algoritmasının daha kısa işlem süreleriyle daha iyi sonuç elde ettiğini belirtmişlerdir. Ürünlerin ÇSM alanlarında anlık olarak bekletilmesine izin veren varsayımı dikkate alan diğer bir çalışma Shiguemoto ve ark. (2014) tarafından yapılmış ve problemin çözümü için hibrit bir GA geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma ile ateşböceği algoritmasına göre ortalama %21,24 daha iyi sonuç elde edilmiştir.

2.7. Çapraz Sevkiyat Merkezlerinde Malzeme Yerleşim Planlaması

Çapraz sevkiyatın temelinde depolama mantığı yer alması da gelen malzemelerin ÇSM alanında kısa süreliğine bekletilmesi olası bir durumdur. Yukarıdaki bölümlerde yer aldığı gibi orta ve uzun vadede oluşturulan yerleşim planlarına göre ÇSM alanı içerisinde taşımaların minimize edilebilmesi için araçlardan boşaltılan malzemelerin nerede bekletileceği önemli bir konudur.

Werners ve Wülfing (2010) gerçek hayata ait yaptıkları uygulamada, tedarikçilerden toplama işlemi yapan araçlar çapraz sevkiyat merkezine gelmekte ve daha sonra malzemeler konveyör ile yükleme kapılarına taşınmaktadır. Konveyörün bittiği son noktada malzemeler araçlara yükleme sırasına göre bekletilmektedir. Sistemde, son noktadan araçlara kadar olan taşımalar ise manuel olarak yapılmaktadır. Bu manuel taşımalar aşırı zaman kaybettiren ve maliyetli olan bir işlemdir. Yapılan çalışmada, malzemelerin konveyörden indikten sonra hangi konumda bekletileceği konusu araştırılmıştır. Yazarlar problemi doğrusal atama problemi gibi modellemiş ve çözüm aşamasında hiyerarşik ayrıştırma yaklaşımı kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar ile mevcut duruma göre taşıma mesafelerinde %37-39 iyileşme sağlamışlardır.

Vis ve Roodbergen (2011) yaptıkları çalışmada ÇSM alanı içerisinde yapılan taşımalara ait mesafelerin minimizasyonu için farklı yerleşim stratejilerinde dinamik konumlandırma metodunu kullanmışlardır. Gerçek hayatta yer alan bir problem üzerinde uygulamalar yaparak mevcut duruma göre ortaya çıkan iyileşmeleri tespit etmişlerdir.

Choy ve ark. (2012) ÇSM’de malzeme yerleşim problemini araç çizelgeleme problemi ile birlikte bütünlük olarak ele almışlardır. Problemden, toplama yapan araçlardan

boşaltılan ürünler, alan içi taşıma yapan araçlara yüklenerek malzemelerin bekletileceği alanlara taşınmakta ve müşteri talebine göre dağıtım işlemi yapılmaktadır. Dağıtım ve toplama yapacak araçların yükleme işlemlerinin ise belirli bir zaman dilimi içinde gerçekleşmesi gerekmektedir. Yazarlar problemin çözümü için geliştirdikleri sezgisel algoritma ile çapraz sevkiyat operasyonlarının verimliliğini %10-20 arasında iyileştirdiklerini belirtmişlerdir.

Çapraz sevkiyatta malzeme yerleşim ve araç çizelgeleme probleminin bütünleşik olarak dikkate alındığı diğer bir çalışma ise Luo ve Noble (2012) tarafından gerçekleştirilmiştir. Choy ve ark. (2012) dikkate alınan problemde olduğu gibi bu problemde de zaman kısıtları dahilinde araç-kapı atama ve ürünlerin bekletileceği alanlara atanması kararları belirlenmektedir. Problem, karma tamsayılı matematiksel model olarak formüle edilmiş ve 50'den fazla kapıya sahip ÇSM alanlarında problemin çözümü için bir GA geliştirilmiştir.

2.8. Çapraz Sevkiyatta Diğer Konular

Yukarıda bahsedilen problemler dışında bazı çalışmalar çapraz sevkiyat sisteminde farklı konuları dikkate almıştır. Li ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada araç çizelgeleme yaklaşımı yerine ÇSM alanında taşımaları gerçekleştiren ekiplerin çizelgenmesi problemini incelemişlerdir. Yazarlar problemi paralel makine çizelgelemesi olarak tamsayılı olarak modellemiş ve çözümü için GA'yı temel alan iki farklı algoritma geliştirmişlerdir. Her iki algoritma ile optimum sonuca yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Aynı problem için Alvarez-Perez ve ark. (2009) bir TA algoritması geliştirmişlerdir. Waller ve ark. (2006) çapraz sevkiyat sisteminin stoklar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yan ve Tang (2009) ve Tang ve Yan (2010) ise klasik dağıtım sistemleri ile çapraz sevkiyat sistemi arasındaki maliyetleri incelemiş ve aralarındaki farkları irdelemişlerdir.

3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELİ

Kaynak araştırmasında belirtildiği gibi çapraz sevkiyat konusu, son yıllarda ortaya çıkmış ve klasik taşıma sistemlerine göre daha etkin ve verimli çalışabilen bir taşıma stratejisidir. Literatürde yer alan birçok çalışma; çapraz sevkiyat uygulamalarının stratejik, taktik ve operasyonel karar alma süreçlerinde var olan temel problemleri ele almaktadır. Bu problemlerden, çapraz sevkiyat merkezinin yer seçimi ve çapraz sevkiyat merkezine ait alan yerleşim problemi dışında kalan problemler genellikle taktik veya operasyonel karar alma süreçlerinde yer alan problemlerdir. Kısa ve orta ölçekli zaman diliminde değişen ortam koşulları, arz-talep miktarları veya maliyet değişimlerine göre çapraz sevkiyat sisteminin tekrardan planlanması gerekmektedir.

Yapılan tez çalışması kapsamında çapraz sevkiyatta ürün akışlarının ve kapasite planlarının daha gerçekçi ve bütüncül olarak planlanabilmesi için çapraz sevkiyatta şebeke tasarımına ait ulaştırma problemi ve araç kapı atama problemi birlikte ele alınmıştır. Amaç; üretici, müşteri ve ÇSM'ler arasında gerçekleşen araç taşıma maliyetlerini ve ÇSM'lerde bir kapıdan bir kapıya olan ürün taşıma maliyetlerini en aza indirmektir. Probleme belirlenmesi gereken temel kararlardan bir tanesi şebeke tasarımıdır. Şebeke tasarımında, üreticilerden ÇSM'lere ürün taşıyacak olan toplama araçlarının ve ÇSM'lerden müşterilere ürün taşıyacak olan dağıtım araçlarının atamaları yapılması gerekmektedir. Araç atamalarını etkileyen ve aynı zamanda planlanması gereken diğer bir karar ise ürünlerin müşterilere hangi ÇSM'den gönderileceği kararının verilmesidir. Çalışmada ürün olarak adlandırılan nesne bir palet veya bir kasa olabilir ve bu nesnelerin boyutları birbirlerinden farklı olabilmektedir. Aynı şekilde taşımalarda kullanılan araç filosu birbirinden farklı boyutlarda araçlara sahip olabilmektedir. Bu nedenle çapraz sevkiyat şebekesinde kapasite planlarının daha etkin şekilde yapılabilmesi için araç yüklemeleri iki boyutlu olarak planlanmıştır. Bu sayede bir ürünün bir araç içerisinde konumu belirlenebilmekte ve araç yükleme planı oluşturulabilmektedir.

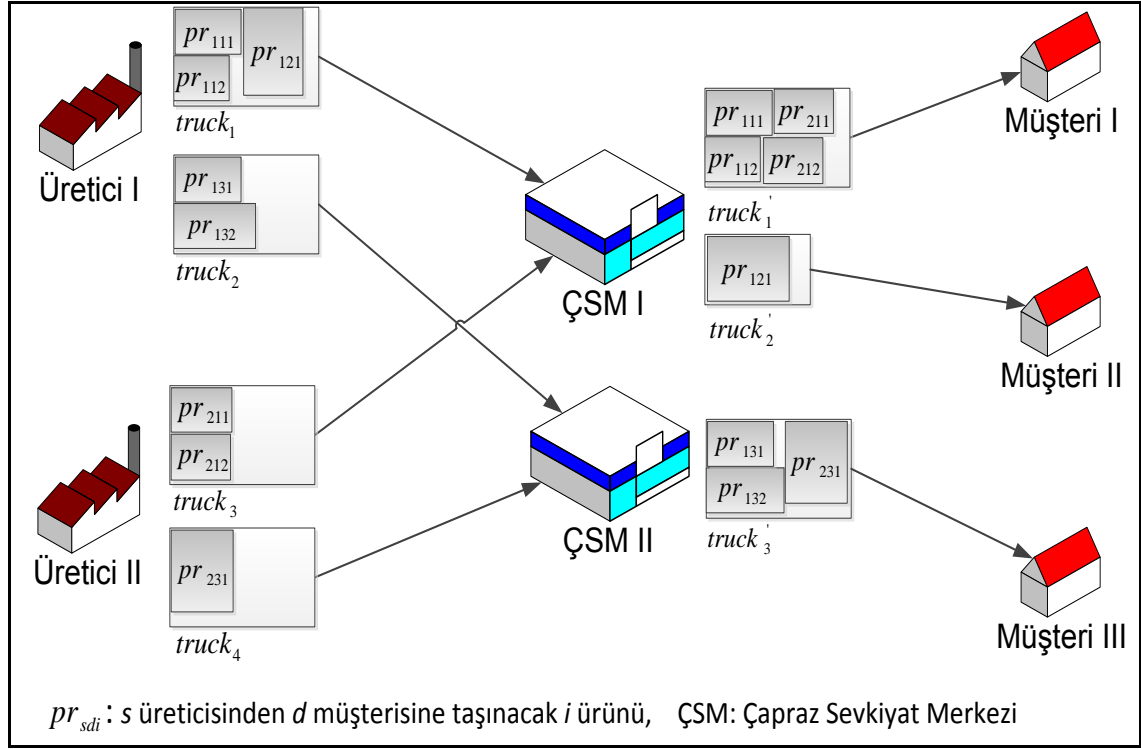
Çalışmada yer alan ikinci problem ise iki aşamalı ürün taşıma sisteminin dikkate alındığı ÇSM'lere ait alanlarda araç-kapı atama problemidir. Şebeke tasarımı oluşturulduktan sonra bir ÇSM'ye gelecek olan ve aynı ÇSM'den müşterilere gidecek

olan araçlar planlanabilmektedir. Aynı zamanda bu araçların içerisinde hangi ürünlerin yer aldığı da bilinmektedir. Çapraz sevkiyat sisteminde toplama araçları ürünleri, ÇSM alanına boşaltmakta ve bu ürünler gidecekleri müşterilere göre birleştirilerek dağıtım yapacak araçlara tekrar yüklenmektedir. Bu aşamada her bir ürün veya palet, bir boşaltma kapısından bir yükleme kapısına iki aşamada (boşaltma kapısından bekleme alanına ve bekleme alanından yükleme kapısına) taşınmakta ve bu da bir alan içi taşıma maliyetine neden olmaktadır. Bu sebeple ÇSM alanına toplama işleminden gelen ve ÇSM alanından dağıtıma gidecek araçların kapı atamaları dikkate alınmıştır.

Yukarıda ifade edilen iki problemin birleştirilmesi ile çapraz sevkiyat sisteminde taşıma yapacak araçların ve her bir ürünün üreticiden müşteriye olan akışı bütüncül bir şekilde planlanabilmektedir. Diğer yandan iki boyutlu araç yükleme kısıtları ile gerçekçi bir araç yükleme ve kapasite planlama olanağı sağlanmaktadır. Tanımlanan problemde dikkate alınan varsayımlar aşağıda verilmektedir:

- Şebekede üreticiden müşterilere olan doğrudan taşımalara izin verilmemektedir.
- Ürün akışlarında atanmış talep söz konusudur (Her bir ürünün gönderileceği müşteri noktası önceden bilinmektedir).
- Dağıtım ve toplama işlemi yapacak araçlar şebekede tek bir lokasyona taşıma yapabilir.
- Araç kapasiteleri, ağırlık veya yük miktarı yerine iki boyutlu kısıtlarla hesaplanmaktadır.
- Ürünler araç içerisinde veya ÇSM alanlarında üst üste istif yapılmadan yerleştirilmektedir.
- Ürünler ve araçların yükleme alanları dikdörtgen biçiminde şekillere sahiptir.
- Taşımaların yapıldığı araçlar ve üreticilerden müşterilere gönderilen her bir ürün farklı boyutlara sahip olabilir.
- Bir noktadan bir noktaya olan taşıma maliyeti iki nokta arasındaki mesafeyle ilişkilidir.
- Üreticilerden ÇSM'lere veya ÇSM'lerden müşterilere gönderilecek her araç bir maliyet oluşturmaktadır.
- ÇSM alanlarında toplama işlemi yapan araçlar boşaltma kapılarına ve dağıtım işlemi yapan araçlar yükleme kapılarına yanaşabilirler.

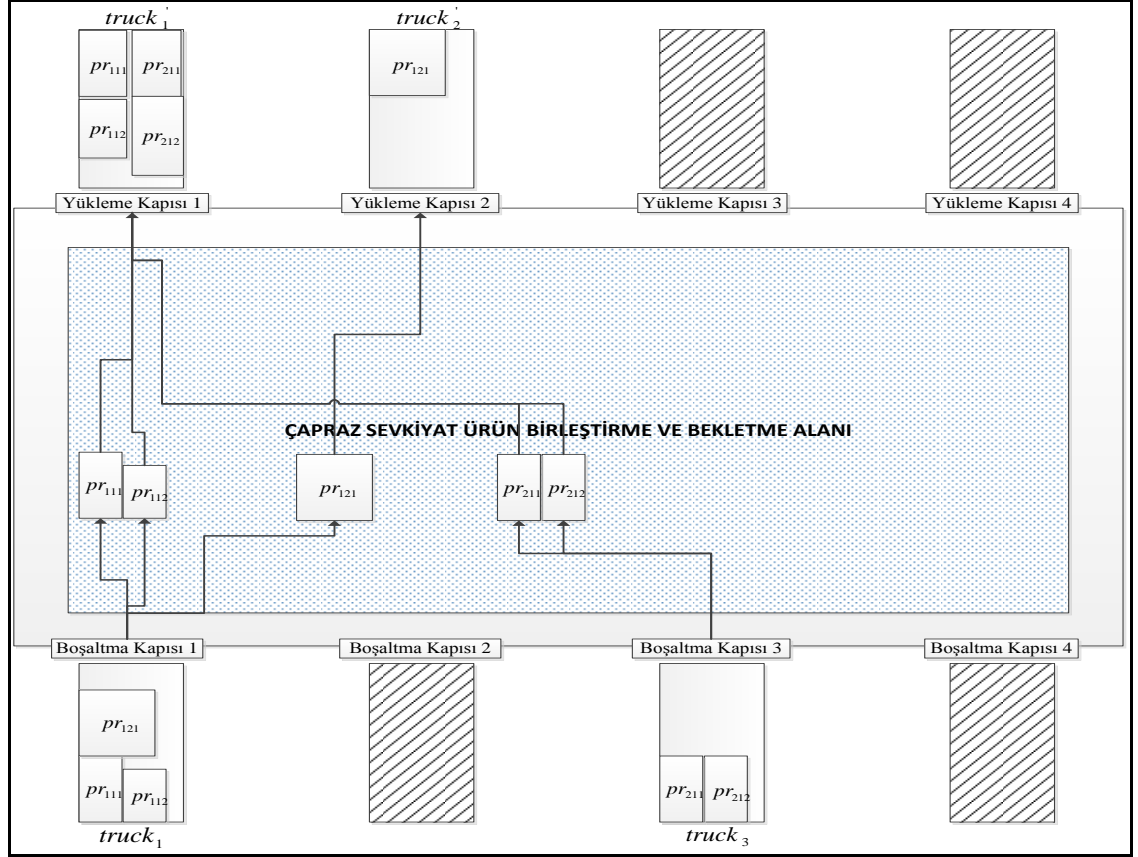
Şekil 3.1’de ÇSÜAYP’e ait örnek bir şebeke gösterimi yer almaktadır. İki farklı müşteriye ait toplamda dört toplama aracının gidecekleri ÇSM’ler ve bu araçların yerleşim planları belirtilmektedir. Aynı zamanda ÇSM’lerden müşterilere gidecek olan dağıtım araçları ve bu araçların yerleşim planları da yer almaktadır. Şekil 3.2’de ise, Şekil 3.1’de yer alan ÇSM 1 için örnek bir araç-kapı ataması yer almaktadır.



Şekil 3.1. Tanımlanan probleme ait örnek bir şebeke tasarımı

ÇSÜAYP'nin matematiksel olarak formüle edilmesi aşamasında iki farklı modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Birinci yaklaşımda, problem bütünlük olarak dikkate alınarak tek bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bütünlük model olarak adlandırılan bu modelde, çapraz sevkiyat şebeke tasarımında ulaştırma problemi, çapraz sevkiyatta araç-kapı atama problemi ve iki boyutlu ürün yerleşim probleminin çözümüne yönelik kısıtlar yer almaktadır. Modelin çıktısı olarak üreticilerden müşterilere olan ürün akış, ürün yerleşim ve araç atama kararlarına tek seferde ulaşılabilmektedir. Probleme ait matematiksel modelin oluşturulmasında kullanılan ikinci yaklaşımda ise problem iki aşamada dikkate alınmıştır. İki aşamalı model olarak adlandırılan yapının ilk aşamasında çapraz sevkiyat şebeke tasarımına ait ulaştırma problemi ve iki boyutlu araç

yerleşim kısıtları dikkate alınarak bir matematiksel model oluşturulmuş ve bu modelin çıktıları ikinci aşamanın girdisi olarak kullanılmıştır. İkinci aşamada ise ÇSM'lerde araç-kapı atama problemini ürün yerleşim kısıtları ile dikkate alan matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bütünlük ve iki aşamalı matematiksel model aşağıda detaylı bir şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 3.2. Çapraz sevkiyatta araç-kapı atamasına örnek bir gösterim

3.1. ÇSÜAYP'ye Ait Bütünlük Model

Bütünlük model yaklaşımında üreticilerden müşterilere olan ürün akışı tek bir model ile planlanabilmektedir. Geliştirilen matematiksel model, çapraz sevkiyat şebeke tasarımında ulaştırma problemi, çapraz sevkiyatta araç-kapı atama problemi ve iki boyutlu ürün yerleşim problemine çözüm sunmaktadır. Matematiksel modele ait notasyon ve karar değişkenleri aşağıda tanımlanmaktadır.

Notasyonlar

- S : Üretici noktaları kümesi
- C : ÇSM noktaları kümesi
- D : Müşteri noktaları kümesi
- PR : Üreticilerden müşterilere gönderilecek ürünler kümesi
- TR : Üretici noktalarından ÇSM'lere toplama yapacak araçlar kümesi
- TR' : ÇSM'lerden müşterilere dağıtım yapacak araçlar kümesi
- dem_i : i ürününü arz eden üretici noktası; $\forall i \in PR$
- dem'_i : i ürününü talep eden müşteri noktası; $\forall i \in PR$
- q_i : i ürününün genişliği; $\forall i \in PR$
- p_i : i ürününün uzunluğu; $\forall i \in PR$
- $truck_k$: Toplama için kullanılan k aracının ait olduğu üretici noktası; $\forall k \in TR$
- W_k : Toplama için kullanılan k aracının genişliği; $\forall k \in TR$
- L_k : Toplama için kullanılan k aracının uzunluğu; $\forall k \in TR$
- $truck'_k$: Dağıtım için kullanılan k aracının ait olduğu ÇSM; $\forall k \in TR'$
- W'_k : Dağıtım için kullanılan k aracının genişliği; $\forall k \in TR'$
- L'_k : Dağıtım için kullanılan k aracının uzunluğu; $\forall k \in TR'$
- $cost_{sc}$: s üreticisinden c çapraz sevkiyat merkezine giden bir toplama aracının taşıma maliyeti; $\forall s \in S, \forall c \in C$
- $cost'_{cd}$: c çapraz sevkiyat merkezinden d müşterisine giden bir dağıtım aracının taşıma maliyeti; $\forall c \in C, \forall d \in D$
- $cost_{cr}$: ÇSM alanı içerisinde birim taşıma maliyeti

W_{CR_S} : ÇSM’de ürünlerin bekletileceği alana ait başlangıç x koordinatı

W_{CR_E} : ÇSM’de ürünlerin bekletileceği alana ait bitiş x koordinatı

L_{CR_S} : ÇSM’de ürünlerin bekletileceği alana ait başlangıç y koordinatı

L_{CR_E} : ÇSM’de ürünlerin bekletileceği alana ait bitiş y koordinatı

DR : ÇSM’de toplama yapan araçların boşaltma yapacağı kapılar kümesi

DR' : ÇSM’den dağıtıma gidecek araçların yükleme yapacağı kapılar kümesi

DR_{X_m} : ÇSM’de m boşaltma kapısının konumuna ait x koordinat değeri; $\forall m \in DR$

DR_{Y_m} : ÇSM’de m boşaltma kapısının konumuna ait y koordinat değeri; $\forall m \in DR$

$DR_{X'_n}$: ÇSM’de n yükleme kapısının konumuna ait x koordinat değeri; $\forall n \in DR'$

$DR_{Y'_n}$: ÇSM’de n yükleme kapısının konumuna ait y koordinat değeri; $\forall n \in DR'$

M : Büyük bir sayı

$\varepsilon_i = \{k \in TR: truck_k = dem_i\}$

$\tau_c = \{k \in TR': truck'_k = c\}$

$\pi_i = \{d \in D: d = dem'_i\}$

$\rho_k = \{i \in PR: dem_i = truck_k\}$

$\mu_d = \{i \in PR: dem'_i = d\}$

$\theta = \{(i, j) \in PR: dem_i = dem_j, i < j\}$

$\vartheta = \{(i, j) \in PR: dem'_i = dem'_j, i < j\}$

Karar Değişkenleri

z_{ikc} : i ürünü k aracı ile c çapraz sevkiyat merkezine taşınırsa 1, aksi halde 0; $\forall i \in PR, \forall k \in \varepsilon_i, \forall c \in C$

z'_{ikd} : i ürünü k aracı ile d müşterisine taşınırsa 1, aksi halde 0; $\forall i \in PR, \forall k \in TR', \forall d \in \pi_i$

v_{kcm} : s üretici noktasından gelen k toplama aracı c çapraz sevkiyat merkezinde m kapısına atanırsa 1, aksi halde 0; $\forall k \in TR, \forall c \in C, \forall m \in DR$

v'_{kdn} : d müşterisine gidecek k dağıtım aracı n kapısına atanırsa 1, aksi halde 0; $\forall k \in TR', \forall d \in D, \forall n \in DR'$

f_{imn} : i ürünü ÇSM alanında m kapısından n kapısına taşınıyorsa 1, aksi halde 0; $\forall i \in PR, \forall m \in DR, \forall n \in DR'$

x_i : Üreticiden ÇSM'ye gönderilen i ürününün toplama aracı içindeki x koordinatı; $\forall i \in PR$

y_i : Üreticiden ÇSM'ye gönderilen i ürününün toplama aracı içindeki y koordinatı; $\forall i \in PR$

x'_i : ÇSM'den müşteriye gönderilen i ürününün dağıtım aracı içindeki x koordinatı; $\forall i \in PR$

y'_i : ÇSM'den müşteriye gönderilen i ürününün dağıtım aracı içindeki y koordinatı; $\forall i \in PR$

x''_i : i ürününün ÇSM alanında bekletildiği konuma ait x koordinatı; $\forall i \in PR$

y''_i : i ürününün ÇSM alanında bekletildiği konuma ait y koordinatı; $\forall i \in PR$

$\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}, \delta_{ij}$: ÇSM'ye giden bir araç içerisinde i ürünü j ürününün sırasıyla solunda, sağında, altında veya üstünde yer alıyorsa 1, aksi halde 0; $\forall (i, j) \in \theta$

$\alpha'_{ij}, \beta'_{ij}, \gamma'_{ij}, \delta'_{ij}$: Müşterilere giden bir araç içerisinde i ürünü j ürününün sırasıyla solunda, sağında, altında veya üstünde yer alıyorsa 1, aksi halde 0; $\forall (i, j) \in \vartheta$

$\alpha''_{ij}, \beta''_{ij}, \gamma''_{ij}, \delta''_{ij}$: ÇSM alanı içerisinde i ürünü j ürününün sırasıyla solunda, sağında, altında veya üstünde yer alıyorsa 1, aksi halde 0; $\forall (i, j) \in PR, i < j$

ÇSÜAYP için geliştirilmiş olan bütünleşik model aşağıda tanımlanmıştır.

Amaç fonksiyonu :

$$\begin{aligned}
Min \quad & \sum_{k \in TR} \sum_{c \in C} \sum_{m \in DR} cost_{truck_{kc}} v_{kcm} + \sum_{k \in TR'} \sum_{d \in D} \sum_{n \in DR'} cost'_{truck'_{kd}} v'_{kdn} \\
& + \sum_{i \in PR} \sum_{m \in DR} \sum_{n \in DR'} cost_{cr} \times f_{imn} \times (|x_i'' - DR_{X_m}| + |x_i'' - DR_{X'_n}|) \\
& + \sum_{i \in PR} \sum_{m \in DR} \sum_{n \in DR'} cost_{cr} \times f_{imn} \times (|y_i'' - DR_{Y_m}| + |y_i'' - DR_{Y'_n}|) \quad (3.1)
\end{aligned}$$

Kısıtlar :

$$\sum_{k \in \epsilon_i} \sum_{c \in C} z_{ikc} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.2)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{m \in DR} v_{kcm} \leq 1 \quad \forall k \in TR \quad (3.3)$$

$$\sum_{i \in \rho_k} z_{ikc} \leq M \sum_{m \in DR} v_{kcm} \quad \forall c \in C, \quad \forall k \in TR \quad (3.4)$$

$$\sum_{k \in TR} v_{kcm} \leq 1 \quad \forall c \in C, \quad \forall m \in DR \quad (3.5)$$

$$\sum_{k \in TR'} \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.6)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{n \in DR'} v'_{kdn} \leq 1 \quad \forall k \in TR' \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in \mu_d} z'_{ikd} \leq M \sum_{n \in DR'} v'_{kdn} \quad \forall d \in D, \quad \forall k \in TR' \quad (3.8)$$

$$\sum_{k \in \tau_c} \sum_{d \in D} v'_{kdn} \leq 1 \quad \forall c \in C, \quad \forall n \in DR' \quad (3.9)$$

$$\sum_{k \in \varepsilon_i} z_{ikc} = \sum_{k \in \tau_c} \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} \quad \forall i \in PR, \quad \forall c \in C \quad (3.10)$$

$$\sum_{m \in DR} \sum_{n \in DR'} f_{imn} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.11)$$

$$\sum_{c \in C} (z_{ikc} + v_{kcm}) \leq 1 + \sum_{n \in DR'} f_{imn} \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in \varepsilon_i, \quad \forall m \in DR \quad (3.12)$$

$$\sum_{d \in \pi_i} (z'_{ikd} + v'_{kdn}) \leq 1 + \sum_{m \in DR} f_{imn} \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR', \quad \forall n \in DR' \quad (3.13)$$

$$x_i + q_i \leq x_j + M(1 - \alpha_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \theta \quad (3.14)$$

$$x_j + q_j \leq x_i + M(1 - \beta_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \theta \quad (3.15)$$

$$y_i + p_i \leq y_j + M(1 - \gamma_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \theta \quad (3.16)$$

$$y_j + p_j \leq y_i + M(1 - \delta_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \theta \quad (3.17)$$

$$\alpha_{ij} + \beta_{ij} + \gamma_{ij} + \delta_{ij} \geq \sum_{c \in C} (z_{ikc} + z_{jkc}) - 1 \quad \forall (i, j) \in \theta, \quad \forall k \in \varepsilon_i \quad (3.18)$$

$$x_i + q_i \leq W_k + M \left(1 - \sum_{c \in C} z_{ikc} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in \varepsilon_i \quad (3.19)$$

$$y_i + p_i \leq L_k + M \left(1 - \sum_{c \in C} z_{ikc} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in \varepsilon_i \quad (3.20)$$

$$x'_i + q_i \leq x'_j + M(1 - \alpha'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \vartheta \quad (3.21)$$

$$x'_j + q_j \leq x'_i + M(1 - \beta'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \vartheta \quad (3.22)$$

$$y'_i + p_i \leq y'_j + M(1 - \gamma'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \vartheta \quad (3.23)$$

$$y'_j + p_j \leq y'_i + M(1 - \delta'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \vartheta \quad (3.24)$$

$$\alpha'_{ij} + \beta'_{ij} + \gamma'_{ij} + \delta'_{ij} \geq \sum_{d \in \pi_i} (z'_{ikd} + z'_{jkd}) - 1 \quad \forall (i, j) \in \vartheta, \quad \forall k \in TR' \quad (3.25)$$

$$x'_i + q_i \leq W'_k + M \left(1 - \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR' \quad (3.26)$$

$$y'_i + p_i \leq L'_k + M \left(1 - \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR' \quad (3.27)$$

$$x''_i + q_i \leq x''_j + M(1 - \alpha''_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.28)$$

$$x''_j + q_j \leq x''_i + M(1 - \beta''_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.29)$$

$$y''_i + p_i \leq y''_j + M(1 - \gamma''_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.30)$$

$$y''_j + p_j \leq y''_i + M(1 - \delta''_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.31)$$

$$\alpha''_{ij} + \beta''_{ij} + \gamma''_{ij} + \delta''_{ij} \geq \sum_{k \in TR} (z_{ikc} + z_{jkc}) - 1 \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j, \quad c \in C \quad (3.32)$$

$$x''_i \geq W_CR_S \quad \forall i \in PR \quad (3.33)$$

$$x''_i + q_i \leq W_CR_E \quad \forall i \in PR \quad (3.34)$$

$$y''_i \geq L_CR_S \quad \forall i \in PR \quad (3.35)$$

$$y''_i + p_i \leq L_CR_E \quad \forall i \in PR \quad (3.36)$$

Tanımlanan modelde 3.2-3.13 no.'lu kısıtlar şebeke tasarımı ve ürün akışını belirlemektedir. Bu kısıtların sağladığı koşullar:

- Kısıt 3.2; her ürün sadece bir toplama aracı ile bir ÇSM'ye gidebilir. Ayrıca ürünün yükleneceği toplama aracı, ürünü arz eden üretici noktasına ait olmak zorundadır.
- Kısıt 3.3; toplama yapacak her araç en fazla bir ÇSM'ye ve bu ÇSM'de bulunan bir boşaltma kapısına atanabilir.
- Kısıt 3.4; eğer bir k toplama aracı c çapraz sevkiyat merkezine atanmışsa bu toplama aracına, c çapraz sevkiyat merkezine gidecek ürünler yüklenebilir.
- Kısıt 3.5; ÇSM'deki her bir boşaltma kapısına en fazla bir araç yanaşabilir.

- Kısıt 3.6; d müşterisine ait i ürünü sadece bir k dağıtım aracı ile müşteriye teslim edilebilir.
- Kısıt 3.7; dağıtım yapacak her araç en fazla bir ÇSM'nin bir yükleme kapısına atanabilir.
- Kısıt 3.8; eğer bir k dağıtım aracı d müşterisine gönderiliyorsa bu araca d müşterisine ait ürünler yüklenebilir.
- Kısıt 3.9; bir c çapraz sevkiyat merkezinde bulunan n yükleme kapısına en fazla bir araç atanabilir.
- Kısıt 3.10; eğer bir i ürünü c çapraz sevkiyat merkezine gönderilmişse bu ürün yine c çapraz sevkiyat merkezinden yükleme yapılarak müşteriye gönderilebilir. Bu kısıt şebeke içerisinde ürün akışının devamlılığını sağlar.
- Kısıt 3.11-3.13; bir i ürününün ÇSM'de kapı atamalarını gerçekleştirmektedir. Bu kısıtlar ile ürünün ÇSM'de boşaltılacağı kapı ile gönderileceği kapı, ürünün yüklendiği toplama ve dağıtım araçlarına göre belirlenmektedir.

3.16-3.36 no.'lu kısıtlar, ürünlerin toplama ve dağıtım araçları içindeki ve ÇSM alanları içerisinde bekletileceği konumlarını belirlemektedir. Bu kısıtların sağladığı koşullar:

- Kısıt 3.14-3.18; aynı üreticiye ait iki ürün eğer aynı toplama aracına atanmışsa bu iki ürünün birbirlerine göre konumları belirlenmektedir. Kısıt 3.18'de; eğer iki ürün aynı toplama aracına atanmışsa bu iki ürüne ait konum değişkenlerinden en az bir tanesi 1 değerini alacaktır. Kısıt 3.14 ve Kısıt 3.15'de eğer i ürünü j ürününün sağında veya solunda ise buna göre ürünlerin x koordinatları belirlenmektedir. Kısıt 3.16 ve Kısıt 3.17'de eğer i ürünü j ürününün altında veya üstünde ise buna göre ürünlerin y koordinatları belirlenmektedir.
- Kısıt 3.19-3.20; eğer bir i ürünü k toplama aracına atanmışsa bu ürünün araç sınırları içerisinde yer alması garanti altına alınmıştır.
- Kısıt 3.21-3.27; kısıt 3.14-3.20'de olduğu gibi ÇSM'lerden müşterilere olan taşımalarda ürünlerin dağıtım araçları içindeki konumlarını belirlemektedir.
- Kısıt 3.28-3.36; ürünlerin ÇSM'lerde bekletileceği konumları belirlemektedir. Araç yerleşimlerinde olduğu gibi alan içi yerleşimde de eğer iki ürün aynı ÇSM'ye gönderilmiş ise bu iki ürünün birbirlerine göre pozisyonları ve alan

içindeki yerleşim konumları belirlenmektedir. Ayrıca ÇSM'lerde ürünler belirli bir alanda bekletileceğinden bu alanların sınırları da birer kısıt olarak ifade edilmiştir.

3.1 no.'lu ifade, bütünleşik modele ait amaç fonksiyonunu belirlemektedir. Amaç fonksiyonu; üreticilerden ÇSM'lere, ÇSM'lerden müşterilere olan araç taşıma maliyetleri ve ÇSM'lerde bir ürünün bir boşaltma kapısından bir yükleme kapısına olan taşıma maliyetlerini içermektedir. İfadede, s üreticisinden c çapraz sevkiyat merkezine olan taşıma maliyeti $cost_{sc}$ ile belirlenmekte ve s üretici noktası $truck_k$ verisinden elde edilmektedir. Eğer bir k toplama aracı ürün nakliyesi için kullanılmış ise bu aracın ait olduğu s üreticisi $cost_{sc}$ 'de girdi olarak kullanılır. Aynı şekilde ÇSM'lerden müşterilere olan taşıma maliyetlerini gösteren $cost'_{cd}$ için c indisi $truck'_k$ ile belirlenmektedir. ÇSM alanları içerisinde yapılan taşımalar ise birim taşıma maliyeti $cost_{cr}$ ile ifade edilmektedir ve bu taşımalar dikdörtgensel olarak varsayılmıştır. Eğer bir i ürünü bir c çapraz sevkiyat merkezinde m boşaltma kapısından n yükleme kapısına taşınacaksa bu taşımanın maliyeti, m boşaltma kapısından ürünün alan içinde bekletileceği konuma olan taşıma maliyeti ve ürünün bekletildiği konumdan n yükleme kapısına olan taşıma maliyetinin toplamıdır. Amaç fonksiyonunda mutlak değer içinde hesaplanan ve lineer olmayan bu ifade aşağıda tanımlanan sürekli değişkenler ve 3.37-3.44 no.'lu kısıtlar ile lineer hale getirilmiştir. 3.45 no.'lu ifade, lineer hale getirilen amaç fonksiyonunu belirtmektedir.

Karar değişkenleri :

$move_x_i$: i ürününe ait, boşaltma kapısından bekletileceği konuma kadar olan yatayda yer değiştirme miktarı; $\forall i \in PR$

$move_x'_i$: i ürününe ait, bekletileceği konumdan yükleme kapısına kadar olan yatayda yer değiştirme miktarı; $\forall i \in PR$

$move_y_i$: i ürününe ait, boşaltma kapısından bekletileceği konuma kadar olan dikeyde yer değiştirme miktarı; $\forall i \in PR$

$move_y'_i$: i ürününe ait, bekletileceği konumdan yükleme kapısına kadar olan dikeyde yer değiştirme miktarı; $\forall i \in PR$

Kısıtlar :

$$move_x_i \geq x_i'' - DR_X_m - M \left(1 - \sum_{n \in DR'} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in DR \quad (3.37)$$

$$move_x_i \geq DR_X_m - x_i'' - M \left(1 - \sum_{n \in DR'} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in DR \quad (3.38)$$

$$move_y_i \geq y_i'' - DR_Y_m - M \left(1 - \sum_{n \in DR'} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in DR \quad (3.39)$$

$$move_y_i \geq DR_Y_m - y_i'' - M \left(1 - \sum_{n \in DR'} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in DR \quad (3.40)$$

$$move_x'_i \geq x_i'' - DR_X'_n - M \left(1 - \sum_{m \in DR} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in DR' \quad (3.41)$$

$$move_x'_i \geq DR_X'_n - x_i'' - M \left(1 - \sum_{m \in DR} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in DR' \quad (3.42)$$

$$move_y'_i \geq y_i'' - DR_Y'_n - M \left(1 - \sum_{m \in DR} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in DR' \quad (3.43)$$

$$move_y'_i \geq DR_Y'_n - y_i'' - M \left(1 - \sum_{m \in DR} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in DR' \quad (3.44)$$

Amaç fonksiyonu :

$$\begin{aligned} & Min \sum_{k \in TR} \sum_{c \in C} \sum_{m \in DR} cost_{truck_k c} v_{kcm} + \sum_{k \in TR'} \sum_{d \in D} \sum_{n \in DR'} cost'_{truck'_k d} v'_{kdn} \\ & + \sum_{i \in PR} cost_cr \times (move_x_i + move_x'_i + move_y_i + move_y'_i) \end{aligned} \quad (3.45)$$

3.2. ÇSÜAYP'ye Ait İki Aşamalı Model

İki aşamalı model yaklaşımında çapraz sevkiyat şebeke tasarımına ait ulaştırma problemi ve çapraz sevkiyatta araç-kapı atama problemi ayrı ayrı modellenmiştir. İlk modelde ulaştırma problemi, iki boyutlu araç yerleşim kısıtları ile birlikte dikkate alınmaktadır. İkinci modelde ise ilk modelin sonuçları kullanılarak çapraz sevkiyatta araç-kapı atama problemi, iki boyutlu ürün yerleşim kısıtları ile birlikte dikkate alınmaktadır. ÇSÜAYP'nin çözümü için geliştirilen iki aşamalı model, Model 1 ve Model 2 başlıkları altında tanımlanmıştır.

3.2.1. Model 1: Çapraz sevkiyat şebeke tasarımında ulaştırma problemi

Çapraz sevkiyat şebeke tasarımında ulaştırma probleminin matematiksel olarak modellendiği birinci aşamada üreticilerden ÇSM'lere ve ÇSM'lerden müşterilere olan ürün akışları planlanmaktadır. Modelde, toplama ve dağıtım araçlarının gönderileceği hedef noktalar, toplama ve dağıtım araçlarına yüklenecek ürünler ve araçlara ait iki boyutlu yerleşim planları belirlenmektedir. Araç-kapı atamalarına ilişkin bilgiler bu modelde yer almayacağından, bütünleşik modelde tanımlanan notasyon ve karar değişkenlerine ek olarak Model 1'de kullanılmak üzere iki yeni karar değişkeni tanımlanmıştır. Bu değişkenler:

g_{kc} : s üretici noktasından gelen k toplama aracı c çapraz sevkiyat merkezine atanırsa 1, aksi halde 0; $k \in TR, c \in C$

g'_{kd} : ÇSM'lerden dağıtım yapacak k aracı d müşterisine atanırsa 1, aksi halde 0; $k \in TR', d \in D$

Çapraz sevkiyat şebeke tasarımında ulaştırma probleminin çözümü için geliştirilen matematiksel model aşağıda tanımlanmıştır.

Amaç fonksiyonu :

$$\text{Min} \sum_{k \in TR} \sum_{c \in C} \text{cost}_{truck_{kc}} g_{kc} + \sum_{k \in TR'} \sum_{d \in D} \text{cost}'_{truck'_{kd}} g'_{kd} \quad (3.46)$$

Kısıtlar :

$$\sum_{k \in \varepsilon_i} \sum_{c \in C} z_{ikc} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.47)$$

$$\sum_{c \in C} g_{kc} \leq 1 \quad \forall k \in TR \quad (3.48)$$

$$\sum_{i \in \rho_k} z_{ikc} \leq M g_{kc} \quad \forall c \in C, \quad \forall k \in TR \quad (3.49)$$

$$\sum_{k \in TR'} \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.50)$$

$$\sum_{d \in D} g'_{kd} \leq 1 \quad \forall k \in TR' \quad (3.51)$$

$$\sum_{i \in \mu_d} z'_{ikd} \leq M g'_{kd} \quad \forall d \in D, \quad \forall k \in TR' \quad (3.52)$$

$$\sum_{k \in \varepsilon_i} z_{ikc} = \sum_{k \in \tau_c} \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} \quad \forall i \in PR, \quad \forall c \in C \quad (3.53)$$

$$x_i + q_i \leq x_j + M(1 - \alpha_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \theta \quad (3.54)$$

$$x_j + q_j \leq x_i + M(1 - \beta_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \theta \quad (3.55)$$

$$y_i + p_i \leq y_j + M(1 - \gamma_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \theta \quad (3.56)$$

$$y_j + p_j \leq y_i + M(1 - \delta_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \theta \quad (3.57)$$

$$\alpha_{ij} + \beta_{ij} + \gamma_{ij} + \delta_{ij} \geq \sum_{c \in C} (z_{ikc} + z_{jkc}) - 1 \quad \forall (i, j) \in \theta, \quad \forall k \in \varepsilon_i \quad (3.58)$$

$$x_i + q_i \leq W_k + M \left(1 - \sum_{c \in C} z_{ikc} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in \varepsilon_i \quad (3.59)$$

$$y_i + p_i \leq L_k + M \left(1 - \sum_{c \in C} z_{ikc} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in \varepsilon_i \quad (3.60)$$

$$x'_i + q_i \leq x'_j + M(1 - \alpha'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \vartheta \quad (3.61)$$

$$x'_j + q_j \leq x'_i + M(1 - \beta'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \vartheta \quad (3.62)$$

$$y'_i + p_i \leq y'_j + M(1 - \gamma'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \vartheta \quad (3.63)$$

$$y'_j + p_j \leq y'_i + M(1 - \delta'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \vartheta \quad (3.64)$$

$$\alpha'_{ij} + \beta'_{ij} + \gamma'_{ij} + \delta'_{ij} \geq \sum_{d \in \pi_i} (z'_{ikd} + z'_{jkd}) - 1 \quad \forall (i, j) \in \vartheta, \quad \forall k \in TR' \quad (3.65)$$

$$x'_i + q_i \leq W'_k + M \left(1 - \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR' \quad (3.66)$$

$$y'_i + p_i \leq L'_k + M \left(1 - \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR' \quad (3.67)$$

Tanımlanan modelde 3.47-3.53 no.'lu kısıtlar araç atamalarını ve ürün akışını belirlemektedir. Bu kısıtların sağladığı koşullar:

- Kısıt 3.47; her ürün sadece bir toplama aracı ile bir ÇSM'ye gidebilir.
- Kısıt 3.48; toplama yapacak her k aracı en fazla bir ÇSM'ye atanabilir.
- Kısıt 3.49; eğer toplama işlemi yapacak bir k aracı c çapraz sevkiyat merkezine atanmışsa bu toplama aracına, c çapraz sevkiyat merkezine gidecek ürünler yüklenebilir.
- Kısıt 3.50; d müşterisine ait i ürünü sadece bir dağıtım aracı ile müşteriye teslim edilebilir.
- Kısıt 3.51; dağıtım yapacak her araç en fazla bir ÇSM'ye atanabilir.
- Kısıt 3.52; eğer dağıtım işlemi yapacak bir k aracı d müşterisine gönderiliyorsa bu dağıtım aracına d müşterisine ait ürünler yüklenebilir.
- Kısıt 3.53; eğer bir i ürünü c çapraz sevkiyat merkezine gönderilmişse bu ürün yine c çapraz sevkiyat merkezinden yükleme yapılarak müşteriye gönderilebilir. Bu kısıt şebeke içerisinde ürün akışının devamlılığını sağlar.

3.54-3.67 no.'lu kısıtlar, ürünlerin toplama ve dağıtım araçları içindeki konumlarını belirlemektedir. Bu kısıtların sağladığı koşullar:

- Kısıt 3.54-3.58; aynı üreticiye ait iki ürün eğer aynı toplama aracına atanmışsa bu iki ürünün birbirlerine göre konumlarını belirlemektedir. Kısıt 3.58'de; eğer iki ürün aynı toplama aracına atanmışsa bu iki ürüne ait bir konum değişkeninin 1 olacağı sağlanmaktadır. Kısıt 3.54 ve Kısıt 3.55'de eğer i ürünü j ürününün sağında veya solunda ise buna göre ürünlerin x koordinatları belirlenmektedir. Kısıt 3.56 ve Kısıt 3.57'de ise eğer i ürünü j ürününün altında veya üstünde ise buna göre ürünlerin y koordinatları belirlenmektedir.
- Kısıt 3.59 ve 3.60; eğer bir i ürünü k toplama aracına atanmışsa bu ürünün araç sınırları içerisinde yer alması garanti altına alınmıştır.
- Kısıt 3.61-3.67; 3.54-3.60 kısıtlarına benzer şekilde ÇSM'lerden müşterilere olan taşımalarda ürünlerin dağıtım araçları içindeki konumları belirlenmekte ve ürünlerin araç sınırları içerisinde kalması garanti altına alınmaktadır.

3.46 no.'lu ifade, iki aşamalı modelde Model 1'e ait amaç fonksiyonunu belirlemektedir. Amaç fonksiyonu; üreticilerden ÇSM'lere, ÇSM'lerden müşterilere olan araç taşıma maliyetlerini içermektedir. İfadede, s üretici noktasından c çapraz sevkiyat merkezine olan taşıma maliyeti $cost_{sc}$ ile belirlenmekte ve s üretici noktası $truck_k$ verisinden elde edilmektedir. Eğer bir k toplama aracı ürün nakliyesi için kullanılmış ise bu aracın ait olduğu s üretici noktası $cost_{sc}$ 'de girdi olarak kullanılır. Aynı şekilde ÇSM'lerden müşterilere olan taşıma maliyetlerini gösteren $cost'_{cd}$ için c indisi $truck'_k$ ile belirlenmektedir.

3.2.2. Model 2: Çapraz sevkiyatta araç-kapı atama problemi

ÇSÜAYP'nin çözümü için geliştirilen iki aşamalı matematiksel modelin ikinci aşamasında çapraz sevkiyatta araç-kapı atama problemi dikkate alınmaktadır. Modelde, toplama ve dağıtım işlemi yapan araçların ÇSM alanlarında yanaşacakları kapılar ve ürünlerin ÇSM alanları içinde bekletilecekleri konumlar belirlenmektedir. Model 1'de elde edilen ürün ve araç atama kararları, Model 2'de problem verisi olarak

kullanılmaktadır. Bütünleşik modelde tanımlanan notasyonlara ek olarak Model 1'den elde edilen bu veriler:

$sltn_1$: Model 1'den elde edilen optimum sonuç

$truck_asg_k$: Toplama için kullanılan k aracının Model 1'de atandığı ÇSM noktası;
 $k \in TR$

$truck_asg'_k$: Dağıtım için kullanılan k aracının Model 1'de atandığı müşteri noktası;
 $k \in TR'$

pr_truck_i : Model 1'de i ürününün yüklendiği toplama aracı; $i \in PR$

$pr_truck'_i$: Model 1 sonucuna göre i ürününün yüklendiği dağıtım aracı; $i \in PR$

pr_asg_i : Model 1 sonucuna göre i ürününün gönderileceği ÇSM; $i \in PR$

$\omega = \{(i, j) \in PR: pr_asg_i = pr_asg_j, i < j\}$

$\varphi = \{(k, l) \in TR: truck_asg_k = truck_asg_l, k < l\}$

$\varphi' = \{(k, l) \in TR': truck'_k = truck'_l, k < l\}$

$\sigma = \{k \in TR: truck_asg_k > 0\}$

$\sigma' = \{k \in TR': truck_asg'_k > 0\}$

$\epsilon_i = \{k \in TR: k = pr_truck_i\}$

$\epsilon'_i = \{k \in TR': k = pr_truck'_i\}$

Yukarıda belirtilen verilere ek olarak Model 2'de kullanılmak üzere iki yeni değişken tanımlanmıştır. Bu değişkenler:

h_{km} : Toplama yapacak k aracı ÇSM'de m boşaltma kapısına atanırsa 1, aksi halde 0; $k \in TR, m \in DR$

h'_{kn} : Dağıtım yapacak k aracı ÇSM'de n yükleme kapısına atanırsa 1, aksi halde 0; $k \in TR', n \in DR'$

Çapraz sevkiyatta araç-kapı atama probleminin çözümü için geliştirilen matematiksel model aşağıda tanımlanmıştır.

Amaç fonksiyonu :

$$Min sltn_1 + \sum_{i \in PR} cost_cr \times (move_x_i + move_x'_i + move_y_i + move_y'_i) \quad (3.68)$$

Kısıtlar :

$$\sum_{m \in DR} h_{km} = 1 \quad \forall k \in \sigma \quad (3.69)$$

$$\sum_{n \in DR'} h'_{kn} = 1 \quad \forall k \in \sigma' \quad (3.70)$$

$$h_{km} + h_{lm} \leq 1 \quad \forall m \in DR, \quad \forall (k, l) \in \varphi \quad (3.71)$$

$$h'_{kn} + h'_{ln} \leq 1 \quad \forall n \in DR', \quad \forall (k, l) \in \varphi' \quad (3.72)$$

$$x''_i + q_i \leq x''_j + M(1 - \alpha''_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \omega \quad (3.73)$$

$$x''_j + q_j \leq x''_i + M(1 - \beta''_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \omega \quad (3.74)$$

$$y''_i + p_i \leq y''_j + M(1 - \gamma''_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \omega \quad (3.75)$$

$$y''_j + p_j \leq y''_i + M(1 - \delta''_{ij}) \quad \forall (i, j) \in \omega \quad (3.76)$$

$$\alpha''_{ij} + \beta''_{ij} + \gamma''_{ij} + \delta''_{ij} \geq 1 \quad \forall (i, j) \in \omega \quad (3.77)$$

$$x''_i \geq W_CR_S \quad \forall i \in PR \quad (3.78)$$

$$x''_i + q_i \leq W_CR_E \quad \forall i \in PR \quad (3.79)$$

$$y''_i \geq L_CR_S \quad \forall i \in PR \quad (3.80)$$

$$y''_i + p_i \leq L_CR_E \quad \forall i \in PR \quad (3.81)$$

$$move_x_i \geq x''_i - DR_X_m - M(1 - h_{km}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in DR, \quad \forall k \in \epsilon_i \quad (3.82)$$

$$move_x_i \geq DR_X_m - x_i'' - M(1 - h_{km}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in DR, \quad \forall k \in \epsilon_i \quad (3.83)$$

$$move_y_i \geq y_i'' - DR_Y_m - M(1 - h_{km}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in DR, \quad \forall k \in \epsilon_i \quad (3.84)$$

$$move_y_i \geq DR_Y_m - y_i'' - M(1 - h_{km}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in DR, \quad \forall k \in \epsilon_i \quad (3.85)$$

$$move_x'_i \geq x_i'' - DR_X'_n - M(1 - h'_{kn}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in DR', \quad \forall k \in \epsilon'_i \quad (3.86)$$

$$move_x'_i \geq DR_X'_n - x_i'' - M(1 - h'_{kn}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in DR', \quad \forall k \in \epsilon'_i \quad (3.87)$$

$$move_y'_i \geq y_i'' - DR_Y'_n - M(1 - h'_{kn}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in DR', \quad \forall k \in \epsilon'_i \quad (3.88)$$

$$move_y'_i \geq DR_Y'_n - y_i'' - M(1 - h'_{kn}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in DR', \quad \forall k \in \epsilon'_i \quad (3.89)$$

Tanımlanan modelde 3.69-3.72 no.'lu kısıtlar çapraz sevkiyatta araç-kapı atamalarını oluşturmaktadır. Bu kısıtların sağladığı koşullar:

- Kısıt 3.69; eğer toplama işlemi yapan bir k aracı Model 1'de elde edilen sonuca göre bir ÇSM'ye gönderilmiş ise bu aracın bir boşaltma kapısına atanmasını sağlar.
- Kısıt 3.70; eğer dağıtım işlemi yapan bir k aracı Model 1'de elde edilen sonuca göre bir müşteri noktasına gönderilmiş ise bu aracın bir yükleme kapısına atanmasını sağlar.
- Kısıt 3.71; ÇSM'lerde boşaltma kapılarına birden fazla toplama aracının atanmasını engeller.
- Kısıt 3.72; ÇSM'lerde yükleme kapılarına birden fazla dağıtım aracının atanmasını engeller.

3.73-3.81 no.'lu kısıtlar, ürünlerin ÇSM alanları içerisinde bekletileceği konumlarını belirlemektedir. Bu kısıtların sağladığı koşullar:

- Kısıt 3.73-3.77; ürünlerin ÇSM alanlarında bekletileceği konumları belirlemektedir. Eğer iki ürün aynı ÇSM'ye gönderilmiş ise bu iki ürünün birbirlerine göre konumları belirlenmektedir.
- Kısıt 3.78-3.81; ürünlerin ÇSM alanı içerisinde bekletilecek alan sınırları içerisinde konumlandırılmasını sağlar.

3.68 no.'lu ifade, ÇSM alanları içerisinde taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesini sağlayan amaç fonksiyonunu belirlemektedir. Bütünleşik modelde olduğu gibi bu modelde de ürünlerin ÇSM alanlarında yer değiştirme miktarları 3.82-3.89 no.'lu kısıtlarla belirlenerek amaç fonksiyonunun lineer halde olması sağlanmıştır.

3.3. Çapraz Sevkiyat Ürün Akış ve Yerleşim Problemine Ait Varyasyonlar

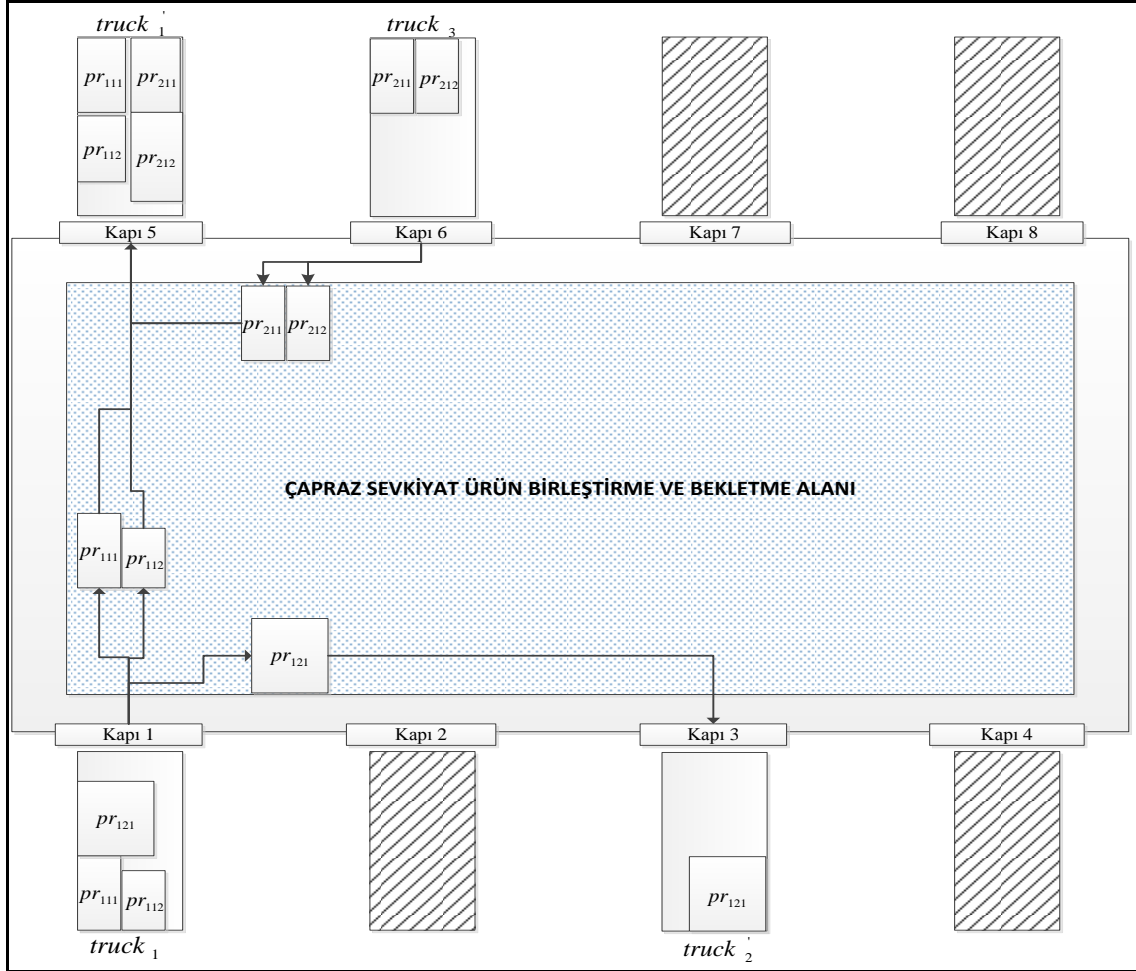
Çapraz sevkiyat konusunda yapılan çalışmalarda ulaştırma problemi veya araç-kapı atama problemi; üreticilerden müşterilere ürün taşıma stratejisi, araç filo yapısı ve hizmet stratejisi, taşıma maliyetleri, şebeke yapısı vb. farklı varsayımlar altında dikkate alınmaktadır (Van Belle ve ark. 2012). Tez çalışması kapsamında ÇSÜAYP için üç farklı varsayım dikkate alınmış ve bu varsayımlar dahilinde oluşan problemlere ait bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modeller geliştirilmiştir. Dikkate alınan bu varsayımlar:

- Çapraz sevkiyat merkezlerinde kapıların karışık düzende olma durumu
- ÇSM alanlarında ürünlerin iki boyutlu yerleşimi yerine ürünlerin iki boyutlu raflara atanması durumu
- Çapraz sevkiyatta toplama ve dağıtım araçlarının birden fazla lokasyona uğrayarak rota oluşturma durumu

3.3.1. Çapraz sevkiyat merkezlerinde kapıların karışık düzende olma durumu

Çapraz sevkiyat ürün akış ve yerleşimine ait tanımlanan temel problemde ÇSM alanlarına ait kapılar toplama ve dağıtım araçlarına göre gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmada; üretici noktalarından toplama işlemi yapan araçlar ÇSM alanlarında boşaltma kapılarına, müşteri noktalarına dağıtım işlemi yapacak araçlar ÇSM alanlarında yükleme kapılarına yanaşabilmektedir. Fakat taşımalarda kullanılan araçların benzer olması veya ÇSM alanlarının yapısal farklılıklarından dolayı, toplama ve dağıtım yapan araçların kapıları karışık düzende kullanma durumu söz konusu olabilmektedir. Karışık kapı düzeninde, ÇSM alanlarında aktarma operasyonları açısından yakın ilişkili olan araçlar yakın kapılara atanarak alan içi taşımalarında bir

iyileştirme sağlanabilmektedir (Stephan ve Boysen 2011). ÇSM alanlarında karışık kapı düzenine sahip bir araç-kapı atama örneği Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. ÇSM alanlarında karışık kapı düzenine örnek gösterim

Çapraz sevkiyat ürün akış ve yerleşim probleminde kapıların karışık düzende olma durumunda (ÇSÜAYP-KKD) bütünlük ve iki aşamalı model aşağıda belirtilen değişiklikler ile probleme adapte edilebilmektedir.

Bütünlük Model

ÇSÜAYP için geliştirilmiş olan temel matematiksel modele ek olarak çapraz sevkiyat kapı bilgileri yeni notasyonlarla güncellenmiştir. Bu notasyonlar:

$$\overline{DR} \quad : \text{ÇSM noktasına ait kapılar kümesi } \overline{DR} = DR \cup DR'$$

$\overline{DR_X}_m$: ÇSM noktasında m kapısına ait x koordinat değeri; $m \in \overline{DR}$

$\overline{DR_Y}_m$: ÇSM noktasında m kapısına ait y koordinat değeri; $m \in \overline{DR}$

ÇSM alanlarında toplama ve dağıtım yapan araçlara ait kapıların ortak olması nedeniyle bütünleşik modelde araç-kapı atamalarını belirleyen değişkenler, ÇSM alanlarında kapılar kümesini belirten \overline{DR} 'ye göre güncellenmiştir. Güncellenen değişkenler:

v_{kcm} : s üretici noktasından gelen k toplama aracı c çapraz sevkiyat merkezinde m kapısına atanırsa 1, aksi halde 0; $k \in TR, c \in C, m \in \overline{DR}$

v'_{kdn} : d müşterisine gidecek k dağıtım aracı n kapısına atanırsa 1, aksi halde 0; $k \in TR', d \in D, n \in \overline{DR}$

f_{imn} : i ürünü ÇSM alanında m kapısından n kapısına taşınırsa 1, aksi halde 0; $i \in PR, m \in \overline{DR}, n \in \overline{DR}$

ÇSM alanlarında kapıların karışık düzende olma durumunda, ÇSÜAYP için geliştirilmiş olan bütünleşik modelde amaç fonksiyonu, araç-kapı atamalarını ve alan içi yerleşimlerini belirleyen kısıtlar eklenen yeni notasyon ve güncellenen karar değişkenlerine göre düzenlenmiştir. Modelde yapılan değişiklikler:

- Amaç fonksiyonu 3.45, yeni notasyonlara göre 3.90 no.'lu denklem ile güncellenmiştir.
- Eklenen yeni notasyonlara göre; 3.3, 3.4, 3.7, 3.8, 3.11-3.13 ve 3.37-3.44 no.'lu kısıtlar 3.91, 3.92, 3.94-3.106 no.'lu kısıtlarda olduğu gibi güncellenmiştir.
- ÇSM alanlarında kapıların ortak olarak kullanılmasından dolayı 3.5 ve 3.9 no.'lu kısıtlar 3.93 no.'lu tek bir kısıt ile değiştirilmiştir. Bu kısıt, ÇSM alanlarındaki her bir araç kapısına en fazla bir aracın yanaşmasını sağlamaktadır.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{k \in TR} \sum_{c \in C} \sum_{m \in \overline{DR}} \text{cost}_{truck_k c} v_{kcm} + \sum_{k \in TR'} \sum_{d \in D} \sum_{n \in \overline{DR}} \text{cost}'_{truck'_k d} v'_{kdn} \\ & + \sum_{i \in PR} \text{cost}_{cr} \times (\text{move}_{x_i} + \text{move}_{x'_i} + \text{move}_{y_i} + \text{move}_{y'_i}) \end{aligned} \quad (3.90)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{m \in \overline{DR}} v_{kcm} \leq 1 \quad \forall k \in TR \quad (3.91)$$

$$\sum_{i \in \rho_k} z_{ikc} \leq M \sum_{m \in \overline{DR}} v_{kcm} \quad \forall c \in C, \quad \forall k \in TR \quad (3.92)$$

$$\sum_{k \in TR} v_{kcm} + \sum_{k \in \tau_c} \sum_{d \in D} v'_{kdm} \leq 1 \quad \forall c \in C, \quad \forall m \in \overline{DR} \quad (3.93)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{n \in \overline{DR}} v'_{kdn} \leq 1 \quad \forall k \in TR' \quad (3.94)$$

$$\sum_{i \in \mu_d} z'_{ikd} \leq M \sum_{n \in \overline{DR}} v'_{kdn} \quad \forall d \in D, \quad \forall k \in TR' \quad (3.95)$$

$$\sum_{m \in \overline{DR}} \sum_{n \in \overline{DR}} f_{imn} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.96)$$

$$\sum_{c \in C} (z_{ikc} + v_{kcm}) \leq 1 + \sum_{n \in \overline{DR}} f_{imn} \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in \varepsilon_i, \quad \forall m \in \overline{DR} \quad (3.97)$$

$$\sum_{d \in \pi_i} (z'_{ikd} + v'_{kdn}) \leq 1 + \sum_{m \in \overline{DR}} f_{imn} \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR', \quad \forall n \in \overline{DR} \quad (3.98)$$

$$move_x_i \geq x_i'' - \overline{DR_X}_m - M \left(1 - \sum_{n \in \overline{DR}} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in \overline{DR} \quad (3.99)$$

$$move_x_i \geq \overline{DR_X}_m - x_i'' - M \left(1 - \sum_{n \in \overline{DR}} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in \overline{DR} \quad (3.100)$$

$$move_y_i \geq y_i'' - \overline{DR_Y}_m - M \left(1 - \sum_{n \in \overline{DR}} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in \overline{DR} \quad (3.101)$$

$$move_y_i \geq \overline{DR_Y}_m - y_i'' - M \left(1 - \sum_{n \in \overline{DR}} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in \overline{DR} \quad (3.102)$$

$$move_x'_i \geq x_i'' - \overline{DR_X}_n - M \left(1 - \sum_{m \in \overline{DR}} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in \overline{DR} \quad (3.103)$$

$$move_x'_i \geq \overline{DR_X}_n - x''_i - M \left(1 - \sum_{m \in \overline{DR}} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in \overline{DR} \quad (3.104)$$

$$move_y'_i \geq y''_i - \overline{DR_Y}_n - M \left(1 - \sum_{m \in \overline{DR}} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in \overline{DR} \quad (3.105)$$

$$move_y'_i \geq \overline{DR_Y}_n - y''_i - M \left(1 - \sum_{m \in \overline{DR}} f_{imn} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in \overline{DR} \quad (3.106)$$

İki Aşamalı Model

ÇSÜAYP-KKD'nin iki aşamalı matematiksel modelinde ulaştırma probleminin çözüldüğü Model 1, herhangi bir araç-kapı atama operasyonuna ait kısıt içermediği için değişiklik gerektirmemektedir. Model 2'de ise bütünleşik modelde tanımlanan notasyonlara ek olarak bir notasyon tanımlanmış ve araç-kapı atamalarına ait karar değişkenleri \overline{DR} kapı kümesine göre güncellenmiştir. Tanımlanan notasyon ve güncellenen karar değişkenleri:

$$\varphi'' = \{k \in TR, l \in TR': truck_asg_k = truck'_l\}$$

h_{km} : Toplama yapacak k aracı ÇSM'de m kapısına atanırsa 1, aksi halde 0;
 $k \in TR, m \in \overline{DR}$

h'_{kn} : Dağıtım yapacak k aracı ÇSM'de n kapısına atanırsa 1, aksi halde 0; $k \in TR', n \in \overline{DR}$

ÇSÜAYP-KKD'nin iki aşamalı model yaklaşımı ile çözümü için Model 2'de yapılan değişiklikler:

- ÇSÜAYP'nin çözümü için geliştirilmiş olan iki aşamalı modelin ikinci aşamasında yer alan 3.69-3.72 ve 3.82-3.89 kısıtları yeni notasyon ve güncellenen karar değişkenlerine göre 3.107-3.110 ve 3.112-3.119 kısıtları ile değiştirilmiştir.
- ÇSM'nde kapıların karışık düzende olması ve bir kapıya toplama veya dağıtım aracının yanaşabilmesi varsayımı modele eklenen 3.111 no.'lu kısıt ile sağlanmıştır.

$$\sum_{m \in \overline{DR}} h_{km} = 1 \quad \forall k \in \sigma \quad (3.107)$$

$$\sum_{n \in \overline{DR}} h'_{kn} = 1 \quad \forall k \in \sigma' \quad (3.108)$$

$$h_{km} + h_{lm} \leq 1 \quad \forall m \in \overline{DR}, \quad \forall k, l \in \varphi \quad (3.109)$$

$$h'_{kn} + h'_{ln} \leq 1 \quad \forall n \in \overline{DR}, \quad \forall k, l \in \varphi' \quad (3.110)$$

$$h_{km} + h'_{lm} \leq 1 \quad \forall m \in \overline{DR}, \quad \forall k, l \in \varphi'' \quad (3.111)$$

$$move_x_i \geq x_i'' - \overline{DR_X}_m - M(1 - h_{km}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in \overline{DR}, \quad \forall k \in \epsilon_i \quad (3.112)$$

$$move_x_i \geq \overline{DR_X}_m - x_i'' - M(1 - h_{km}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in \overline{DR}, \quad \forall k \in \epsilon_i \quad (3.113)$$

$$move_y_i \geq y_i'' - \overline{DR_Y}_m - M(1 - h_{km}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in \overline{DR}, \quad \forall k \in \epsilon_i \quad (3.114)$$

$$move_y_i \geq \overline{DR_Y}_m - y_i'' - M(1 - h_{km}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall m \in \overline{DR}, \quad \forall k \in \epsilon_i \quad (3.115)$$

$$move_x'_i \geq x_i'' - \overline{DR_X}_n - M(1 - h'_{kn}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in \overline{DR}, \quad \forall k \in \epsilon'_i \quad (3.116)$$

$$move_x'_i \geq \overline{DR_X}_n - x_i'' - M(1 - h'_{kn}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in \overline{DR}, \quad \forall k \in \epsilon'_i \quad (3.117)$$

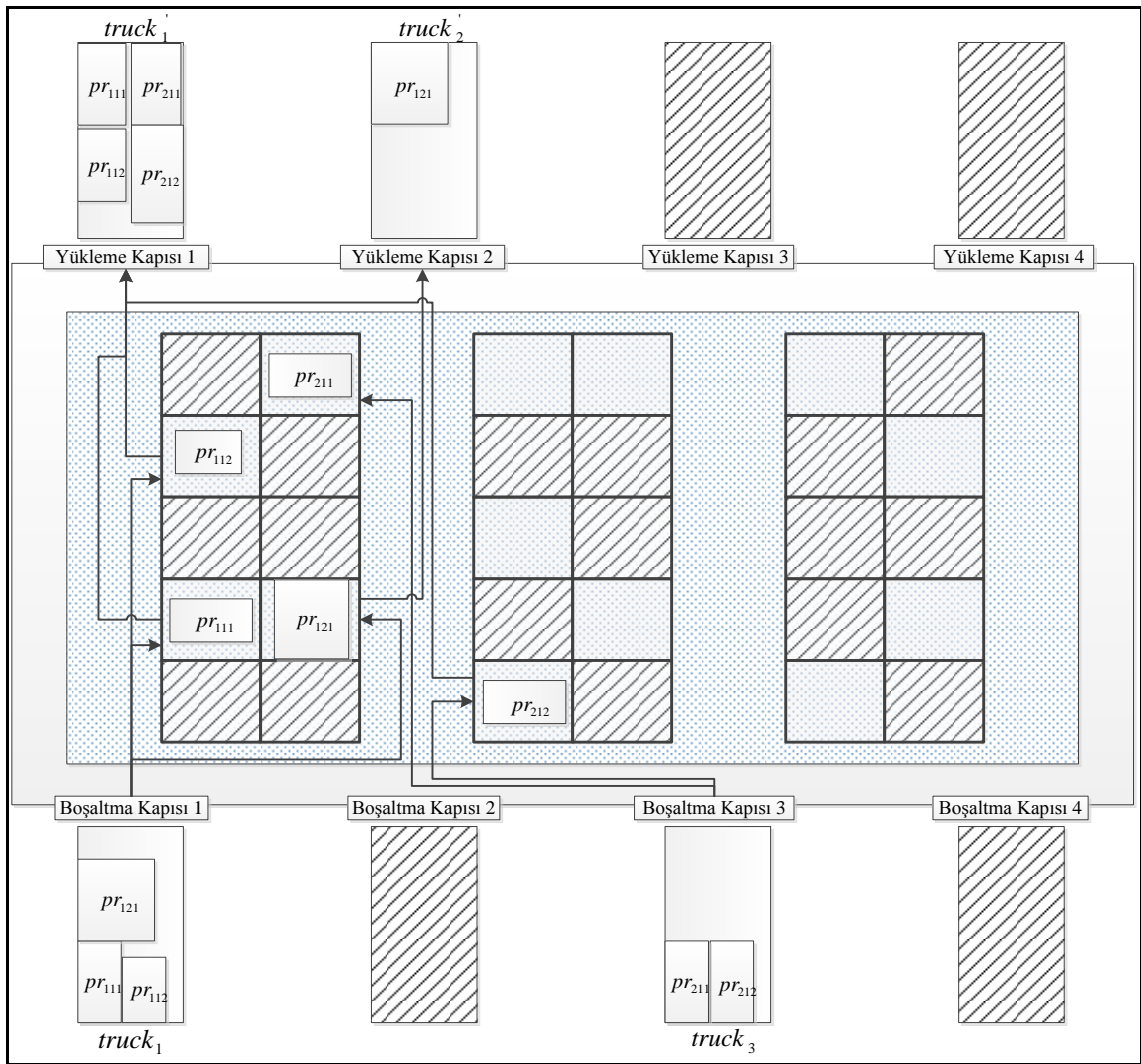
$$move_y'_i \geq y_i'' - \overline{DR_Y}_n - M(1 - h'_{kn}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in \overline{DR}, \quad \forall k \in \epsilon'_i \quad (3.118)$$

$$move_y'_i \geq \overline{DR_Y}_n - y_i'' - M(1 - h'_{kn}) \quad \forall i \in PR, \quad \forall n \in \overline{DR}, \quad \forall k \in \epsilon'_i \quad (3.119)$$

3.3.2. Çapraz sevkiyat merkezi alanlarında ürünlerin raflara atanması durumu

ÇSÜAYP'de ÇSM alanları içerisinde ürün yerleşim kararları iki boyutlu yerleşim kısıtlarına göre belirlenmektedir. Bu yaklaşıma göre ÇSM alanında ürünlerin bekletileceği alan sınırlayıcı bir faktör olarak dikkate alınmaktadır. Ürünler, bu sınırlı alan içerisinde uygun yerleşim sağlayacak herhangi bir noktada konumlandırılabilirler. Çapraz sevkiyat uygulamalarında ürün yerleşimleri için kullanılan bir diğer yaklaşım ise ürünlerin belirli sınırlara sahip hücrelere, raflara veya alanlara atanmasıdır (Vis ve Roodbergen 2008, 2011, Choy ve ark. 2012). Bu yaklaşımdaki temel varsayım, her hücreye sadece bir veya belirli sayıda ürün atanabilmektedir. Ayrıca ürünlerin iki

boyutlu yerleşimleri göz önüne alındığında bir hücreye atanacak ürünün/ürünlerin boyutları hücrenin boyutlarından küçük olmak zorundadır. Bu sebeple çapraz sevkiyatta ürün akış ve yerleşim probleminde ürünlerin raflara atanması durumu (ÇSÜAYP-ÜRA), ÇSM alanlarında iki boyutlu ürün yerleşim problemini iki boyutlu ürün atama probleminde dönüştürmektedir. Şekil 3.4'te tez kapsamında dikkate alınan ÇSÜAYP-ÜRA'ya ait örnek bir gösterim yer almaktadır. Örnekte, ÇSM alanına getirilen ürünlerin alanda bekletilecek uygun hücrelere atanması ve bu ürünlerin boşaltma kapılarında yükleme kapılarına olan taşımaları gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Çapraz sevkiyat merkezi alanlarında ürün atamalarına örnek gösterim

ÇSÜAYP’de ürünlerin raflara atanması durumu bütünleşik ve iki aşamalı modele aşağıdaki değişikliklerle dahil edilmiştir.

Bütünleşik Model

ÇSÜAYP-ÜRA’nın bütünleşik matematiksel modelinin oluşturulabilmesi için eklenen notasyonlar:

CLS : ÇSM alanında depolama yapılacak hücreler kümesi

CR_{W_a} : ÇSM alanında depolama yapılacak a hücresinin genişliği; $a \in CLS$

CR_{L_a} : ÇSM alanında depolama yapılacak a hücresinin uzunluğu; $a \in CLS$

$DR_{A_{ma}}$: ÇSM alanında m boşaltma kapısından a hücresine olan uzaklık; $m \in DR, a \in CLS$

$DR_{A'_{na}}$: ÇSM alanında n yükleme kapısından a hücresine olan uzaklık; $n \in DR', a \in CLS$

ÇSM’lerde ürünlerin atanacağı hücre bilgilerini belirten yeni notasyonların yanı sıra matematiksel modelde, ürünlerin hücrelere olan atamalarını ve bu atamalara ait ürün taşımalarını belirtecek yeni karar değişkenleri gerekmektedir. Bütünleşik modele eklenen bu değişkenler:

sgn_{ica} : i ürünü c çapraz sevkiyat merkezinde a hücresine atanırsa 1, aksi halde 0;
 $i \in PR, c \in C, a \in CLS$

\overline{move}_i : i ürününe ait alan içi taşıma miktarı; $i \in PR$

ÇSÜAYP-ÜRA için geliştirilen bütünleşik matematiksel modelde ürünlerin iki boyutlu yerleşim konumlarını belirleyen 3.28-3.36 kısıtları ve bu konumlara ait ürün taşıma miktarlarını belirleyen 3.37-3.44 kısıtları yerine 3.121-3.125 kısıtları kullanılmıştır. 3.121 no.’lu kısıt her bir ürünün ÇSM alanında bir hücreye atanmasını ve 3.122 no.’lu kısıt ÇSM alanında her bir hücreye en fazla bir ürünün atanmasını sağlamaktadır. 3.123 ve 3.124 no.’lu kısıtlar hücrelere ait iki boyutlu sınır koşullarını sağlamaktadır. Modelde ürün taşıma miktarları ise kısıt 3.125 ile elde edilmektedir. Bu kısıt, her bir ürün için boşaltıldığı kapıdan atandığı hücreye olan ve bu hücreden gideceği yükleme kapısına

olan taşıma miktarını hesaplamaktadır. ÇSÜAYP için kullanılan 3.45 no.'lu amaç fonksiyonu ise bu modelde 3.120 eşitliği ile güncellenmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{k \in TR} \sum_{c \in C} \sum_{m \in DR} \text{cost}_{truck_k c} v_{kcm} + \sum_{k \in TR'} \sum_{d \in D} \sum_{n \in DR'} \text{cost}'_{truck'_k d} v'_{kdn} \\ & + \sum_{i \in PR} \text{cost}_{cr} \times \overline{move}_i \end{aligned} \quad (3.120)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{a \in CLS} \text{sgn}_{ica} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.121)$$

$$\sum_{i \in PR} \text{sgn}_{ica} \leq 1 \quad \forall c \in C, \quad \forall a \in CLS \quad (3.122)$$

$$\sum_{c \in C} q_i \text{sgn}_{ica} \leq CR_W_a \quad \forall i \in PR, \quad \forall a \in CLS \quad (3.123)$$

$$\sum_{c \in C} p_i \text{sgn}_{ica} \leq CR_L_a \quad \forall i \in PR, \quad \forall a \in CLS \quad (3.124)$$

$$\begin{aligned} \overline{move}_i \geq DR_A_{ma} + DR_A'_{na} - M \left(2 - f_{imn} - \sum_{c \in C} \text{sgn}_{ica} \right) \\ \forall i \in PR, \quad \forall m \in DR, \quad \forall n \in DR', \quad \forall a \in CLS \end{aligned} \quad (3.125)$$

İki Aşamalı Model

ÇSÜAYP-ÜRA'nın iki aşamalı modelinin ilk aşamasında, ÇSÜAYP-KKD'de olduğu gibi bir değişiklik içermemektedir. Ürün atama kararlarının dikkate alındığı problemde ÇSÜAYP için geliştirilmiş olan Model 1, Model 2'nin girdisi olarak kullanılmaktadır. Model 2'de ise ÇSÜAYP-ÜRA için geliştirilmiş olan bütünleşik modelde olduğu gibi yeni notasyon ve karar değişkenleri kullanılmıştır. ÇSÜAYP-ÜRA için bütünleşik modelde oluşturulan notasyonlara ek olarak Model 2'de kullanılan notasyon ve karar değişkeni:

$$\tau'_c = \{i \in PR: pr_asg_i = c\}$$

sgn'_{ia} : i ürünü atandığı ÇSM alanında a hücreesine atanırsa 1, aksi halde 0; $i \in PR, a \in CLS$

ÇSÜAYP-ÜRA'nın çözümü için geliştirilen iki aşamalı modelin ikinci aşamasında, probleme ait bütünleşik modelde olduğu gibi iki boyutlu ürün yerleşim kısıtları yerine iki boyutlu ürün atama kısıtları kullanılmıştır. Model 2 için oluşturulan yeni notasyon ve karar değişkeni kullanılarak geliştirilen 3.127-3.131 kısıtları, 3.73-3.89 kısıtları yerine modele adapte edilmiştir. Probleme ait bütünleşik modelde olduğu gibi 3.127-3.130 kısıtları ürünlerin ÇSM alanlarında uygun bir hücreye atanmasını sağlamaktadır. 3.131 kısıtı ise her bir ürün için alan içi taşıma miktarını hesaplamaktadır. Modele ait amaç fonksiyonu ise 3.126 eşitliği ile güncellenmiştir.

$$Min sltn_1 + \sum_{i \in PR} cost_{cr} \times \overline{move}_i \quad (3.126)$$

$$\sum_{a \in CLS} sgn'_{ia} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.127)$$

$$\sum_{i \in \epsilon'_c} sgn'_{ia} \leq 1 \quad \forall c \in C, \quad \forall a \in CLS \quad (3.128)$$

$$q_i sgn'_{ia} \leq CR_W_a \quad \forall i \in PR, \quad \forall a \in CLS \quad (3.129)$$

$$p_i sgn'_{ia} \leq CR_L_a \quad \forall i \in PR, \quad \forall a \in CLS \quad (3.130)$$

$$\overline{move}_i \geq DR_A_{ma} + DR_A'_{na} - M(3 - sgn'_{ia} - h_{km} - h'_{ln})$$

$$\forall i \in PR, \quad \forall m \in DR, \quad \forall n \in DR', \quad \forall a \in CLS, \quad \forall k \in \epsilon_i, \quad \forall l \in \epsilon'_i \quad (3.131)$$

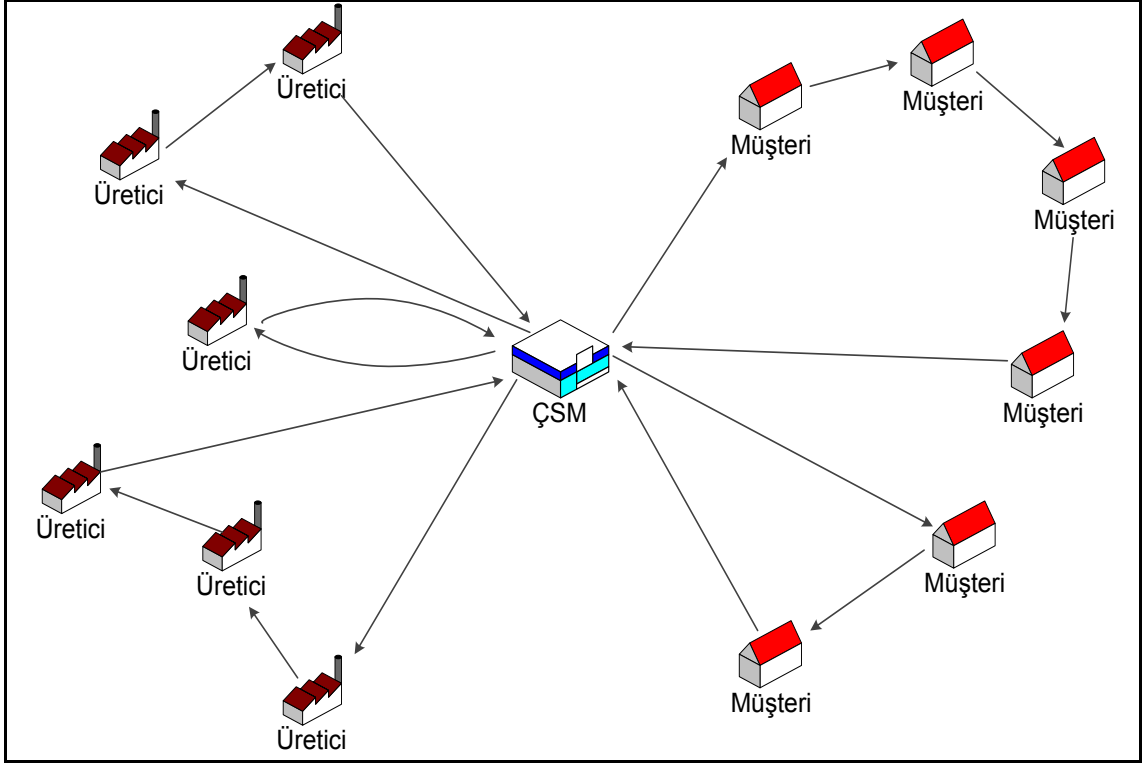
3.3.3. Çapraz sevkiyatta araç rotalama problemi

Yapılan tez çalışması kapsamında çapraz sevkiyatta ürün akış ve yerleşim için dikkate alınan diğer bir durum ise çapraz sevkiyat şebekesinde araç rotalama problemidir (ÇSÜAYP-ARP). ÇSÜAYP'de toplama ve dağıtım işlemi yapacak araçlar şebekede sadece bir lokasyona atanmakta ve ait olduğu lokasyon ile atandığı lokasyon arasında

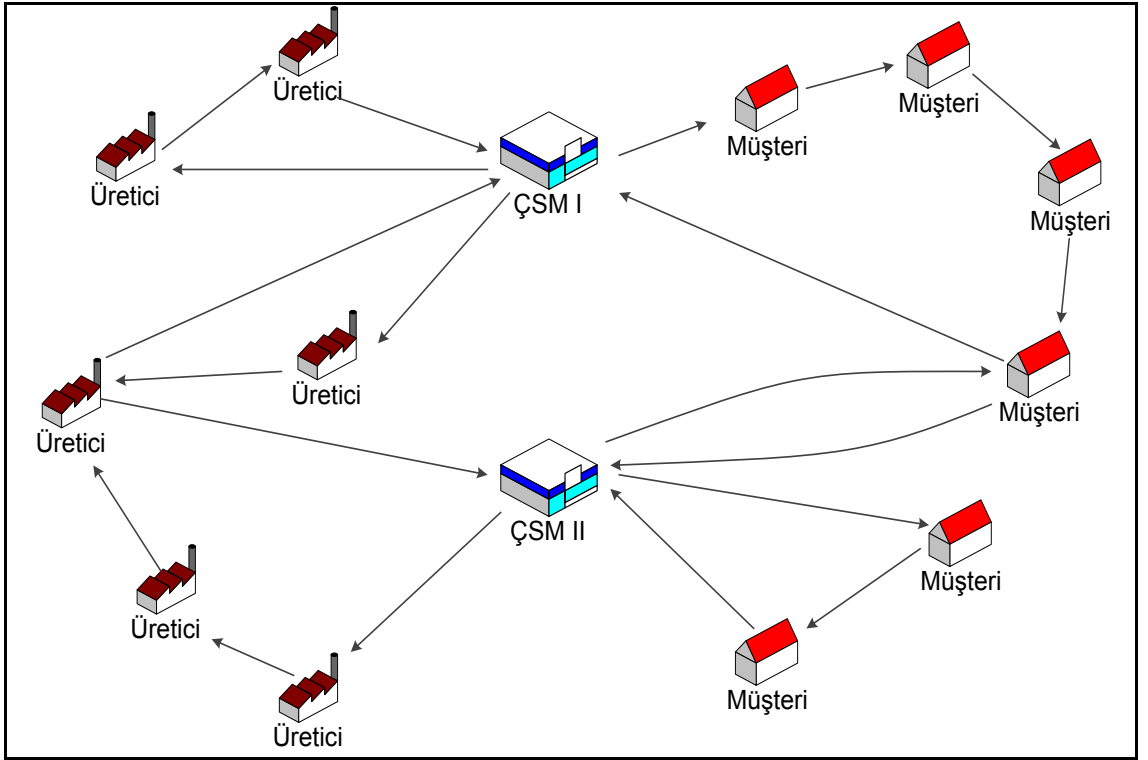
ürün taşıma işlemini gerçekleştirmektedir. Çapraz sevkiyat sisteminde taşımalar için kullanılan diğer bir strateji ise toplama veya dağıtım yapacak araçların bir rota dahilinde üretici ve müşteri noktalarına hizmet vermesidir. Bu sayede arz veya talep miktarının az olduğu birden fazla noktaya tek bir araçla hizmet verilerek araçların doluluk oranları arttırılabilmektedir. Uygulamada rotaya sahip ürün taşıma stratejisi; sadece toplama, sadece dağıtım veya her iki operasyon çeşidi için de kullanılabilir.

ÇSÜAYP-ARP'de, ÇSM'lerden toplama/dağıtım operasyonları için ayrılan araçlar birden fazla üretici/müşteri noktasına hizmet verebilmekte ve ait oldukları ÇSM'lere dönerek rotalarını tamamlamaktadırlar. Şebekede bir üreticiye ait ürünler müşterilere farklı ÇSM'lerden veya aynı ÇSM'den farklı araçlarla taşınabileceği için üretici ve müşteri noktalarına birden fazla araç hizmet verebilmektedir. Klasik araç rotalama probleminde farklı olan bu durum, ürünlerin ÇSM'lerde müşterilere göre birleştirilmesine imkân sağlamaktadır. ÇSÜAYP-ARP'ye ait örnek bir gösterim Şekil 3.5'te tek bir ÇSM için ve Şekil 3.6'da çoklu ÇSM'ler için gösterilmektedir. Tek bir ÇSM için problem; toplama ve dağıtım işlemleri için iki araç rotalama probleminin çözümünden oluşurken, şebekede birden fazla ÇSM bulunması durumunda ürünlerin ayrıştırılabilme koşulundan dolayı problem klasik araç rotalama probleminde farklılaşmaktadır.

Çapraz sevkiyatta araç rotalama problemi konusunda bugüne kadar yapılan çalışmalarda genel olarak tek ÇSM için ARP incelenmiştir (Lee ve ark. 2006, Wen ve ark. 2009, Liao ve ark. 2010, Dondo ve ark. 2011, Dondo ve Cerdá 2013, Tarantilis 2013, Agustina ve ark. 2014, Dondo ve Cerdá 2014, Moghadam ve ark. 2014, Morais ve ark. 2014, Vahdani ve Sadigh Behzadi 2014). Çoklu ÇSM için ARP ise Mousavi ve ark. (2013) tarafından ÇSM yer seçimi problemi ile birlikte dikkate alınmıştır. Tez çalışması kapsamında literatürden farklı olarak birden fazla ÇSM'nin bulunduğu şebekede çapraz sevkiyatta araç rotalama problemi iki boyutlu araç yükleme kısıtları ile birlikte dikkate alınmıştır. Ayrıca şebekede üreticilerden müşterilere olan taleplerin bölünerek farklı çapraz sevkiyat merkezlerine gönderilmesine, yani talebin ayrıştırılmasına izin verilmektedir. Böyle bir durumda bir üretici veya müşteri noktasına farklı ÇSM'lere ait birden fazla araç hizmet verebilmektedir.



Şekil 3.5. Çapraz sevkiyatta araç rotalama problemine örnek gösterim (tek merkez)



Şekil 3.6. Çapraz sevkiyatta araç rotalama problemine örnek gösterim (çok merkez)

ÇSÜAYP-ARP'ye ait bütünleşik ve iki aşamalı model aşağıda yer alan ilave kısıtlar ile geliştirilmiştir.

Bütünleşik Model

ÇSÜAYP-ARP'de toplama ve dağıtım işlemi yapacak araçlar rotalarına, ait oldukları ÇSM'den başlamakta ve tekrar ait oldukları ÇSM'ye dönerek rotalarını tamamlamaktadır. ÇSÜAYP'den farklı olarak dikkate alınan araç rotalama probleminde araçların bir lokasyona atanması yerine lokasyonlar arası rotayı belirleyecek karar değişkenlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca problemde taşıma maliyetleri; sadece üretici veya müşteri noktaları ile ÇSM'ler arasındaki maliyetleri değil, üretici noktalar veya müşteri noktaları arasında yapılan taşımalarından dolayı oluşan maliyeti de içerir. Bu varsayımlar altında ÇSÜAYP-ARP'nin bütünleşik matematiksel modelinde kullanılan yeni notasyon ve karar değişkenleri aşağıda verilmiştir.

Eklenen notasyonlar;

SC : Üretici ve ÇSM noktaları kümesi $SC = S \cup C$

CD : ÇSM ve müşteri noktaları kümesi $CD = C \cup D$

\overline{truck}_k : Toplama işlemi için kullanılan k aracının ait olduğu ÇSM; $\forall k \in TR$

\overline{cost}_{rt} : Toplama işleminde r noktasından t noktasına giden bir aracın taşıma maliyeti;
 $\forall (r, t) \in SC$

\overline{cost}'_{ou} : Dağıtım işleminde o noktasından u noktasına giden bir aracın taşıma maliyeti;
 $\forall (o, u) \in CD$

$\bar{\epsilon}_i = \{r \in S: r = dem_i\}$

$\bar{\rho}_k = \{c \in C: c \neq \overline{truck}_k\}$

$\bar{\rho}'_k = \{c \in C: c \neq \overline{truck}'_k\}$

Eklenen karar değişkenleri;

\bar{v}_{rtk} : Toplama işlemi yapan k aracı r noktasından t noktasına giderse 1, aksi halde 0; $\forall (r, t) \in SC, \forall k \in TR$

\bar{v}'_{ouk} : Dağıtım işlemi yapan k aracı o noktasından u noktasına giderse 1, aksi halde 0; $\forall (o, u) \in CD, \forall k \in TR'$

sub_{rk} : Toplama araçlarına ait rotalarda alt turu engellemek için kullanılan değişken

sub'_{ok} : Dağıtım araçlarına ait rotalarda alt turu engellemek için kullanılan değişken

ÇSÜAYP-ARP için geliştirilen bütünleşik matematiksel modelde amaç fonksiyonu 3.132'de araç rotalarına ait maliyetleri kapsayacak şekilde güncellenmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{r \in ESC} \sum_{t \in ESC} \sum_{k \in TR} \overline{cost}_{rt} \bar{v}_{rtk} + \sum_{o \in CD} \sum_{u \in CD} \sum_{k \in TR'} \overline{cost}'_{ou} \bar{v}'_{ouk} \\ & + \sum_{i \in PR} cost_{cr} \times (move_{x_i} + move_{x'_i} + move_{y_i} + move_{y'_i}) \end{aligned} \quad (3.132)$$

Geliştirilen modelde, ÇSÜAYP'de ulaştırma problemi için kullanılan 3.2-3.10 kısıtları yerine şebekede araç rotalarını oluşturacak 3.133-3.149 kısıtları kullanılmıştır. Bu kısıtların sağladığı koşullar:

- 3.133 ve 3.134 no.'lu kısıtlar her bir ürünün, ait oldukları üretici noktasında bir toplama aracına atanmasını sağlamaktadır. Aynı şekilde 3.135 ve 3.136 kısıtları ürünlerin dağıtım işlemleri için uygun bir araca atanmasını sağlamaktadır.
- Kısıt 3.137 ÇSM'lerde ürün akışlarının devamlılığını sağlamaktadır. Bu kısıt ile bir ürünün toplama ve dağıtım işlemleri için atandığı araçların aynı ÇSM'ye ait olması koşulu karşılanır.
- Kısıt 3.138 ile her bir üretici noktasına en az bir toplama aracı ile hizmet verilmesi sağlanır.
- 3.139 ve 3.140 kısıtları her aracın rotasını ait oldukları ÇSM'den başlatmakta ve araçların en fazla bir rota oluşturmasına izin vermektedir.
- 3.141 rotalarda araçların devamlılığını sağlar. Bu kısıt ile bir üretici noktasına gelen toplama aracı yine bu üretici noktasından rotasına devam etmektedir.
- Kısıt 3.142 ve 3.143 toplama işlemi yapan araçların rotasında alt tur oluşmasını önlemektedir.

- 3.144-3.149 no.'lu kısıtlar 3.138-3.143 kısıtları gibi dağıtım işlemlerine ait araç rotalarını belirlemektedir.

$$\sum_{k \in TR} \sum_{c \in C} z_{ikc} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.133)$$

$$\sum_{c \in C} z_{ikc} \leq M \sum_{r \in \bar{e}_i} \sum_{t \in SC} \bar{v}_{rtk} \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR \quad (3.134)$$

$$\sum_{k \in TR'} \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} = 1 \quad \forall i \in PR \quad (3.135)$$

$$\sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} \leq M \sum_{o \in \pi_i} \sum_{u \in CD} \bar{v}'_{ouk} \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR' \quad (3.136)$$

$$\sum_{k \in TR} z_{ikc} = \sum_{k \in \tau_c} \sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} \quad \forall i \in PR, \quad \forall c \in C \quad (3.137)$$

$$\sum_{t \in SC} \sum_{k \in TR} \bar{v}_{rtk} \geq 1 \quad \forall r \in S \quad (3.138)$$

$$\sum_{t \in S} \bar{v}_{rtk} \leq 1 \quad \forall r \in C, \quad \forall k \in TR \quad (3.139)$$

$$\sum_{r \in \bar{\rho}_k} \sum_{t \in S} \bar{v}_{rtk} = 0 \quad \forall k \in TR \quad (3.140)$$

$$\sum_{r \in SC} \bar{v}_{rtk} = \sum_{r \in SC} \bar{v}_{trk} \quad \forall t \in SC, \quad \forall k \in TR \quad (3.141)$$

$$sub_{rk} = 0 \quad \forall r \in C, \quad \forall k \in TR \quad (3.142)$$

$$sub_{rk} + 1 \leq sub_{tk} + M(1 - \bar{v}_{rtk}) \quad \forall (r, t) \in SC, \quad \forall k \in TR \quad (3.143)$$

$$\sum_{u \in CD} \sum_{k \in TR'} \bar{v}'_{ouk} \geq 1 \quad \forall o \in D \quad (3.144)$$

$$\sum_{u \in D} \bar{v}'_{ouk} \leq 1 \quad \forall o \in C, \quad \forall k \in TR' \quad (3.145)$$

$$\sum_{o \in \bar{p}'_k} \sum_{u \in D} \bar{v}'_{ouk} = 0 \quad \forall k \in TR' \quad (3.146)$$

$$\sum_{o \in CD} \bar{v}'_{ouk} = \sum_{o \in CD} \bar{v}'_{uok} \quad \forall u \in CD, \quad \forall k \in TR' \quad (3.147)$$

$$sub'_{ok} = 0 \quad \forall o \in C, \quad \forall k \in TR' \quad (3.148)$$

$$sub'_{ok} + 1 \leq sub'_{uk} + M(1 - \bar{v}'_{ouk}) \quad \forall (o, u) \in CD, \quad \forall k \in TR' \quad (3.149)$$

ÇSÜAYP'ye ait bütünleşik matematiksel modelde araç-kapı atamalarını ve ürünlerin alan içi taşımalarını belirleyen kısıtlardan 3.11, araç rotalama problemine ait modelde de geçerli olurken 3.12 ve 3.13 no.'lu kısıtlar, 3.150 ve 3.151 no.'lu kısıtlar ile güncellenmiştir. ÇSÜAYP'de toplama ve dağıtım araçlarında iki boyutlu yerleşim planlarını belirleyen 3.14-3.25 no.'lu kısıtlar ÇSÜAYP-ARP için oluşturulan yeni notasyonlara göre 3.152-3.163 no.'lu kısıtlar ile güncellenmiştir. 3.26 ve 3.27 no.'lu araç sınırlarını belirleyen kısıtlar ise aynı şekilde kalmıştır. ÇSM alanlarında ürün taşımalarını ve yerleşimlerini belirleyen 3.28-3.44 no.'lu kısıtlar ÇSÜAYP-ARP'ye ait bütünleşik model için de geçerlidir.

$$\sum_{c \in C} z_{ikc} + h_{km} \leq 1 + \sum_{n \in DR'} f_{imn} \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR, \quad \forall m \in DR \quad (3.150)$$

$$\sum_{d \in \pi_i} z'_{ikd} + h'_{kn} \leq 1 + \sum_{m \in DR} f_{imn} \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR', \quad \forall n \in DR' \quad (3.151)$$

$$x_i + q_i \leq x_j + M(1 - \alpha_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.152)$$

$$x_j + q_j \leq x_i + M(1 - \beta_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.153)$$

$$y_i + p_i \leq y_j + M(1 - \gamma_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.154)$$

$$y_j + p_j \leq y_i + M(1 - \delta_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.155)$$

$$\alpha_{ij} + \beta_{ij} + \gamma_{ij} + \delta_{ij} \geq \sum_{c \in C} (z_{ikc} + z_{jkc}) - 1 \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j, \quad \forall k \in TR \quad (3.156)$$

$$x_i + q_i \leq W_k + M \left(1 - \sum_{c \in C} z_{ikc} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR \quad (3.157)$$

$$y_i + p_i \leq L_k + M \left(1 - \sum_{c \in C} z_{ikc} \right) \quad \forall i \in PR, \quad \forall k \in TR \quad (3.158)$$

$$x'_i + q_i \leq x'_j + M(1 - \alpha'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.159)$$

$$x'_j + q_j \leq x'_i + M(1 - \beta'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.160)$$

$$y'_i + p_i \leq y'_j + M(1 - \gamma'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.161)$$

$$y'_j + p_j \leq y'_i + M(1 - \delta'_{ij}) \quad \forall (i, j) \in PR, \quad i < j \quad (3.162)$$

$$\alpha'_{ij} + \beta'_{ij} + \gamma'_{ij} + \delta'_{ij} \geq \sum_{d \in \pi_i} (z'_{ikd}) + \sum_{d \in \pi_j} (z'_{jkd}) - 1$$

$$\forall (i, j) \in PR, \quad i < j, \quad \forall k \in TR' \quad (3.163)$$

İki Aşamalı Model

ÇSÜAYP-ARP'nin iki aşamalı matematiksel modeline ait ilk aşamayı ARP oluşturmaktadır. ÇSÜAYP'de çapraz sevkiyat şebekesine ait ulaştırma probleminin tanımlandığı Model 1'de ÇSÜAYP-ARP için araç rotalarına ait kısıtlar yer almaktadır. Bu kısıtlar, ÇSÜAYP-ARP için geliştirilmiş olan bütünleşik modele ait ürün akış ve araç rotalama kısıtları ile aynıdır. ÇSÜAYP-ARP'nin iki aşamalı matematiksel modelinde Model 1 için geçerli olan bu kısıtlar; 3.26-3.44, 3.133-3.149, 3.152-3.163'tür. Model 1'e ait amaç fonksiyonu ise sadece toplama ve dağıtım yapan araçlara ait taşıma maliyetlerini kapsayacak şekilde 3.164'de olduğu gibi güncellenmiştir.

$$Min \sum_{r \in SC} \sum_{t \in SC} \sum_{k \in TR} \overline{cost}_{rt} \bar{v}_{rtk} + \sum_{o \in CD} \sum_{u \in CD} \sum_{k \in TR'} \overline{cost}'_{ou} \bar{v}'_{ouk} \quad (3.164)$$

ÇSÜAYP-ARP'nin iki aşamalı modelinin ikinci aşamasında Model 1'de elde edilen araç rotaları ve ürün akışlarına göre ÇSM alanlarındaki araç-kapı atamaları ve iki boyutlu ürün yerleşim planları oluşturulmaktadır. ÇSÜAYP'den farklı olarak toplama

işlemi yapan araçlar da rotalarına ait oldukları ÇSM'lerden başladıkları ve tekrar ait oldukları ÇSM'lere döndükleri için Model 1'de elde edilen sonuçlarda bir aracın ait olduğu ÇSM dışında başka bir ÇSM'ye gitme durumu yoktur. Diğer yandan bir ÇSM'ye ait toplama veya dağıtım aracı herhangi bir rotaya atanmış ise bu araç bir boşaltma veya yükleme kapısına atanabilir. Model 2'ye ait bu veriler, Model 1'den elde edilen sonuçlardan tespit edilmektedir. Model 1'den elde edilen bu bilgiler aşağıda tanımlanan notasyonlar ile Model 2'de kullanılmaktadır.

$$\bar{\varphi} = \{(k, l) \in TR: truck_k = truck_l, k < l\}$$

$$\bar{\sigma} = \left\{ k \in TR: \sum_{r \in C} \sum_{t \in S} \bar{v}_{rtk} > 0 \right\}$$

$$\bar{\sigma}' = \left\{ k \in TR': \sum_{o \in C} \sum_{u \in D} \bar{v}'_{ouk} > 0 \right\}$$

Tanımlanan yeni notasyonlar dahilinde ÇSÜAYP-ARP'nin iki aşamalı matematiksel modelinin ikinci aşamasında araç kapı atamaları 3.165-3.168 kısıtları ile belirlenmektedir. Bu kısıtların sağladığı koşullar:

- Kısıt 3.165, toplama işlemi için bir rotaya atanmış aracın, ait olduğu ÇSM'de bir boşaltma kapısına atanmasını sağlar. Aynı şekilde 3.166, bu koşulu dağıtım işlemlerini gerçekleştiren araçlar için sağlamaktadır.
- 3.167 ve 3.168 no.'lu kısıtlar ÇSM alanlarındaki bir boşaltma veya yükleme kapısına birden fazla aracın yanaşmamasını garanti etmektedir.

$$\sum_{m \in DR} h_{km} = 1 \quad \forall k \in \bar{\sigma} \quad (3.165)$$

$$\sum_{n \in DR'} h'_{kn} = 1 \quad \forall k \in \bar{\sigma}' \quad (3.166)$$

$$h_{km} + h_{lm} \leq 1 \quad \forall m \in DR, \quad \forall k, l \in \bar{\varphi} \quad (3.167)$$

$$h'_{kn} + h'_{ln} \leq 1 \quad \forall n \in DR', \quad \forall k, l \in \varphi' \quad (3.168)$$

ÇSÜAYP-ARP'nin iki aşamalı matematiksel modelin ikinci aşaması için yukarıda tanımlanan kısıtlara ek olarak, alan içi ürün yerleşimlerini ve taşımaları belirleyen 3.73-3.89 no.'lu kısıtlar ve amaç fonksiyonu 3.68, Model 2 için geçerlidir.

4. PROBLEM ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMALAR

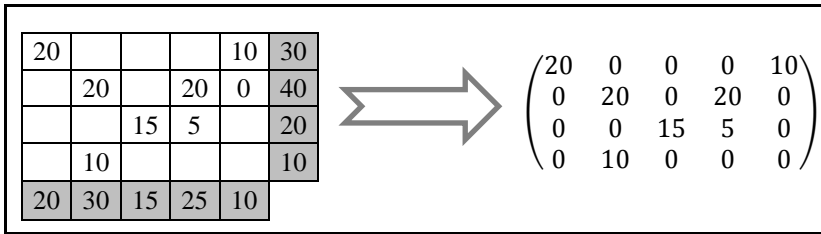
Çapraz sevkiyat konusunda günümüze kadar yapılmış olan çalışmalarda dikkate alınan problemlerin çözümü için kesin çözüm veren yöntemlerin büyük boyutlu problemlerde yetersiz kaldığı ve bu nedenle bir sezgisel veya meta-sezgisel algoritmanın kullanıldığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda ise problem çözümü için birden fazla meta-sezgisel algoritmadan oluşan hibrit algoritmalar geliştirilmiştir. Yapılan bu tez çalışması kapsamında ÇSÜAYP ve varyasyonları için etkin bir çözüm üretebilmek amacıyla beş temel algoritma dikkate alınmıştır. Bu algoritmalar; çapraz sevkiyat konusunda literatürde yer alan birçok çalışmada kullanılmış ve etkinliği kanıtlanmış olan TB, TA, GA, DGA ve PSO'dur. Ayrıca, temel yapıdaki algoritmalara ek olarak popülasyon tabanlı olan GA, DGA ve PSO'nun TB ile birleştirilmesiyle elde edilmiş hibrit algoritmalar geliştirilmiş ve performansları test edilmiştir. Bu bölümde; tez kapsamında dikkate alınan problemlerin çözümü için geliştirilen algoritmalar ve bu algoritmalarda kullanılan alt prosedürler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.1. Öncelik Sırasına Sahip Çözüm Kodlama Sistemi

Geliştirilen algoritmalarda hızlı ve etkin çözümler üretebilmek için problemde çözümü temsil edecek etkin bir kodlama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistem, probleme ve problemin çözümünde kullanılan algoritmaya göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; kombinatoryal problem sınıfında yer alan gezgin satıcı problemi için tek bir çözüm üreten ve permütasyon sıralamaya sahip bir kodlama, TB veya TA algoritmalarında doğrudan bir çözümü temsil ederken, sürekli değişkenlerin kullanıldığı bir algortmada değişkenlerin çözümü temsil edebilmesi için bir dönüşüm fonksiyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Geliştirilecek bu yapının problemde her türlü durumu ifade edebilecek kadar esnek ve hızlı çalışıyor olması algoritmanın performansını da önemli derecede arttıracaktır. ÇSÜAYP'de ise ürün akışları için ulaştırma problemini temel alacak ve aynı zamanda ürün yerleşim ve araç-kapı atamalarını da ifade edebilecek bir çözüm kodlama yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır.

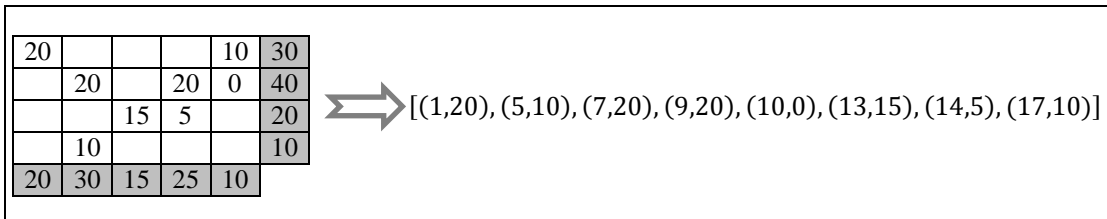
Michalewicz ve ark. (1991) ulaştırma probleminin çözümü için GA'yı kullanmışlardır. Algoritmada her bir bireyin bir uygun çözüm üretebilmesi için matris tabanlı kodlama

sistemini geliştirmişlerdir. Bu sistemde her bir birey, s adet satır ve d adet sütunun bulunduğu ve $s + d - 1$ adet pozitif değer içeren $s \times d$ boyutunda matristen oluşmaktadır. Dört üretici ve beş müşteriden oluşan örnek bir matris kodlama sistemi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu yöntemde kodlama sistemi basit olmakla birlikte, problemde uygun çözüm üretilebilmesi için özel operatörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu operatörler matris gösteriminde sabit maliyet gibi değişkenlerin de probleme dahil edilmesine imkan vermediği için matris kodlama sistemi, ulaştırma problemlerinde çok fazla tercih edilmemektedir.



Şekil 4.1. Matris kodlama sistemine örnek bir gösterim

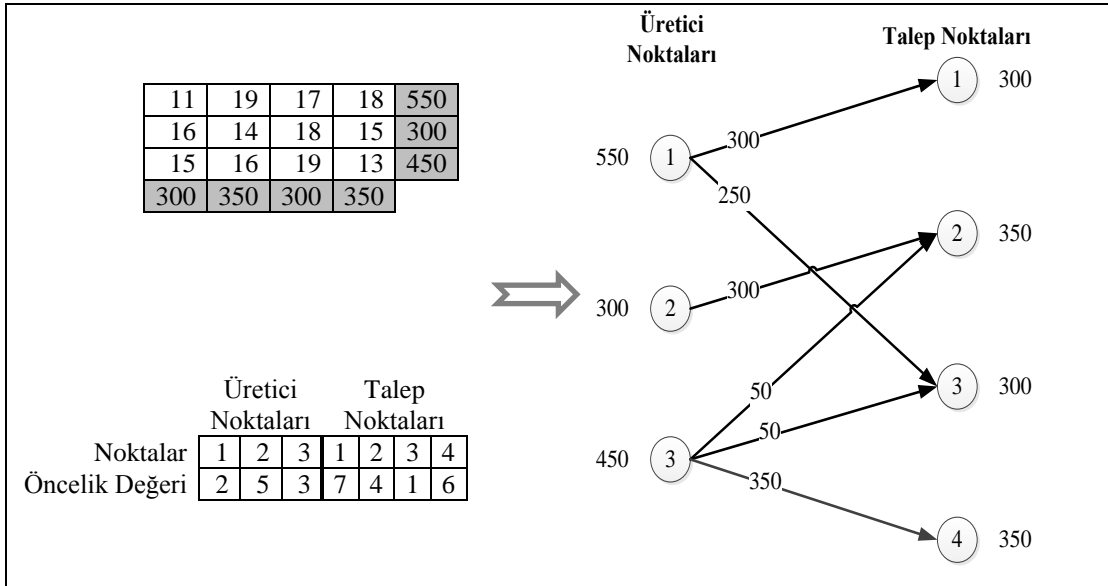
Liu ve ark. (2008) ulaştırma probleminin GA ile çözümü için sabit maliyetleri de dikkate alan ve uygun temel çözüm sunan bir kodlama sistemi geliştirmişlerdir. Bu kodlama sisteminde her bir birey, s adet satır ve d adet sütunun bulunduğu ulaştırma problemine ait uygun bir temel çözümü $s + d - 1$ adet atama elemanı ile temsil etmektedir. Bu kodlama sistemine ait örnek bir gösterim Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Liu ve ark. (2008) tarafından geliştirilen kodlama sistemi

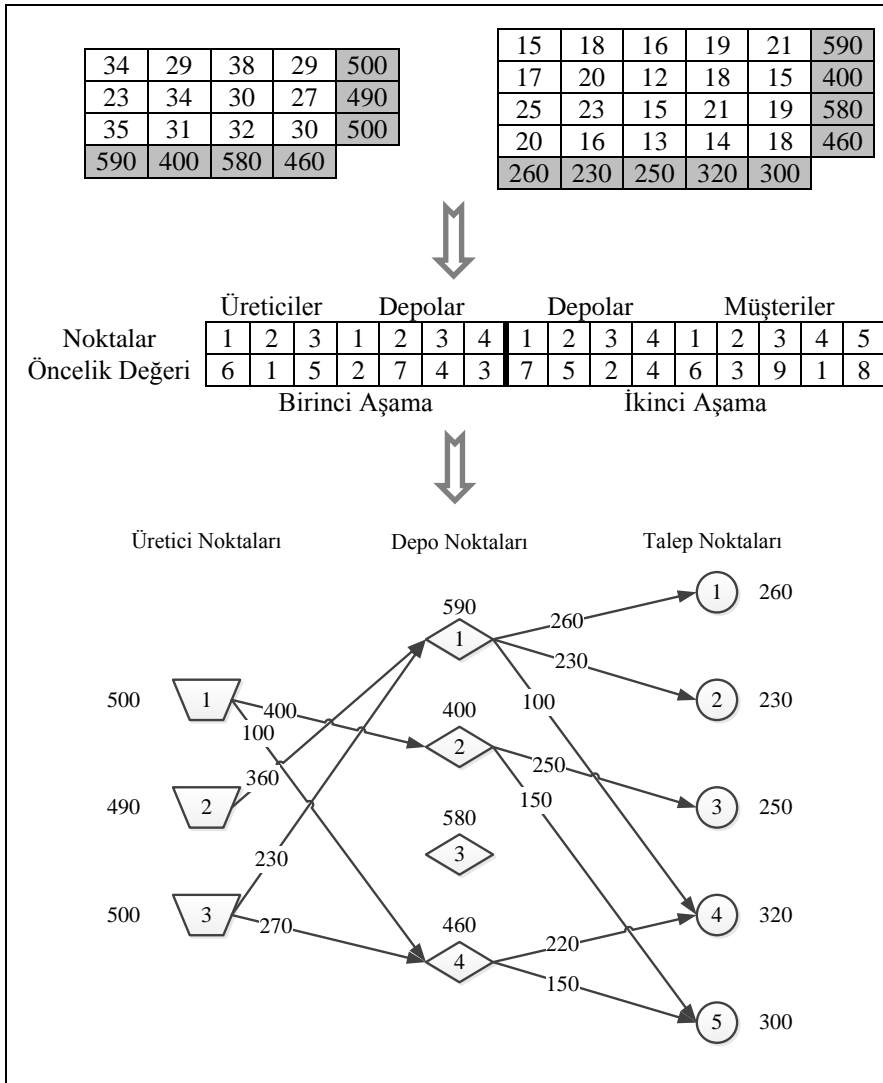
Gen ve ark. (1999) ulaştırma problemi için GA’da “Prüfer Sayı” kodlama sistemini kullanarak, ağaç yapısını temel alan bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Fakat ağaç yapısının ulaştırma problemine tam olarak uygun olmaması nedeniyle, “Prüfer Sayı” kodlama yöntemi ile elde edilen yapı, algoritma içinde iki adet onarıcı operatör ile uygun bir

çözüm haline dönüştürülmektedir. Ağaç yapısına sahip “Prüfer Sayı” kodlama sisteminde kullanılan onarım operatörlerinin işlem süresi açısından etkin olmaması nedeniyle Gen ve ark. (2006), iki aşamalı ulaştırma probleminin çözümü için öncelik sırasına sahip kodlama sistemini geliştirmişlerdir. Bu sistemde üreticilerden depolara ve depolardan müşterilere olan taşımaları oluşturabilmek için üretici ve depo noktalarından oluşan bir öncelik sırası oluşturulmaktadır. Öncelik sırası en yüksek olan noktadan başlayarak her bir adımda, üreticilerden depolara veya depolardan müşterilere en az maliyete sahip bir ark eklenerek problemde uygun çözüm üretilmektedir. GA için geliştirilen bu kodlama sistemi lojistik ağ tasarımı, tersine lojistik ağ tasarımı, hat dengeleme v.b. problemlere de başarı ile uygulanmıştır (Lotfi ve Tavakkoli-Moghaddam 2013). Şekil 4.3’te, üç üretici ve dört talep noktasından oluşan tek aşamalı bir ulaştırma problemi için örnek kodlama sistemi ve bu kodlamaya ait ürün akışları gösterilmiştir. Örnek kodlamada en yüksek öncelik değerine sahip olan nokta, bir numaralı talep noktasıdır ve ilk olarak bu noktanın talebi en az ulaştırma maliyetine sahip olan birinci üretici noktası tarafından sağlanmıştır. İkinci en yüksek öncelik sırasına sahip olan dördüncü talep noktasının talebi ise üçüncü üretici noktası tarafından sağlanmıştır. Diğer atamalar, öncelik sırası takip edilerek ürün akışları belirlenmektedir.



Şekil 4.3. Tek aşamalı ulaştırma probleminin öncelik sırası ile kodlanması (Gen ve ark. 2006)

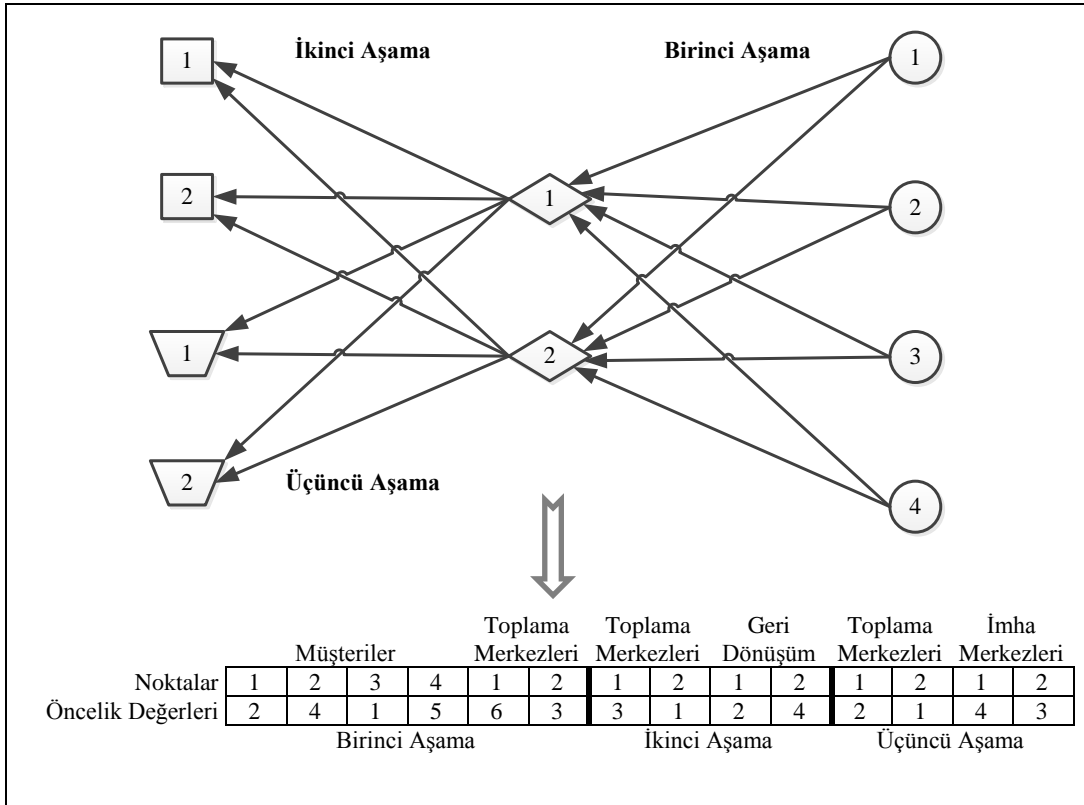
Gen ve ark. (2006) tarafından iki aşamalı ulaştırma problemi için geliştirilmiş olan öncelik sırasına sahip kodlama sistemine örnek bir gösterim ise Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu sistemde, tek aşamalı ulaştırma probleminden farklı olarak depolama işlemleri de yer almaktadır. Üreticilerden çıkan ürünler, depo noktalarına taşınmakta ve müşteri taleplerine göre bu noktalardan dağıtımları gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle kodlama sisteminde iki ayrı öncelik sırası bulunmaktadır. İlk sıra, üretici ve depo noktalarını; ikinci sıra ise depo ve müşteri noktalarını kapsamaktadır. Ürün akışları ise müşteri noktalarından başlayarak talep miktarlarını karşılayacak şekilde geriye doğru planlanmaktadır.



Şekil 4.4. İki aşamalı ulaştırma probleminin öncelik sırası ile kodlanması (Gen ve ark. 2006)

Öncelik sırasına sahip kodlama sisteminin kullanıldığı benzer çalışmalar Raj ve Rajendran (2012) ve Lotfi ve Tavakkoli-Moghaddam (2013) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmaları kodlama sistemini, GA’da yeni operatörlerle geliştirerek sabit maliyetli ulaştırma probleminin çözümünde kullanmışlardır. Ayrıca bu kodlama sisteminin genetik algoritma içinde, matris kodlama ve “Prüfer Sayı” kodlama sistemine göre daha etkin çalıştığını belirtmişlerdir.

Pishvae ve ark. (2010) tersine lojistik ağ tasarımı probleminin çözümünde tavlama benzetimi algoritmasını geliştirmiş ve algoritmada öncelik sırasına sahip kodlama sistemini üç aşamalı olarak kullanmışlardır. Öncelik sırasında; ilk aşama müşterilerden toplama merkezlerine olan akışı, ikinci aşama toplama merkezlerinden geri dönüşüm noktalarına olan akışı ve üçüncü aşama toplama merkezlerinden imha merkezlerine olan akışı temsil etmektedir. Bu kodlama sistemine ait örnek bir gösterim Şekil 4.5’te yer almaktadır.



Şekil 4.5. Tersine lojistik ağ tasarımı için öncelik sırasına sahip kodlama sistemi (Pishvae ve ark. 2010)

Miao ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada çapraz sevkiyat şebeke tasarımı ve araç rotalama problemi için iki aşamalı bir kodlama sistemi kullanmışlardır. Kodlamanın her aşamasında s adet üretici ve d adet müşteri noktasından oluşan toplam $s + d$ adet değişken bulunmaktadır. İlk aşamada, üretici ve talep noktalarının atanacağı çapraz sevkiyat merkezleri belirlenmektedir. İkinci aşamada ise üreticilerden çapraz sevkiyat merkezlerine ve çapraz sevkiyat merkezlerinden müşteri noktalarına olan ürün akışları için rota ataması yapılmaktadır. Fakat bu atamalar, herhangi bir sıralama bilgisi içermemektedir. Üretici ve müşteri noktaları rotalara atandıktan sonra algoritma içinde sıralama işlemleri yapılmaktadır. Geliştirilen bu iki aşamalı kodlama sistemi Şekil 4.6'da örnek olarak gösterilmiştir. Benzer bir kodlama sistemi Mousavi ve Tavakkoli-Moghaddam (2013) tarafından çapraz sevkiyatta araç rotalama problemi için kullanılmıştır. Fakat bu çalışmada her bir ÇSM için dağıtım ve toplama araç rotaları ayrı ayrı ve permütasyon sıra halinde oluşturulmuştur.

		Üretici Noktaları										Müşteri Noktaları														
Noktalar		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Atamalar		1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	
		Birinci Aşama: Çapraz Sevkiyat Atamaları																								
		Üretici Noktaları										Müşteri Noktaları														
Noktalar		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Atamalar		2	3	1	3	4	3	1	2	4	2	1	3	5	6	2	2	5	2	4	1	4	4	3	6	
		İkinci Aşama: Rota Atamaları																								

Şekil 4.6. Miao ve ark. (2012) tarafından geliştirilen iki aşamalı kodlama sistemi

ÇSÜAYP için oluşturulacak çözüm kodlama sisteminin içermesi gereken bir diğer karar mekanizması ise ürünlerin dağıtım/toplama araçlarında ve ÇSM alanlarında yerleşimlerini belirleyecek planlardır. Araç/konteyner yükleme olarak adlandırılan bu problemde amaç, farklı boyutlarda ürünlerin farklı tipte araçlara veya konteynerlere uygun şekilde yüklenmesini sağlamaktır. İki veya üç boyutlu olarak dikkate alınan bu problem, çoğunlukla araç rotalama problemleri ile birlikte incelenmektedir. Çapraz sevkiyat konusu kapsamında ise araç yüklemelerini veya alan yerleşim planlarını içeren bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Araç rotalama probleminde ürünlerin araçlara

yerleşiminde ise genel olarak müşterilerin veya müşterilere ait ürünlerin sıralanması ile temsili çözüm kodlanmaktadır (Khebbache ve ark. 2009, Leung ve ark. 2013).

Tez çalışması kapsamında problemin çözümü için alternatif olarak geliştirilen meta-sezgisel algoritmalarda çözümün temsili için öncelik sırasına sahip kodlama sistemi kullanılmıştır. Geliştirilen bu kodlama sistemi ile aşağıda verilen karar değişkenleri belirlenebilmektedir:

- Şebekede dağıtım ve toplama yapacak araçların çapraz sevkiyat merkezlerine atama kararları.
- Araçların gönderileceği ÇSM alanlarında araç-kapı atama kararları.
- Üreticilerden müşteri noktalarına olan ürün akışında ürünlerin dağıtım ve toplama yapacak araçlara atama kararları.
- Ürünlerin; araçlarda ve ÇSM alanlarında konumlarını belirleyen yerleşim kararları.

Öncelik sırasına sahip kodlama sistemi üç farklı model (bütünleşik model, iki aşamalı modelin ilk aşaması ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması) için geliştirilmiştir. Bütünleşik model için geliştirilen öncelik sırası şebekede taşınan ürünler, taşıma yapan araçlar ve ÇSM kapılarını temsil eden üç ayrı kısımdan meydana gelmekte ve her kısmın öncelik sırası diğer kısımlardan bağımsız belirlenmektedir. İki aşamalı modelin ilk aşamasında öncelik sırası, ürünleri ve araçları temsil eden iki kısımdan oluşmaktadır. Benzer şekilde, iki aşamalı modelin ikinci aşamasında öncelik sırası, araçları ve ÇSM kapılarını temsil eden iki kısımdan oluşmaktadır. Şekil 4.7’de sekiz ürün, dört araç ve beş ÇSM kapısından oluşan bir örnek problem için tasarlanan üç farklı modele yönelik öncelik sırasına ait bir gösterim yer almaktadır. Bütünleşik model ve iki aşamalı modelin ilk aşaması olan şebeke tasarımı için oluşturulan öncelik sırasında, üreticilerden müşterilere taşınacak her bir ürün öncelik sırasına göre uygun olan ilk dağıtım ve toplama aracına atanır. Bu atama işlemi ise araç öncelik sırasına göre gerçekleştirilmektedir. Ürün atamaları sırasında dikkate alınan araçlar eğer daha önce hiç kullanılmamış ise bu araçların hangi noktalara atanacağı da taşıma maliyetlerine göre belirlenmektedir. Ürün ve araç atama işlemlerinde bir ürün hem toplama hem de dağıtım aracına atanacağı için üreticiden müşteriye olan ürün akışının devamlılığı

kontrol edilmektedir. Yani, bir ürünün atandığı toplama aracının ve dağıtım aracı aynı ÇSM noktasına hizmet vermelidir.

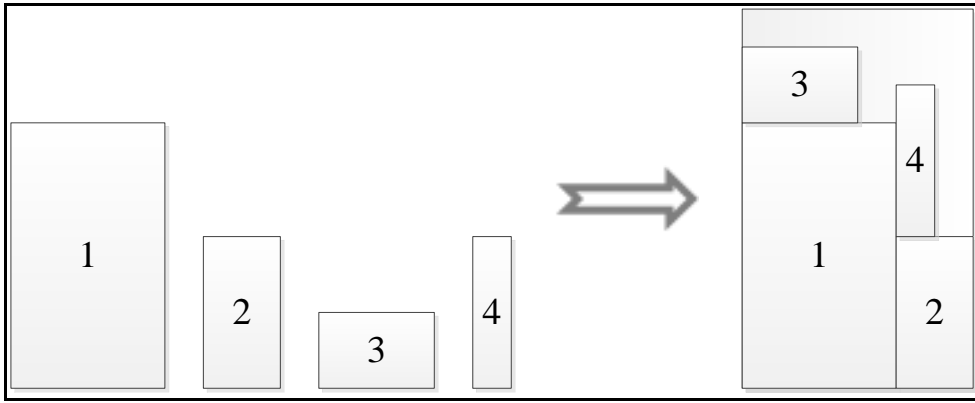
Bütünleşik Model	Ürün Öncelik Sırası								Araç Öncelik Sırası				Kapı Öncelik Sırası			
	5	1	4	8	6	7	2	3	3	4	2	1	5	3	2	1
İki Aşamalı Model (Aşama 1)	Ürün Öncelik Sırası								Araç Öncelik Sırası							
	5	1	4	8	6	7	2	3	3	4	2	1				
İki Aşamalı Model (Aşama 2)	Araç Öncelik Sırası				Kapı Öncelik Sırası											
	3	4	2	1	5	3	2	1	4							

Şekil 4.7. Geliştirilen öncelik sırasına sahip kodlama sistemi

Bütünleşik model ve iki aşamalı modelin ikinci aşamasında araç-kapı atama işlemleri araç öncelik ve kapı öncelik sırasına göre gerçekleştirilmektedir. Araç öncelik sırasına göre dikkate alınan bir araç; eğer toplama aracı ise kapı öncelik sırasına göre müsait olan ilk boşaltma kapısına, dağıtım aracı ise kapı öncelik sırasına göre müsait olan ilk yükleme kapısına atanmaktadır.

Öncelik sırasına sahip kodlama sisteminde ürünlerin dağıtım/toplama araçlarına atanmasında ve ÇSM alanında bekletilmesi durumunda iki boyutlu yerleşim kısıtları; Chazelle (1983) tarafından geliştirilmiş olan aşağı sol (bottom left) algoritması kullanılarak kontrol edilmektedir. Basit bir mantığa göre çalışan bu algorithmada, alan olarak büyükten küçüğe sıralanan ürünler (kutular) sırayla araçlara veya belirli bir alana sürüklenme mantığı ile uygun olan en dip sol köşeye yerleştirilir. Yerleştirilmek için seçilen ürün sürüklenme işlemine, alanın sağ üst köşesinden başlar ve ürün öncelikle mümkün olduğunca aşağıya doğru kaydırılır. Herhangi bir ürünün üst kenarıyla veya alanın alt sınır kenarıyla karşılaşılması durumunda ürün sola doğru bir ürünle veya alanın sol kenarıyla karşılaşınca kadar hareket ettirilir. Aşağıya ve sola doğru kaydırma işlemi, ürünün bu yönlere hareket imkânı kalmayınca kadar devam ettirilir. Ürünlerin iki boyutlu alanlara yerleştirilmesi için geliştirilen bu algoritma, geliştirilerek üç boyutlu yerleşim planları için de kullanılmıştır (Gendreau ve ark. 2006). Şekil 4.8’de dört adet farklı boyutta ürünün aşağı sol algoritması kullanılarak oluşturulmuş iki boyutlu yerleşim planı örnek olarak verilmiştir. En büyük alana sahip

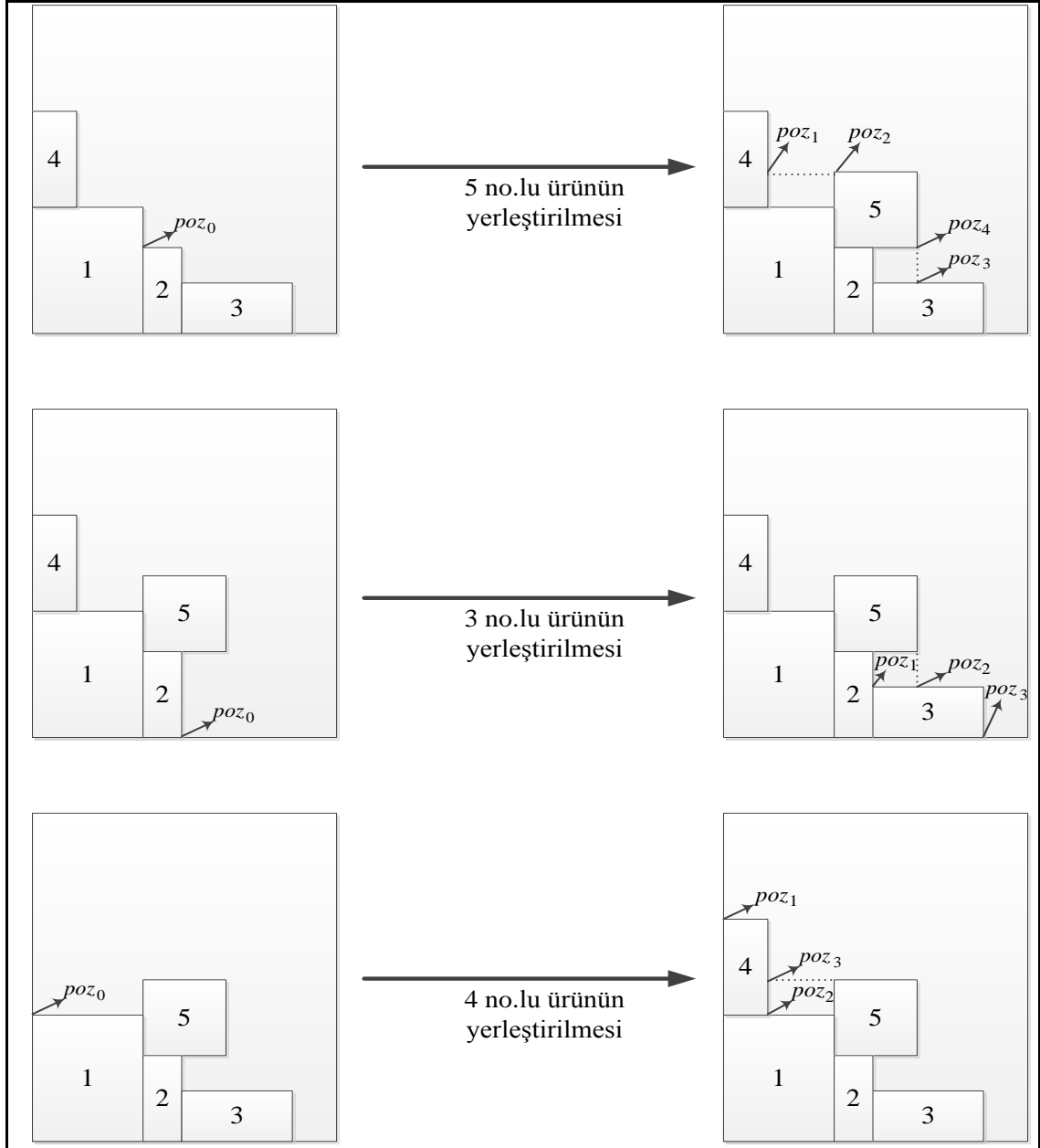
olan birinci ürün ilk olarak yerleştirildikten sonra ikinci ürün onun sağına yerleştirilmiştir. Üçüncü ürünün genişliği, birinci ürünün sağına ve ikinci ürünün üstünde kalan boşluğa ait alanın genişliğinden büyük olması nedeniyle bu ürün ancak birinci ürünün üst kenarına kadar aşağıya kaydırılabilmiş ve daha sonra sol tarafa doğru alan kenarına kadar sürüklenmiştir. Dördüncü ürün ise ikinci ürünün üst kenarına kadar aşağıya kaydırılmış ve daha sonra birinci ürünün sağ kenarına kadar sürüklenmiştir.



Şekil 4.8. Aşağı sol algoritması ile oluşturulmuş örnek bir yerleşim planı

Son yıllarda iki boyutlu araç/konteyner yükleme problemleri için yapılmış çalışmalarda aşağı sol algoritması için sürüklenme mantığı yerine pozisyon tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, alan içinde ürünlerin yerleştirilebileceği uç köşe noktalara ait koordinatlar bilgisayar belleğinde tutulmakta ve her bir ürün yerleşimi işleminden sonra bu pozisyonlar güncellenmektedir. Algoritmanın başlangıcında pozisyonlar listesinde $(0,0)$ konumu, yani alanın sol en alt köşesi mevcut iken her ürün yerleşiminde ürünün yerleştirildiği konum listeden silinmekte ve ürünün yerleşim durumuna göre oluşan yeni alternatif pozisyonlar listeye eklenmektedir. Bir ürünün yerleşim durumuna göre oluşabilecek pozisyonlar Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Şekilde üç farklı durum için poz_0 noktalarına yerleştirilen ürünlerden sonra oluşan yeni pozisyon noktaları poz_1, poz_2, poz_3 ve poz_4 ile belirtilmiştir. Belirlenen pozisyonların öncelik sırası ise pozisyonların yatay eksene veya dikey eksene olan yakınlıklarına göre oluşturulabilmektedir. Alan içi yerleşim planını değiştiren bu durum için algoritma birçok çalışmada aşağı sol (yatay eksen) ve aşağı sol (dikey eksen) olarak adlandırılmıştır (Zachariadis ve ark. 2009, Leung ve ark. 2011, Leung ve ark. 2013,

Zachariadis ve ark. 2013). Geliştirilen bu algoritma ayrıca birçok çalışmada üç boyutlu araç/konteyner yükleme problemi için de kullanılmıştır (Kang ve ark. 2012, Ceschia ve ark. 2013).



Şekil 4.9. Bir ürünün belirli alana yerleştirilmesi sonucu oluşan olası pozisyonlar (Zachariadis ve ark. 2013)

Bu tez çalışmasında ÇSÜAYP için geliştirilen algoritmalarda amaç fonksiyon değeri hesaplanırken bir ürünün araçlara ve ÇSM alanlarına yerleşim durumları ve pozisyonları; aşağı sol (yatay eksen) ve aşağı sol (dikey eksen) algoritmaları

kullanılarak belirlenmektedir. Bir araca yüklenecek veya ÇSM alanında yerleştirilecek i ürününün uygunluğu ilk olarak aşağı sol (yatay eksen) algoritması ile belirlenmektedir. Eğer algoritmanın sonucunda ürünün yerleşimi uygun değil ise aşağı sol (dikey eksen) algoritması çalıştırılmaktadır. Bu iki algoritmanın koşumu sonucunda eğer ürünün yerleşimi belirtilen alan için uygun ise $aşağı\ sol(alan, ürün) = 1$, değil ise $aşağı\ sol(alan, ürün) = 0$ değeri dönmektedir. Bütünleşik model, iki aşamalı modelin ilk aşaması ve ikinci aşaması için geliştirilen amaç fonksiyonu hesaplamalarına ait sözel kodlar sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.

```

1:  $z_{ikc}, z'_{ikd}, v_{kcm}, v'_{kdn}$  ve  $f_{imn}$  değişkenlerinin değerlerini sıfırla
2:  $maliyet = 0$ 
3: For  $j = 1$  To  $|PR|$ 
4:    $i =$  Ürün öncelik listesinde yer alan  $j$ . sıradaki ürün
5:   //Araç atamaları
6:   Araç öncelik sırasından ürün akışını sağlayacak uygun toplama ve dağıtım araçlarını belirle ( $k, l$ )
7:   //Kapı atamaları
8:   Kapı öncelik sırasından ürün akışını sağlayacak uygun boşaltma ve yükleme kapılarını belirle ( $m, n$ )
9:   //Ürünün atanacağı ÇSM
10:   $c = truck'_i$ 
11:  //Ürünün gönderildiği üretici noktası
12:   $s = dem_i$ 
13:  //Ürünün gönderileceği müşteri noktası
14:   $d = dem'_i$ 
15:  If  $aşağı\ sol(k, i) = 1$  And  $aşağı\ sol(l, i) = 1$  And  $aşağı\ sol(c, i) = 1$  Then
16:     $z_{ikc} = z'_{ikd} = 1$ 
17:    If  $v_{kcm} = 0$  Then
18:       $v_{kcm} = 1$ 
19:       $maliyet += cost_{sc}$ 
20:    End If
21:    If  $v'_{ldn} = 0$  Then
22:       $v'_{ldn} = 1$ 
23:       $maliyet += cost'_{cd}$ 
24:    End If
25:     $f_{imn} = 1$ 
26:     $i$  ürününe ait alan içi taşıma miktarlarını belirle  $move_{x_i}, move_{x'_i}, move_{y_i}, move_{y'_i}$ 
27:     $maliyet += cost_{cr} \times (move_{x_i} + move_{x'_i} + move_{y_i} + move_{y'_i})$ 
28:  Else
29:     $maliyet += M$ 
30:  End If
31: Next

```

Şekil 4.10. Bütünleşik modelde amaç fonksiyon değeri hesaplamasına ait sözel kod

```

1:  $z_{ikc}, z'_{ikd}, g_{kc}, g'_{kd}$  ve maliyet değişkenlerinin değerlerini sıfırla
2: For  $j = 1$  To  $|PR|$ 
3:    $i =$  Ürün öncelik listesinde yer alan  $j$ . sıradaki ürün
4:   Araç öncelik sırasından ürün akışını sağlayacak uygun toplama ve dağıtım araçlarını belirle ( $k, l$ )
5:    $c = truck'_i$ 
6:    $s = dem_i$ 
7:    $d = dem'_i$ 
8:   If aşağı  $sol(k, i) = 1$  And aşağı  $sol(l, i) = 1$  Then
9:      $z_{ikc} = z'_{ikd} = 1$ 
10:    If  $g_{kc} = 0$  Then
11:       $g_{kc} = 1$ 
12:      maliyet +=  $cost_{sc}$ 
13:    End If
14:    If  $g'_{ld} = 0$  Then
15:       $g'_{ld} = 1$ 
16:      maliyet +=  $cost'_{cd}$ 
17:    End If
18:  Else
19:    maliyet +=  $M$ 
20:  End If
21: Next

```

Şekil 4.11. Model 1 için amaç fonksiyon değeri hesaplamasına ait sözel kod

```

1:  $h_{km}, h'_{kn}, f_{imn}$  ve maliyet değişkenlerinin değerlerini sıfırla
2: For  $l = 1$  To  $|TR| + |TR'|$ 
3:    $k =$  Araç öncelik listesinde yer alan  $l$ . araç
4:   If  $k \in TR$  And  $\sum_{c \in C} g_{kc} = 1$  Then
5:      $k$  aracını, kapı öncelik sırasında boş olan ilk boşaltma  $m$  kapısına ata ( $h_{km} = 1$ )
6:   Else If  $k \in TR'$  And  $\sum_{d \in D} g'_{kd} = 1$  Then
7:      $k$  aracını kapı öncelik sırasında boş olan ilk yükleme  $n$  kapısına ata ( $h'_{kn} = 1$ )
8:   End If
9: Next
10: For  $i = 1$  To  $|PR|$ 
11:    $c = i$  ürününün Model 1'de atandığı ÇSM'yi belirle
12:    $m = i$  ürünün  $c$  ÇSM alanında bulunduğu boşaltma kapısını belirle
13:    $n = i$  ürünün  $c$  ÇSM alanında bulunduğu yükleme kapısını belirle
14:   If aşağı  $sol(c, i) = 1$  Then
15:      $f_{imn} = 1$ 
16:      $i$  ürününe ait alan içi taşıma miktarlarını belirle  $move_{x_i}, move_{x'_i}, move_{y_i}, move_{y'_i}$ 
17:     maliyet +=  $cost_{cr} \times (move_{x_i} + move_{x'_i} + move_{y_i} + move_{y'_i})$ 
18:   Else
19:     maliyet +=  $M$ 
20:   End If
21: Next

```

Şekil 4.12. Model 2 için amaç fonksiyon değeri hesaplamasına ait sözel kod

Yukarıda tanımlanan amaç fonksiyon hesaplamaları ÇSÜAYP'nin varyasyonlarına aşağıdaki şekilde adapte edilmiştir:

- ÇSÜAYP-KKD'de araçların kapılara atanması sırasında herhangi bir boşaltma veya yükleme kapısı ayrımı yoktur. Bu nedenle öncelik sırasına göre seçilen araçlar kapı öncelik sırasında uygun olan ilk kapıya atanmaktadır.
- ÇSÜAYP-ÜRA'da alan içi yerleşimi yerine ürünler raflara atanmaktadır. Bu işlem sırasında dikkate alınan bir ürün, gönderildiği ÇSM'de uygun olan raflar içinden taşıma miktarının en az olduğu rafa atanır. Taşıma miktarının hesaplanması noktasında kapılardan raflara olan uzaklıklar dışında rafların bulunduğu dikey konumlar da dikkate alınmaktadır.
- ÇSÜAYP-ARP'de ise araçlar tek bir lokasyon yerine birden fazla lokasyona hizmet verebilmektedir. Bu nedenle bir ürünün araca atanması sırasında, başka lokasyonlara hizmet veren araçlar da dikkate alınarak en düşük maliyete sahip atama planı seçilmektedir.

4.2. Tavlama Benzetimi Algoritması

TB algoritması ilk olarak Kirkpatrick ve ark. (1983) tarafından kombinatoryal problemlerin çözümü için geliştirilmiş stokastik bir metottur. Algoritmanın ismi, katıların fiziksel tavlama süreci ile benzerliğinden ileri gelmektedir. Tavlama işlemi süreci, katı cisimlerin ısı enerjisi ile kararsızlaşan ve bu enerjiyi kaybettikçe kristalleşme ile kararlı hale gelen yapılarına dayanmaktadır. Bu bağlamda TB algoritması, yeterince yüksek bir sıcaklıktaki (T) çözümden başlayarak sıcaklığı aşamalı olarak indirmekte ve bu kademeli sıcaklık düşüşü esnasında iyi ve kötü çözümler arasında dolaşarak en iyi çözüme ulaşmaktadır (Romeo ve Sangiovanni-Vincentelli 1991). Komşu çözüm arama işlemini stokastik olarak gerçekleştiren TB; oluşturduğu yeni bir çözümü, mevcut çözümden daha kötü de olsa belirli bir olasılıkla mevcut çözüm olarak kabul edebilmektedir. Bu yolla, yerel bir minimum nokta etrafında yapılan aramalardan çıkılıp, daha iyi bir yerel nokta veya global bir minimum nokta için aramaya devam etmek amaçlanır. Bu stokastik yapı şu şekilde işlemektedir: Bölgesel arama içerisinde seçilen en iyi çözüm ϕ' , eğer mevcut çözüm ϕ 'den daha iyi bir sonuç üretiyorsa bu yeni çözüm mevcut çözüm olarak atanır. Eğer yeni çözüm ϕ' , mevcut çözüm ϕ 'den daha

kötü bir sonuç üretmiş ise bu çözüm azalan bir olasılıkla kabul edilir. Algoritmaya ait en iyi çözüm ϕ^* ise her iterasyonda mevcut çözüm ile kıyaslanarak güncellenir (Rutenbar 1989). Bu işlemler matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\phi = \phi'; \text{ Eğer } \Delta \leq 0, \quad \Delta = f(\phi') - f(\phi)$$

$$\phi = \phi'; \text{ Eğer } \Delta > 0 \text{ ve } e^{-\Delta/T} > \text{random}[0,1], \quad \Delta = f(\phi') - f(\phi), \quad T = \text{Sıcaklık}$$

TB için tanımlanan kabul şartlarına göre amaç fonksiyonunda meydana gelen küçük artışların kabul edilme olasılığı, büyük artışların kabul edilme olasılığına göre daha yüksektir. Çeşitli soğutma stratejileri olmakla birlikte, tez çalışmasında T sıcaklık değeri her iterasyonda (0-1) arasında değişen bir soğuma parametresi (c) ile düşürülmektedir. Bu sayede T sıcaklığı yüksek olduğunda hareketlerin büyük çoğunluğu kabul edilmekle birlikte, sıcaklık değeri sıfıra yaklaştıkça amaç fonksiyonunda artışa neden olan hareketlerin kabul edilme olasılığı azalmaktadır. Algoritma, belirli bir iterasyon sonunda veya Δ farkının belirli bir kabul edilebilir değerin altında kalması durumunda durdurulur (Otten ve Van Ginneken 1988). Kirkpatrick ve ark. (1983) tarafından geliştirilen TB algoritmasının temel yapısına ait sözel kod Şekil 4.13'te yer almaktadır.

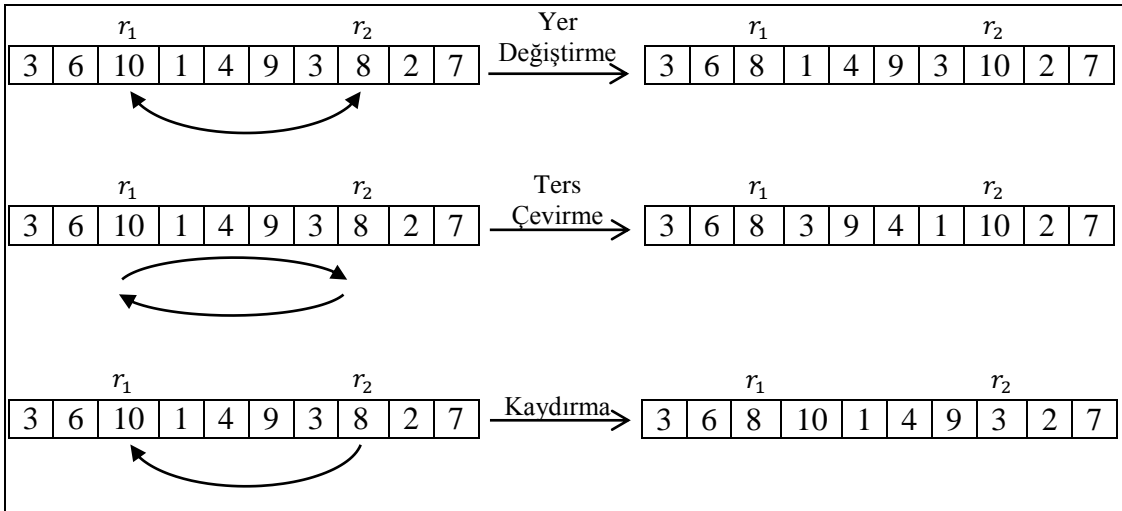
```

1:  $T =$  Başlangıç sıcaklığını belirle,  $c =$  Soğuma parametresini belirle
2: Durdurma kriterini tanımla
3: Rassal olarak başlangıç çözümü  $\phi$  üret ve  $f(\phi)$ 'i hesapla
4:  $\phi^* = \phi$ 
5: Do
6:    $\phi$  kullanarak  $\phi'$  komşu çözümünü üret
7:   Amaç fonksiyonu  $f(\phi')$  hesapla
8:    $\Delta = f(\phi') - f(\phi)$ 
9:   If  $\Delta \leq 0$  Then
10:      $\phi = \phi'$ 
11:   Else
12:     If  $\exp(-\frac{\Delta}{T}) > \text{random}[0,1]$  Then
13:        $\phi = \phi'$ 
14:     End If
15:   End If
16:   If  $f(\phi) < f(\phi^*)$  Then
17:      $\phi^* = \phi$ 
18:   End If
19:    $T = T \times c$ 
20: Loop Until (Durdurma kriteri)

```

Şekil 4.13. Tavlama benzetimi algoritmasının temel yapısına ait sözel kod

ÇSÜAYP için geliştirilen TB algoritmasında komşu çözüm üretimi için ürün, araç veya kapı öncelik sıralarında yer değiştirme, ters çevirme ve kaydırma işlemlerine dayanan bölgesel arama metotları kullanılmıştır (Osman 1993). Her iterasyonda, bu yöntemlerden rassal olarak belirlenen bir bölgesel arama metodu bir veya birden fazla öncelik sırasına uygulanmaktadır. Yer değiştirme metodunda, öncelik sırasında rassal olarak belirlenen iki noktanın konumu birbirleri ile yer değiştirmektedir. Ters çevirme metodunda, belirlenen iki nokta ve arasında kalan noktaların sırası ters çevrilerek yeni bir sıra oluşturulmaktadır. Kaydırma metodunda ise rassal olarak belirlenen ikinci nokta, birinci noktanın önüne getirilerek bu iki nokta arasında kalan bütün sıra kaydırılmaktadır. TB için kullanılan bu komşu çözüm üretme metotları Şekil 4.14'te örnek bir öncelik sırasında gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Yer değiştirme, ters çevirme ve kaydırma metodlarına ait örnek gösterim

4.3. Tabu Arama Algoritması

TA algoritması ilk olarak 1989 yılında Fred Glover tarafından insan hafızasının çalışmasından esinlenerek geliştirilmiş bir arama yöntemidir (Glover 1989, 1990). Bölgesel arama metotlarını kullanarak yeni çözüm üreten bu yöntem, hafıza özelliği ile TB'den farklılaşmaktadır. Tabu listesi olarak adlandırılan bu hafıza mekanizması arama geçmişini belirli bir iterasyon boyunca belleğinde tutmaktadır ve bu liste her iterasyonda güncellenmektedir. Bu güncelleme işleminde, tabu olan hareketlerin sayısı

tabu listesi uzunluğuna (TU) eriştiğinde, tabudan çıkma kuralı olarak tabu listesinin en başında olan en eski hareket tabu listesinden çıkartılır ve liste bir sıra yukarı kaydırılır. Algoritmada yeni çözümün belirlenmesi ise tabu listesine göre gerçekleşmektedir. Her iterasyonda, belirlenen komşuluk sayısı (KS) kadar yeni komşu çözüm üretilir ve bu komşu çözümler içinden tabu olmayan en iyi çözüm η' yeni çözüm η olarak belirlenir. Bu sayede algoritma döngüden çıkabilme özelliği kazanmaktadır.

TA için tabu listesinin uzunluğu oldukça önemlidir. Algoritmada yeni bir çözümün oluşturulması için yapılan hareket tabu listesine eklenmekte ve TU adet yeni hareket yapılıncaya kadar bu hareketin tekrar edilmesine izin verilmemektedir. TU adet yeni hareketten sonra ise bu hareket tabu listesinden çıkartılır. TU 'nun çok uzun olması durumunda komşu çözüm üretmek için yapılan hareketlerin çoğu tabu olacağından TA'nın hareket kabiliyeti azalacaktır. Aksi halde TU 'nun çok kısa olması durumunda ise bölgesel noktalar etrafında hareketler oluşabileceğinden algoritmanın global noktaya ulaşması güçleşmektedir (Thesen 1998, Tsubakitani ve Evans 1998, Salhi 2002).

Algoritmada yer alan diğer önemli bir özellik ise aspirasyon kriteridir. Bu özellik ile eğer seçilecek yeni komşu çözüm bilinen en iyi çözümünden daha iyi bir sonuç üretiliyorsa, bu çözümüne ait hareket, tabu listesinde olsa dahi kabul edilir. Bu kriterle kabul edilen bir hareketin tabu olma durumu kaldırılmaz ve hareket tabu listesinden çıkartılmaz. Sadece hareketin tabu olma durumu, aspirasyon kriterini sağladığı için göz ardı edilir (Glover ve ark. 1993). Glover (1989) tarafından geliştirilen TA algoritmasının temel yapısına ait sözel kod Şekil 4.15'te yer almaktadır. ÇSÜAYP için geliştirilen TA algoritmasında komşu çözüm üretmek için TB algoritmasında açıklanan yer değiştirme, ters çevirme ve kaydırma yöntemleri kullanılmıştır.

TA'da tabu listesi ve aspirasyon kriteri kısa dönemli hafıza görevini görmektedir. Bununla birlikte algoritmada uzun dönemli hafıza yapısı da kullanılabilir ve bu yapı arama işleminin daha kuvvetli bir hal almasını sağlayabilmektedir. Uzun dönemli hafıza ile arama esnasında elde edilen en iyi çözümüne dönüş yapılarak bu çözüm etrafında daha detaylı bir arama yapılması sağlanır. Böylece, bu bölgede daha iyi çözümler yer alıyor ise bu çözümlere ulaşma imkanı sağlanır. Elitist bir yaklaşım olan bu yöntemin yanı sıra algoritmada aramanın bölgesel olarak kuvvetlenmesi ve global olarak çeşitlenmesi açısından uzun dönemli hafıza olarak kuvvetlendirme ve

çeşitlendirme yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile arama uzayında bölgesel bir minimum noktaya ulaşıldığında diğer bölgelerin keşfedilmesi ve dolayısıyla global minimum noktanın elde edilmesi hedeflenir (Glover ve ark. 1993).

```
1:  $TU$  = Tabu listesi uzunluğunu belirle
2:  $KS$  = Her iterasyonda oluşturulacak komşu çözüm sayısını belirle
3: Durdurma Kriterini Tanımla
4:  $\eta^* = \emptyset$ 
5: Rassal olarak başlangıç çözümü  $\eta$  üret ve  $f(\eta)$ 'i hesapla
6:  $\eta^* = \eta$ 
7: Do
8:    $\eta$  kullanarak  $KS$  adet komşu çözüm üret
9:   Komşu çözümler için amaç fonksiyonu hesapla
10:  Tabu olmayan veya aspirasyon kriterini sağlayan en iyi komşu çözümü  $\eta'$  seç
11:   $\eta = \eta'$ 
12:   $\eta'$ 'in oluşmasını sağlayan hareketi tabu listesine ekle
13:  Eğer tabu listesi dolu ise en eski tabu hareketini listeden çıkart
14:  If  $f(\eta) < f(\eta^*)$  Then
15:     $\eta^* = \eta$ 
16:  End If
17: Loop Until (Durdurma Kriteri)
```

Şekil 4.15. Tabu arama algoritmasının temel yapısına ait sözel kod

4.4. Genetik Algoritma

Temel ilkeleri ilk olarak John Holland tarafından 1975 yılında ortaya atılan GA, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer bir şekilde çalışan popülasyon tabanlı bir arama ve eniyileme yöntemidir (Beasley ve ark. 1993). Genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesinde χ_i ile ifade edilen her bir çözüm birbirinden tamamen bağımsızdır. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu çözüm kümesi genetik algoritma terminolojisinde popülasyon adını alır. Popülasyon; vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Popülasyondaki bireyler evrimsel süreç içinde çaprazlama, seçim ve mutasyon gibi genetik algoritma işlemcileri tarafından belirlenirler ve yeni jenerasyonlar oluşturulur. Amaç fonksiyonuna göre uygunluk değerleri iyi olan bireye yaşama şansı verilirken, uygunluk değeri kötü olan bireylerden genetik işlemlerle daha

iyi bireyler oluşturulur veya yaşamasına izin verilmez. Bu sayede jenerasyonlar ilerledikçe popülasyon, daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir (Goldberg 1989, Mitchell 1998). GA'nın genel olarak üstün yönleri aşağıda verilmektedir:

- GA çözüm uzayında aynı anda ve paralel olarak birçok noktada arama yapar.
- GA işlemleri türev ve integral gibi hesaplamalar gerektirmez ve tüm hesaplamaları aritmetik işlemlere dayanır.
- GA olasılık içeren kurallar kullanır.

Genetik algoritmanın genel işleyişi itibariyle başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra her bir jenerasyon için uygunluk değeri hesaplama, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilir. Bu temel adımlar aşağıda detaylı olarak açıklanmış olup Holland (1992) tarafından geliştirilen GA'nın temel yapısına ait sözel kod Şekil 4.16'da verilmiştir.

```
1:  $PB$  = Popülasyon büyüklüğünü belirle
2:  $EO$  = Elitizm oranını belirle
3:  $CO$  = Çaprazlama oranını belirle
4:  $MO$  = Mutasyon oranını belirle
5: Durdurma kriterini tanımla
6:  $\chi^* = \emptyset$ 
7: For  $i = 1$  To  $PB$ 
8:   Birey  $i$  için rassal olarak başlangıç çözümü  $\chi_i$  üret ve  $f(\chi_i)$ 'i hesapla
9: Next
10: Başlangıç popülasyonu içinden en iyi bireyi seç ve  $\chi^*$  olarak ata
11: Do
12:   Her bir birey için uygunluk değeri hesapla
13:    $PB \times EO$  adet birey için elitizm işlemini uygula
14:   Do
15:     Rassal olarak iki adet ebeveyn birey  $\chi_A$  ve  $\chi_B$  belirle
16:     Çaprazlama yöntemine göre yeni bireyleri  $\chi_C$  ve  $\chi_D$  oluştur
17:      $\chi_C$  ve  $\chi_D$  için mutasyon işlemini gerçekleştir
18:      $f(\chi_C)$  ve  $f(\chi_D)$ 'i hesapla ve bu bireyleri yeni popülasyona ekle
19:   Loop Until (Yeni Popülasyon Oluşuncaya Kadar)
20:   For  $i = 1$  To  $PB$ 
21:     If  $f(\chi_i) < f(\chi^*)$  Then
22:        $\chi^* = \chi_i$ 
23:     End If
24:   Next
25: Loop Until (Durdurma Kriteri)
```

Şekil 4.16. Genetik algoritmanın temel yapısına ait sözel kod

4.4.1. Başlangıç popülasyonu ve kodlama

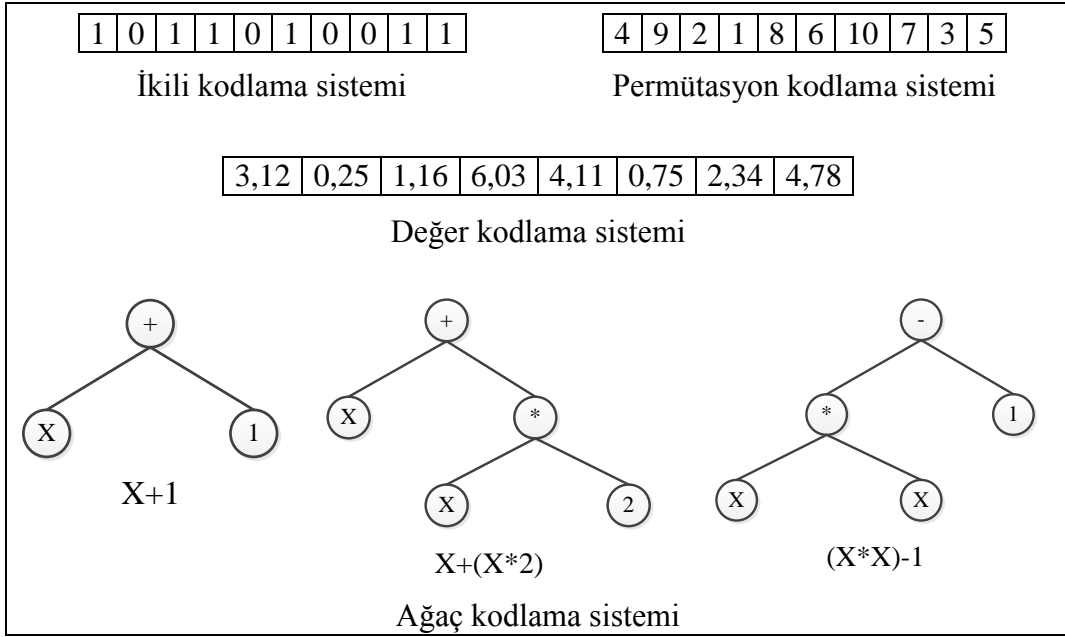
Popülasyon tabanlı olan GA, problem için tek bir çözüm yerine popülasyon büyüklüğü (PB) kadar olası farklı çözümden oluşan bir çözüm kümesi ile işlemlere başlar. Bu çözüm adayları algoritma başlangıcında rastgele veya belirli bir sistematığe göre oluşturulur. PB için herhangi bir standart veya sınırlama olmayıp bu parametrik değerin algoritmanın performansını önemli derece etkilediği birçok çalışmada belirtilmiştir. Başlangıç popülasyonunun arama uzayında olası çözümlerin önemli bir bölümünü kapsayacak kadar yeterli büyüklükte olması gerekmektedir. Ancak, PB 'nin büyük olması arama uzayında çeşitliliği artırırken, GA'nın çalışma süresini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle PB 'nin çözüm uzayında arama sayısını azaltmayacak ve algoritmanın işlem zamanını gereğinden fazla arttırmayacak değerlerde belirlenmesi gerekmektedir (Haupt 2000, Roeva ve ark. 2013).

Herhangi bir problemin GA ile çözülebilmesi için bireylerin uygun şekilde kodlanması gerekmektedir. Kodlanmış aday çözümler, sınırlı bir değer kümesinden veya alfabetik değer alan gen dizilerinden oluşmaktadır. Holland tarafından geliştirilen ilk GA'da, 0-1 değerlerini alan ikili kodlama sistemi kullanılmıştır. Fakat zaman içinde GA'nın farklı problemlerin çözümünde kullanılmasıyla permütasyon kodlama, değer kodlama, ağaç kodlama yaklaşımları gibi farklı türleri de geliştirilmiştir. Permütasyon kodlama sistemi genel olarak sıralama ve kuyruk problemleri için kullanılmaktadır. Bu yapıda, birey içindeki her bir genin değeri birbirinden farklı olmaktadır. Değer kodlamada ise her bir genin değeri sürekli bir değişken olabilmektedir. Ağaç kodlama yapısında ise her bir birey bir nesnenin, bir fonksiyonun veya bir komutun hiyerarşik yapısını göstermektedir (Malhotra ve ark. 2011). Şekil 4.17'de bu dört farklı kodlama yaklaşımı örnek olarak gösterilmiştir. ÇSÜAYP'nin çözümü için geliştirilen öncelik sırasına sahip kodlama sistemi ise permütasyon yapıya sahip kodlama sınıfına girmektedir.

4.4.2. Seçim

Genetik algoritmada seçim operatörünün amacı, uygunluk değerleri iyi olan bireyleri, bir sonraki jenerasyonda daha yüksek oranlarda kabul edilmesini sağlamaktır. Bu seçim işleminde bireylerin kalitesini belirleyen unsur ise bireyin uygunluk değeridir.

Belirlenen uygunluk değerlerine göre bireylerin bir sonraki jenerasyona aktarılıp aktarılmayacağı belirli yöntemlere göre karar verilmektedir. Literatürde GA için yaygın olarak kullanılan seçim yöntemleri ise; rulet tekeri seçim yöntemi, sıralı seçim yöntemi ve turnuva seçim yöntemidir (Jebari ve Madiafi 2013).



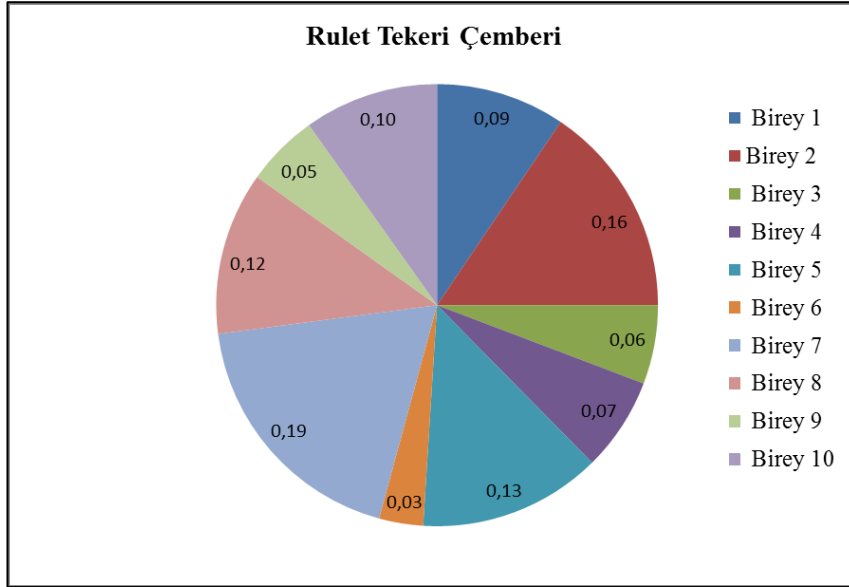
Şekil 4.17. Genetik algoritma için kullanılan kodlama sistemleri

Rulet tekeri seçim yönteminde her bir bireyin uygunluk değeri hesaplanır ve hesaplanan değerler toplanır. Her bir bireyin uygunluk değeri, popülasyonun tamamı için elde edilen toplam değere bölüldüğünde [0-1] arasında bir değer elde edilir. Bu değerler, her bir bireyin seçilme olasılığını belirtmektedir. Bu olasılıklara bağlı olarak her bir birey için daire üzerinde orantılı bir dilim ayrılır. Seçim aşamasında, çaprazlama işlemine girecek birey sayısı kadar bu daireden rassal olarak bir birey seçilir. Her seçim işleminde [0-1] arasında bir rassal sayı oluşturulur ve birinci bireyden başlanarak son bireye kadar seçilme olasılıkları birikimli (kümülatif) olarak toplanır. Bu iteratif döngüde eğer bir bireyin birikimli seçilme oranı rassal sayıdan büyük veya eşit ise ilgili birey seçilir. Bu yöntem ile en iyi bireylerin seçilme garantisi yoktur, ancak seçilecek bireyin iyi bir birey olma olasılığı yüksektir (Sivanandam ve Deepa 2007). Rulet tekeri seçim yöntemi için örnek olarak Çizelge 4.1'de 10 bireye ait uygunluk değerleri ve bu uygunluk değerlerine ait seçilme olasılıkları verilmiştir. Şekil 4.18'de ise bireylere ait

seçilme olasılıkları grafik halinde gösterilmiştir. Bu örnekte; rulet tekeri çemberi yöntemi için üretilen rassal sayının 0,4213 olması durumunda beşinci bireyin, 0,5423 olması durumunda ise altıncı bireyin seçilmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.1. Örnek bir popülasyona ait uygunluk değerleri

Birey	Uygunluk Değeri	Seçilme Olasılığı	Birikimli Olasılığı	Birey	Uygunluk Değeri	Seçilme Olasılığı	Birikimli Olasılığı
1	123	0,0946	0,0946	6	42	0,0323	0,5423
2	202	0,1554	0,2500	7	243	0,1869	0,7292
3	75	0,0577	0,3077	8	155	0,1192	0,8484
4	89	0,0685	0,3762	9	69	0,0531	0,9015
5	174	0,1338	0,5100	10	128	0,0985	1,0000



Şekil 4.18. Rulet tekeri seçim yöntemi için örnek bir grafik

Rulet tekeri çemberinde bir bireyin seçilme olasılığı 0,90 gibi yüksek bir değere sahip olması durumunda diğer bireylerin seçilme olasılığı çok az olacaktır. Bu da popülasyonda giderek bireylerin birbirlerine benzemesine ve çeşitliliğin azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle popülasyondaki bireylerin uygunluk değerlerinin çok farklılık gösterdiği durumlar için sıralı seçim yöntemi tercih edilebilmektedir. Bu yöntemde, bireylerin uygunluk değerleri ise sıralamaya göre belirlenmektedir. En kötü çözüm kalitesine sahip birey ilk sırayı almakta ve uygunluk değeri 1 olmaktadır. En iyi birey ise son sırada yer almakta ve uygunluk değeri PB olmaktadır. Seçim işlemi ise,

rulet tekeri seçim yönteminde olduğu gibi rassal olarak üretilen bir sayı ile bireylere ait birikimli seçilme olasılıkları karşılaştırılarak yapılmaktadır. Bu yöntemin, daha yavaş bir yakınsama hızına sahip olmasına rağmen daha iyi bir arama yaptığı belirtilmektedir (Sivanandam ve Deepa 2007).

Turnuva seçim yönteminde ise popülasyondan rastgele belirli adette birey seçilir ve bu bireylerden uygunluk değeri en iyi olan aday seçilir. Turnuva için seçilecek birey sayısı iki veya daha fazla birey olabilmektedir. Bu sayı genel olarak; turnuva seçim oranı (*TSO*) ile *PB*'nin çarpımından elde edilmektedir. Bu yöntem ile popülasyonda kötü bireylerin seçimi engellenmekte ve aynı zamanda en iyi birey dışında kalan diğer bireylerin de seçim şansı artmaktadır. Bu da popülasyonda çeşitliliği arttırmaktadır (Sivanandam ve Deepa 2007).

ÇSÜAYP için geliştirilen GA'da turnuva seçim yöntemi ve rulet tekeri seçim yöntemi dikkate alınmıştır. Bu iki yöntemin problem çözümü üzerindeki etkisi yapılan sayısal uygulamalar kısmında analiz edilmiştir. Kullanılan bu seçim yöntemlerinde uygunluk değeri olarak; öncelik sırasına göre oluşan ürün akışlarına ait toplam taşıma maliyeti dikkate alınmıştır.

Seçim aşamasında, yukarıda ifade edilen seçim yöntemlerine ek olarak kullanılabilen bir diğer yöntem ise elitizmdir. Bu yöntem ile popülasyonda yer alan en iyi birey veya bireylerin, oluşturulacak yeni popülasyonda kaybolarak popülasyonun çözüm kalitesinin kötüye gitmesi önlenmektedir (Ahn ve Ramakrishna 2003). Bu yöntemde yeni popülasyona aktarılacak olan en iyi birey sayısı bir veya belirlenen elitizm oranı (*EO*) ile birden fazla olabilmektedir. Belirlenen en iyi birey sayısına göre yeni popülasyonda oluşan en kötü bireyler mevcut popülasyondaki en iyi bireyler ile değiştirilir (Liang ve Leung 2011).

4.4.3. Çaprazlama

Çaprazlama işlemi, seçim işleminden sonra dikkate alınan ve popülasyonda yer alan mevcut bireylerden daha iyi bireyler üretmek amacıyla yapılan işlemlerdir. Holland (1992) tarafından geliştirilen temel GA'da çaprazlama işlemi bütün popülasyon için gerçekleştirilirken, ilerleyen zamanlarda birçok çalışmada bu işlem belirli olasılıkla

ebeveynlere uygulanmıştır (Reeves ve Rowe 2003). Tez çalışması kapsamında geliştirilen GA'da da dikkate alınan bu yaklaşıma göre popülasyonda yeni bir bireyin oluşturulup oluşturulmaması kararı çaprazlama oranı (*CO*) ile belirlenmektedir. Üretilecek yeni birey, tamamıyla yeni bir gen dizilişine sahip olmayıp çaprazlamaya giren iki bireyin özelliklerini taşımaktadır. Bu işlem üç adımda gerçekleştirilir. İlk olarak eşleşme havuzundan çaprazlama işlemi için rassal olarak iki birey seçilir. Ardından, bireyin gen dizilimi üzerinden rastgele bir bölge belirlenir. Son olarak, iki birey arasında seçilen bu bölgeler karşılıklı olarak yer değiştirilir. GA için literatürde birçok çaprazlama yöntemi geliştirilmiş olup yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

Holland (1992) tarafından geliştirilen tek noktalı çaprazlama yöntemi uygulanış açısından en kolay olan yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde, bireyin gen dizilimi üzerinde rast gele bir nokta seçilir ve iki birey arasında belirlenen noktanın sağında veya solunda kalan genler karşılıklı olarak yer değiştirilir. Eğer rassal olarak seçilen bölge uygun bir bölge ise bu yöntem ile daha kaliteli bireyler elde edilebilir. Tek noktalı çaprazlama yöntemi için bir örnek Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

Ebeveyn 1:	1	0	0	1		0	1	1	0	0	1	Çocuk 1:	1	0	0	1		0	0	0	1	1	1
Ebeveyn 2:	0	0	1	1		0	0	0	1	1	1	Çocuk 2:	0	0	1	1		0	1	1	0	0	1

Şekil 4.19. Tek noktalı çaprazlama

Tek noktalı çaprazlama yöntemini temel alan ve farklı sayıda çaprazlama noktası içeren birçok çaprazlama yöntemi geliştirilmiştir. Fakat bu noktaların sayısının artırılması, yeni oluşturulacak bireylerde, ebeveynlere ait özellikleri aktarmak açısından zayıf kalacağı için bazı durumlarda çözümün kalitesinin bozulacağı belirtilmektedir. Tek noktalı çaprazlama yönteminde yeni bireyler oluşturulurken ebeveynlere ait genlerin ya ilk kısmı ya da son kısmı dikkate alındığından, eğer bir bireye ait hem ilk hem de son kısım iyi bir gen dizilimine sahip ise bu bilgiler yeni bireye aktarılamamaktadır. Bu nedenle çift noktalı çaprazlama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde bireylerin gen dizilimi üzerinde rassal olarak iki farklı nokta belirlenir ve bu noktalar arasından kalan genler iki birey arasında karşılıklı olarak değiştirilerek yeni bireyler elde edilir

(Sivanandam ve Deepa 2007). Çift noktalı çaprazlama yöntemi için bir örnek Şekil 4.20’de gösterilmiştir.

Ebeveyn 1:	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	Çocuk 1:	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1
Ebeveyn 2:	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	Çocuk 2:	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1

Şekil 4.20. Çift noktalı çaprazlama

Tek noktalı ve çift noktalı çaprazlama yöntemlerinden farklı bir yapıya sahip olan diğer bir çaprazlama yöntemi ise tek düzen çaprazlama yöntemidir. Bu yöntemde ebeveyn bireylerin gen sayısı kadar 0 ve 1 değerlerinden oluşan rastgele bir kılavuz gen dizisi oluşturulur. Çaprazlama işlemi yapılırken bu kılavuz gen dizisi dikkate alınmaktadır. İlk çocuk bireyi oluştururken eğer kılavuz dizilimde ilgili gen değeri 1 ise birinci ebeveynin gen değeri, aksi halde ikinci ebeveynin gen değeri kullanılmaktadır. İkinci çocuk birey için ise tam tersi geçerli olmaktadır (Haupt ve Haupt 2004). Tek düzen çaprazlama yöntemi için bir örnek Şekil 4.21’de yer almaktadır.

Ebeveyn 1:	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	Çocuk 1:	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
Ebeveyn 2:	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	Çocuk 2:	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
Kılavuz Gen Dizisi:												0	1	1	1	0	1	0	0	1	1

Şekil 4.21. Tek düzen çaprazlama

Yukarıda açıklanan çaprazlama teknikleri ikili kodlama sistemleri için geliştirilmiş olup bu tekniklerin permütasyon sıra yapısına sahip bireylere uygulanması uygulamada ilave bir işlem yükü oluşturmaktadır. Ayrıca bu tekniklerin uygulanması sonucunda, ebeveynlere ait permütasyon bilgisi bozulmakta ve çocuklara aktarılamamaktadır. Bu da çocukların ebeveynlere olan benzerlik ilişkisini ortadan kaldırmaktadır. Tez çalışmasında ÇSÜAYP’nin çözümü için geliştirilen GA’da ilk olarak tek noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, öncelik sırasına sahip kodlama sisteminde permütasyon yapının bozulmaması için bir düzeltme işlemi ile geliştirilmiştir. Düzeltme işlemi esnasında, karşılıklı olarak bireylere ait genler çaprazlandıktan sonra, dikkate alınan bölgelerde tekrar eden gen değerleri yerine yeni

bireyde yer almayan değerler ebeveyn bireydeki gen sıralarına göre yazılmaktadır. Geliştirilen bu yöntem için Şekil 4.22’de bir örnek verilmiştir.

Adım 1: Bireyler üzerinde rassal olarak bir nokta belirle	Ebeveyn 1: 4 2 10 8 7 9 1 6 5 3 Ebeveyn 2: 8 5 1 3 6 10 4 7 2 9
Adım 2: Bireylerde belirlenen bölgeleri karşılıklı olarak yer değiştir	Çocuk 1: 4 2 10 8 7 10 4 7 2 9 Çocuk 2: 8 5 1 3 6 9 1 6 5 3
Adım 3: Değişimin yapıldığı bölgelerde tekrar eden genleri sil	Çocuk 1: 4 2 10 8 7 * * * * 9 Çocuk 2: 8 5 1 3 6 9 * * * *
Adım 4: Eksik kalan gen değerlerini ebeveyn bireyden sırayla ata	Çocuk 1: 4 2 10 8 7 1 6 5 3 9 Çocuk 2: 8 5 1 3 6 9 10 4 7 2

Şekil 4.22. Geliştirilmiş tek noktalı çaprazlama yöntemi

Klasik çaprazlama yöntemleri dışında literatürde permütasyon yapıya sahip kodlama sistemleri için birçok çaprazlama tekniği geliştirilmiştir. Yapılan tez çalışmasında geliştirilen GA için kısmi eşleştirilmiş çaprazlama (KEÇ), sıralı çaprazlama (SÇ), sıra temelli çaprazlama (STÇ) ve pozisyon temelli çaprazlama (PTÇ) yöntemleri dikkate alınmıştır. Bu yöntemlerin ÇSÜAYP’nin çözüm kalitesi üzerindeki etkisi, yapılan sayısal analizlerde test edilmiştir.

Goldberg ve Lingle tarafından 1985 yılında geliştirilmiş olan KEÇ yönteminde bireyin gen dizilimi üzerinde rassal olarak iki nokta belirlenir ve bu iki nokta arasında kalan bölgeler her iki ebeveyn birey için karşılıklı olarak eşleştirilir. Ardından bu bölgeler karşılıklı olarak yer değiştirilir ve iki nokta dışında kalan genlerde tekrar eden rakamlar, sırasıyla eşleştirilmiş değerler ile değiştirilir. Bu sayede permütasyon yapı korunmuş olunur (Puljić ve Manger 2013). Şekil 4.23’te KEÇ yöntemi için bir örnek verilmektedir. Örnekte dördüncü genden itibaren altıncı gene kadar iki ebeveynin genleri eşleştirilmiş (8-3, 7-6, 9-10) ve belirlenen bu genler karşılıklı olarak yer değiştirilmiştir. Ardından belirlenen noktalar dışında kalan genlerden tekrar etmeyen değerler aktarılmıştır. Yöntemin son adımında, baştan sona doğru eksik olan genlerden birinci birey için 10’un karşılığı 9, 6’nın karşılığı 7 ve 3’ün karşılığı 8 olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde ikinci birey için 8’in karşılığı 3, 7’nin karşılığı 6 ve 9’un karşılığı 10 olarak belirlenmiştir.

Adım 1: Bireyler üzerinde rassal olarak iki nokta belirle	Ebeveyn 1: 4 2 10 8 7 9 1 6 5 3 Ebeveyn 2: 8 5 1 3 6 10 4 7 2 9
Adım 2: Belirlenen bölgeler eşleştirildikten sonra karşılıklı olarak yer değiştir	Çocuk 1: * * * 3 6 10 * * * * Çocuk 2: * * * 8 7 9 * * * *
Adım 3: Belirlenen noktalar dışından kalan bölgelerde tekrar oluşturmayan genleri ebeveynlerden kopyala	Çocuk 1: 4 2 * 3 6 10 1 * 5 * Çocuk 2: * 5 1 8 7 9 4 * 2 *
Adım 4: Eksik kalan gen değerlerini Adım 2’de eşleştirilmiş genler ile belirle	Çocuk 1: 4 2 9 3 6 10 1 7 5 8 Çocuk 2: 3 5 1 8 7 9 4 6 2 10

Şekil 4.23. Kısmi eşleştirilmiş çaprazlama yöntemi

Sıralı çaprazlama yönteminde, KEÇ yönteminde olduğu gibi bireylerin gen dizilimi üzerinde rassal olarak iki nokta seçilir. Fakat bu noktalar, karşılıklı yer değiştirme yerine bireyin gen dizilimini üç parçaya bölmek amacıyla kullanılmaktadır. Belirlenen bu noktalardan sonra her bir bireyin gen sıralaması tekrardan oluşturulmaktadır. Bu sıralamada; ikinci rassal noktadan sonraki genler ilk kısımda, birinci noktadan önceki genler ikinci kısımda ve rassal iki nokta arasında kalan genler üçüncü kısımda yer almaktadır. Daha sonra her bir bireyin gen diziliminde, ikinci kısma orijinal değerleri atandıktan sonra üçüncü kısımdan başlayarak, eksik kalan gen değerleri diğer birey için oluşturulmuş yeni sıradan belirlenmektedir (Deep ve Mebrahtu 2011). Şekil 4.24’te SÇ yöntemi için bir örnek verilmiştir.

Adım 1: Bireyler üzerinde rassal olarak iki nokta belirle	Ebeveyn 1: 4 2 10 8 7 9 1 6 5 3 Ebeveyn 2: 8 5 1 3 6 10 4 7 2 9
Adım 2: Belirlenen bölgelere göre yeni sırayı oluştur	Çocuk 1: 1 6 5 3 4 2 10 8 7 9 Çocuk 2: 4 7 2 9 8 5 1 3 6 10
Adım 3: İki nokta arasında kalan bölgeyi yeni bireylere ebeveynlerden aktar	Çocuk 1: * * * 8 7 9 * * * * Çocuk 2: * * * 3 6 10 * * * *
Adım 4: Eksik kalan genlerin değerlerini diğer bireye ait yeni sıradan belirle	Çocuk 1: 3 6 10 8 7 9 4 2 5 1 Çocuk 2: 8 7 9 3 6 10 1 5 4 2

Şekil 4.24. Sıralı çaprazlama yöntemi

STÇ yönteminde değişim yapılacak genler iki nokta arasında değil, dağınık bir yapıda belirlenmektedir. Bireyin gen dizilimi üzerinde rassal olarak gen pozisyonları belirlenmekte ve bu belirlenen pozisyonlara ait genler bireyler arasında karşılıklı olarak değiştirilmektedir. Bu değişim esnasında hedef bireyde seçilen genlerin sırası, aktarımın yapılacağı bireye ait gen dizilimine göre düzenlenir (Larrañaga ve ark. 1999). Şekil 4.25'te STÇ yöntemi için bir örnek verilmiştir. Örnekte; değişimin yapılması için bireylerin gen dizilimleri üzerinde ikinci, beşinci, altıncı ve dokuzuncu pozisyonlar seçilmiştir. Birinci ebeveynde belirlenen 2, 7, 9 ve 5 değerleri ikinci bireyden silinmiştir. Aynı şekilde ikinci bireyde belirlenen 5, 6, 10 ve 2 değerleri de birinci bireyden silinmiştir. Çaprazlama işleminin son aşamasında ise birinci bireyde boş kalan yerlere ikinci ebeveynde belirlenen genler ve ikinci bireyde boş kalan yerlere birinci ebeveynde belirlenen genler sırasıyla atanmıştır.

Adım 1: Bireyler üzerinde seçilecek pozisyonları rassal olarak belirle	Ebeveyn 1: 4 (2) 10 8 (7) (9) 1 6 (5) 3 Ebeveyn 2: 8 (5) 1 3 (6) (10) 4 7 (2) 9
Adım 2: Seçilen genlere ait değerleri hedef bireyde belirle ve bu genleri hedef bireyden sil	Çocuk 1: 4 * * 8 7 9 1 * * 3 Çocuk 2: 8 * 1 3 6 10 4 * * *
Adım 3: Hedef bireylerde boş kalan genlere kaynak bireylerde seçilen genleri ata	Çocuk 1: 4 5 6 8 7 9 1 10 2 3 Çocuk 2: 8 2 1 3 6 10 4 7 9 5

Şekil 4.25. Sıra temelli çaprazlama yöntemi

Kromozom üzerinde rassal olarak pozisyonların belirlenmesi ile gerçekleştirilen bir diğer çaprazlama yöntemi ise PTÇ yöntemidir. Bu yöntemde rassal olarak belirlenen genler karşılıklı olarak yer değiştirilmektedir. Yer değiştirme esnasında hedef bireylerde tekrar oluşturan genler silinmekte ve bu genlere, tekrar oluşturmayacak şekilde ebeveynlerden silinen genler sırayla atanmaktadır (Larrañaga ve ark. 1999). Şekil 4.26'da PTÇ yöntemi için bir örnek verilmiştir. Örnekte; değişimin yapılması için ebeveyn bireyler üzerinde ikinci, beşinci, altıncı ve dokuzuncu pozisyonlar seçilmiştir ve bu pozisyonlarda bulunan genler karşılıklı yer değiştirilmiştir. Ardından, bu pozisyonlar dışından kalan ve tekrar oluşturan genler (birinci birey için 6 ve 10, ikinci

birey için 7 ve 9 değerleri) silinmiştir. Son olarak eksik kalan yerlere birinci birey için sırasıyla 7 ve 9; ikinci birey için sırasıyla 6 ve 10 yazılmıştır.

Adım 1: Bireyler üzerinde seçilecek pozisyonları rassal olarak belirle	Ebeveyn 1: 4 (2) 10 8 (7) (9) 1 6 (5) 3 Ebeveyn 2: 8 (5) 1 3 (6) (10) 4 7 (2) 9
Adım 2: Seçilen genleri karşılıklı olarak yer değiştir	Çocuk 1: 4 5 10 8 6 10 1 6 2 3 Çocuk 2: 8 2 1 3 7 9 4 7 5 9
Adım 3: Rassal olarak belirlenen pozisyonlar dışında tekrar oluşturan genleri sil	Çocuk 1: 4 5 * 8 6 10 1 * 2 3 Çocuk 2: 8 2 1 3 7 9 4 * 5 *
Adım 4: Boş kalan genlere tekrar oluşturmayacak şekilde ebeveynlerden silinen genleri sırasıyla ata	Çocuk 1: 4 5 7 8 6 10 1 9 2 3 Çocuk 2: 8 2 1 3 7 9 4 6 5 10

Şekil 4.26. Pozisyon temelli çaprazlama yöntemi

4.4.4. Mutasyon

GA'da çaprazlama işleminden sonra mutasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Mutasyon işlemi çözüm uzayında rassal bir araştırma yaparak bireylerin bölgesel minimumdan kurtulmasını sağlamaktadır. Bu işlem ile bir birey üzerinde ne kadar büyüklükte bir değişime izin verileceği ise mutasyon oranı (*MO*) ile belirlenmektedir. Belirlenen bu oran ile bireyin gen dizilimi üzerinde rassal veya bir sistematiğe bağlı olarak seçilen genlerin değeri değiştirilerek arama yapılmaktadır. Mutasyon işleminin yapılabilmesi için birçok yöntem kullanılabilir. İkili kodlama sistemi için genel olarak kullanılan yöntem; rassal olarak belirlenen genlerin değerlerinin 0 ise 1, 1 ise 0 yapılmasıdır. Yine ikili kodlama sisteminde ve ayrıca permütasyon yapıya sahip kodlama sisteminde kullanılan yöntemler arasında; yer değiştirme ve ters çevirme yöntemleri yer almaktadır. Yer değiştirme yönteminde rassal olarak belirlenen iki gen değeri karşılıklı değişmektedir. Ters çevirme yönteminde ise belirli bir gen sırası birey üzerinde ters çevrilmektedir (Sivanandam ve Deepa 2007). Yapılan tez çalışmasında ise mutasyon işleminde yer değiştirme yöntemi kullanılmış ve *MO* olasılıkla bireylere uygulanmıştır.

4.5. Diferansiyel Gelişim Algoritması

DGA ilk olarak Storn ve Price (1997) tarafından Chebyshev polinom fonksiyonların çözümünde kullanılmış, popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Özellikle sürekli değişkenlerin oluşturduğu problemlerde etkin sonuçlar üretmektedir. Algoritmada popülasyon, ψ_i ile gösterilen çözüm dizilerinden oluşmaktadır ve algoritma adımlarında yapılan işlemlerle yeni çözümlere ulaşılmaktadır. DGA, işleyiş ve operatörleri itibariyle GA'ya benzer bir popülasyon yapısından oluşmaktadır. GA ile arasındaki temel fark, çaprazlama, mutasyon ve seçim işlemlerinin farklı şekilde yapılmasıdır. Daha iyi bir popülasyon üretebilmek için, DGA'da etkin bir mutasyon işlemi uygulanması gerekmektedir. DGA'yı genetik algorithmadan ayıran diğer önemli özelliği ise; GA daha çok ikili ve permütasyon kodlama sistemi üzerinden çalışırken DGA'nın temelde gerçek değerler ile çalışmasıdır. DGA için ayırt edici diğer bir özellik ise algoritmada yer alan mutasyon, çaprazlama ve seçim işlemleri her bir diziye sırasıyla uygulanmaktadır. Böylece her bir iterasyonda üretilen çözüm sayısı popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak arttırılabilmektedir (Karaboğa ve Ökdem 2004, Kesintürk 2006).

Algoritmada çözüm dizileri probleme ait değişken sayısı (DS) kadar bilgi içermekte ve başlangıçta bu değerler, değişkenlere ait alt (ψ_j^L) ve üst (ψ_j^U) sınır değerleri arasında rassal olarak belirlenmektedir. DGA başlangıcında belirlenen diğer bir parametre değeri ise popülasyon büyüklüğüdür ve bu değer, algoritmanın işleyişi gereği üçten fazla olmak zorundadır. Bunun nedeni ise algoritmada her yeni çözüm dizisi oluşumu için, seçilen dizi dışında üç farklı dizinin daha rassal olarak belirlenmesidir (Onwubolu 2008).

Algoritma, her iterasyonda her bir dizi için yeni bir çözüm üretmektedir. Bu çözümün üretilmesi için ilk olarak ilgili hedef diziye ait mutasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Mutasyon işleminde; seçilen hedef diziden ve birbirlerinden farklı üç dizi seçilir. Seçilen dizilerde her bir değişken için; ilk iki diziye ait değişkenlerin farkı alınıp ölçekleme faktörü (F) ile çarpılır. Ardından, elde edilen değer, üçüncü diziye ait ilgili değişken ile toplanır. Böylece çaprazlama işleminde kullanılacak olan ara dizi ψ'_i elde edilir (Onwubolu 2008). DGA'nın temel yapısı dışında ara dizi elde edilmesi için literatürde en iyi çözümü de dikkate alan farklı mutasyon teknikleri de yer almaktadır

(Zaharie 2009, Yu ve ark. 2012). Çaprazlama işleminde; mutasyon işlemleri sonucunda elde edilen ara dizi ve dikkate alınan dizi kullanılarak yeni çözüm dizisi ψ_i'' oluşturulur. Bu işlem esnasında ilgili değişken değeri CO olasılıkla ara diziden ve $(1 - CO)$ olasılıkla mevcut diziden seçilir. Ayrıca, algorithmada yeni dizinin mevcut diziden farklı olmasını sağlamak amacıyla yeni dizide rassal olarak belirlenen bir değişkenin değeri direkt olarak ara diziden seçilir. Elde edilen yeni çözümde bir değişkene ait değer, alt ve üst sınır aşması durumunda veya çözümün probleme uygun olmaması durumunda uygunluk fonksiyonuna ceza maliyeti eklenebilir veya çıkartılabilir. Seçim aşamasında, mevcut dizi ve yeni diziyeye ait uygunluk fonksiyonları karşılaştırıldıktan sonra daha iyi olan çözüm yeni popülasyona aktarılır (Onwubolu 2008). Storn ve Price (1997) tarafından geliştirilen DGA'nın temel yapısına ait sözel kod Şekil 4.27'de verilmiştir.

```

1:  $PB$  = Popülasyon büyüklüğünü belirle
2:  $CO$  = Çaprazlama oranını belirle
3:  $F$  = Ölçekleme faktörünü belirle
4: Durdurma kriterini tanımla
5:  $\psi^* = \emptyset$ 
6: // Başlangıç çözümü
7:  $\psi_{ij} = \psi_j^L + random[0,1] \times (\psi_j^U - \psi_j^L)$   $i = 1, \dots, PB; j = 1, \dots, DS$ 
8: Her bir dizi için uygunluk değeri  $f(\psi_i)$  hesapla  $i = 1, \dots, PB$ 
9: Başlangıç popülasyonu içinden en iyi diziyi seç ve  $\psi^*$  olarak ata
10: Do
11:   For  $i = 1$  To  $PB$ 
12:     // Mutasyon işlemi
13:     Rassal olarak üç farklı dizi belirle ( $r_1, r_2, r_3 \in [1, PB]; r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$ )
14:      $\psi'_{ij} = \psi_{r_3j} + F \times (\psi_{r_1j} - \psi_{r_2j})$   $j = 1, \dots, DS$ 
15:     // Çaprazlama işlemi
16:      $\psi''_{ij} = \begin{cases} \psi'_{ij} & : \text{eğer } random[0,1] \leq CO \vee j = j_{random}[0,DS] \\ \psi_{ij} & : \text{aksi halde} \end{cases}$   $j = 1, \dots, DS$ 
17:   Next
18:   //Seçim işlemi
19:   For  $i = 1$  To  $PB$ 
20:     If  $f(\psi''_i) < f(\psi_i)$  Then
21:        $\psi_{ij} = \psi''_{ij}$   $j = 1, \dots, DS$ 
22:     If  $f(\psi_i) < f(\psi^*)$  Then
23:        $\psi^* = \psi_i$ 
24:     End If
25:   End If
26: Next
27: Loop Until (Durdurma Kriteri)

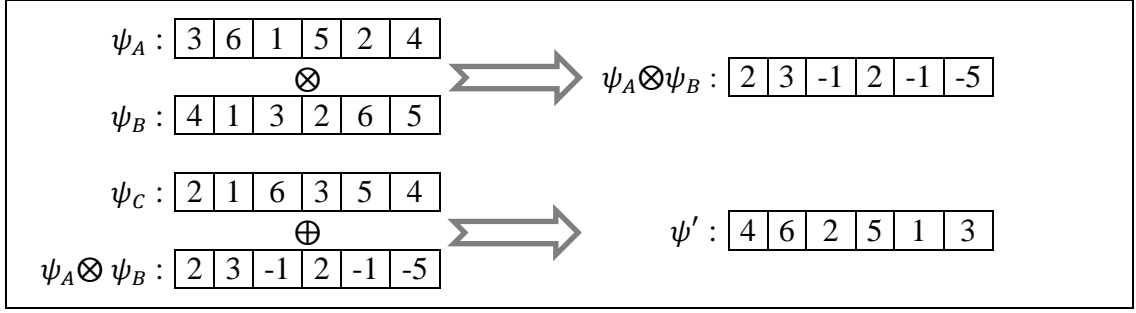
```

Şekil 4.27. Diferansiyel gelişim algoritmasının temel yapısına ait sözel kod

ÇSÜAYP'nin çözümü için geliştirilen DGA'da sürekli değişkenler halinde kodlanan diziler, bir dönüşüm işlemi ile permütasyon sıra haline getirilmektedir. Bu dönüşüm işleminde en küçük değere sahip olan değişken 1 ve en büyük değere sahip olan değişken DS değerini alacak şekilde sıralanmaktadır (Mingyong ve Erbao 2010). Örnek olarak; [0,33 1,47 0,14 2,63 0,82] şeklinde sürekli değişkenlere sahip bir dizi, dönüşüm işlemi sonucunda [2 4 1 5 3] halini almaktadır.

Standart yapısı dışında DGA'nın kesikli sistemlere adaptasyonu için birçok alternatif mutasyon işlemi geliştirilmiştir. Wang ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada akış tipi çizelgeleme problemi için bir kesikli diferansiyel gelişim algoritması (KDGA) geliştirmişlerdir. Algoritmada permütasyon yapıya sahip bir kodlama sistemi kullanılmış ve bu yapının düzenini koruyacak bir mutasyon operatörü geliştirilmiştir. Bazı durumlar için uygun olmayan çözüm üreten bu yapı, Dong ve Wang (2012) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen mutasyon işlemi için yazarlar \otimes ve \oplus şeklinde iki işlem tanımlamış ve ara dizileri $\psi' = \psi_C \oplus (\psi_A \otimes \psi_B)$ ifadesi ile elde etmişlerdir. \otimes işleminde; ψ_A dizisine ait j sırasına sahip elemanın ψ_B dizisindeki pozisyonu belirlenmekte ve belirlenen pozisyon değerinden j değeri çıkartılarak bulunan değer, oluşturulacak dizide j pozisyonuna yerleştirilmektedir. \oplus işleminde ise ψ_C dizisine ait elemanların pozisyonları \otimes işleminden elde edilen diziyeye göre belirlenerek ara dizi oluşturulmaktadır. Bu işlemde ψ_C 'de j sırasına sahip elemanın yeni pozisyonu, \otimes işlemi ile elde edilen yeni dizideki j . elemana j değerinin ilave edilmesi ile bulunur. Şekil 4.28'de \otimes ve \oplus işlemlerine dayalı örnek bir mutasyon işlemi gösterilmiştir. Yazarlar, çaprazlama aşamasında ise iki noktalı bir çaprazlama yöntemi kullanmışlardır.

ÇSÜAYP'nin çözümü için geliştirilen KDGA kapsamında Dong ve Wang (2012) tarafından geliştirilen mutasyon işlemi dikkate alınmış ve çaprazlama işlemleri için GA'da açıklanan yöntemler (STÇ, SÇ, KEÇ, PTÇ) kullanılmıştır. KDGA'ya ait sözel kod Şekil 4.29'da verilmiştir. Buna göre, rassal olarak seçilen üç farklı dizi ile mutasyon işlemi gerçekleştirilmekte ve ara dizi ψ'_i oluşturulmaktadır. Ardından elde edilen bu ara dizi, mevcut dizi ile çaprazlanarak yeni çözüm dizisi ψ''_i oluşturulmaktadır. Çaprazlama işlemi sonucunda oluşturulan yeni dizi mevcut diziden daha iyi ise bu dizi bir sonraki jenerasyon için popülasyona aktarılmaktadır.



Şekil 4.28. Kesikli diferansiyel gelişim algoritmasında örnek bir mutasyon işlemi

```

1:  $PB$  = Popülasyon büyüklüğünü belirle
2:  $CO$  = Çaprazlama oranını belirle
3: Durdurma kriterini tanımla
4:  $\psi^* = \emptyset$ 
5: For  $i = 1$  To  $PB$ 
6:   Dizi  $i$  için rassal olarak başlangıç çözümü  $\psi_i$  üret ve  $f(\psi_i)$ 'i hesapla
7: Next
8: Başlangıç popülasyonu içinden en iyi diziyi seç ve  $\psi^*$  olarak ata
9: Do
10:  For  $i = 1$  To  $PB$ 
11:    Rassal olarak üç farklı dizi belirle ( $r_1, r_2, r_3 \in [1, PB]$ ;  $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$ )
12:    //Mutasyon işlemi
13:     $\psi'_i = \psi_{r_3} \oplus (\psi_{r_1} \otimes \psi_{r_2})$ 
14:     $\psi_i$  ve  $\psi'_i$  dizilerini çaprazlama işlemine sokarak yeni çözüm dizisi  $\psi''_i$ 'i oluştur
15:  Next
16:  For  $i = 1$  To  $PB$ 
17:    If  $f(\psi''_i) < f(\psi_i)$  Then
18:       $\psi_{ij} = \psi''_{ij} \quad j = 1, \dots, DS$ 
19:    If  $f(\psi_i) < f(\psi^*)$  Then
20:       $\psi^* = \psi_i$ 
21:    End If
22:  End If
23: Next
24:  $T = T \times c$ 
25: Loop Until (Durdurma Kriteri)

```

Şekil 4.29. Kesikli diferansiyel gelişim algoritmasına ait sözel kod

4.6. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritması

PSO algoritması, kuş ve balık sürülerinin sosyal bilgi paylaşımlarından esinlenerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir sezgisel algoritmadır. İlk olarak Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilen algoritma; temel olarak doğrusal olmayan ve

sürekli değişkenlerin yer aldığı optimizasyon problemleri için kullanılmıştır. Fakat son yıllarda; gezgin satıcı problemi, araç rotalama problemi, çizelgeleme problemi gibi kombinatoriyal problemlerin çözümü için birçok çalışmada PSO'nun çeşitli varyasyonları geliştirilmiştir (Goksal ve ark. 2013).

GA ve DGA'ya benzer şekilde evrimsel bir yapıya sahip olan PSO'da, her bir çözüm Φ_i ile gösterilen parçacıkla ve popülasyon ise sürü ile ifade edilmektedir. Sürü, popülasyonda yer alan parçacık sayısı (PS) kadar çözüm içerir. Her bir parçacık algoritma içinde bir sonraki konumunu, q_i ile gösterilen hız vektörü, kendi bulunduğu en iyi konumu Φ_i' ve sürünün bulunduğu en iyi konuma Φ^* göre belirlemektedir. Başlangıç popülasyonu ve başlangıç hız vektörleri rassal olarak belirlenen algorithmada her bir parçacığın yeni konumu, güncellenen hız vektörleri üzerinden bulunmaktadır (Eberhart ve Kennedy 1995, Kennedy ve Eberhart 1995). Hız vektörlerine ait bu güncelleme işlemi Eşitlik 4.1'de matematiksel olarak ifade edilmiştir. Eşitlikte yer alan w çarpanı, atalet katsayısını; c_1 ve c_2 çarpanları, öğrenme katsayılarını; r_1 ve r_2 çarpanları, [0-1] arasında değişen rassal bir sayıyı ifade etmektedir. Güncellenen hız vektörü neticesinde, Φ_i' ile gösterilen parçacıkların yeni konumları Eşitlik 4.2'de verilen formülasyona göre elde edilmektedir. Eşitlik 4.1'de yer alan öğrenme katsayılarının düşük olması, parçacığın mevcut konumundan oldukça uzaklaşmasına; yüksek olması ise parçacığın yeni konumunun mevcut konumuna çok yakın olmasına neden olmaktadır. Aynı şekilde atalet katsayısı da parçacığın hızını belirleyeceğinden; bu değer yüksek olması parçacığın yeni konumunun mevcut konumundan çok uzak olmasına neden olacaktır. Düşük kalması durumunda ise parçacığın yeni konumunun mevcut konumuna çok yakın olmasına neden olacaktır. Bu nedenle, atalet katsayısının değeri algorithmada iterasyon sayısına bağlı olarak lineer şekilde düşürülebilmektedir (Marinakis ve ark. 2010). Bu sayede parçacıkların ilerleyen iterasyonlarda mevcut konumlarından çok fazla uzaklaşması engellenmektedir. Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilen PSO algoritmasının temel yapısına ait sözel kod Şekil 4.30'da verilmiştir.

$$q_i = wq_i + c_1r_1(\Phi_i'' - \Phi_i) + c_2r_2(\Phi^* - \Phi_i) \quad i = 1, \dots, PB \quad (4.1)$$

$$\Phi_i' = \Phi_i + q_i \quad i = 1, \dots, PB \quad (4.2)$$

```

1:  $PS$  = Parçacık sayısını belirle
2:  $w$  = Atalet katsayısını belirle
3:  $c_1, c_2$  = Parçacıklara ait öğrenme katsayılarını belirle
4: Durdurma kriterini tanımla
5: // Başlangıç çözümü
6: For  $i = 1$  To  $PS$ 
7:    $i$  parçacığı için rassal olarak bir çözüm oluştur  $\Phi_i$  ve  $f(\Phi_i)$ 'i hesapla
8:    $i$  parçacığı için rassal olarak bir hız vektörü oluştur  $\rho_i$ 
9:    $\Phi_i'' = \Phi_i$ 
10: Next
11: Sürü içerisinde en iyi parçacığı  $\Phi^*$  olarak belirle
12: Do
13:   For  $i = 1$  To  $PS$ 
14:     // Hız vektörünün güncellenmesi
15:      $\rho_i = w\rho_i + c_1r_1(\Phi_i'' - \Phi_i) + c_2r_2(\Phi^* - \Phi_i)$ 
16:     //Parçacığın güncellenmesi
17:      $\Phi_i' = \Phi_i + \rho_i$ 
18:      $\Phi_i = \Phi_i'$ 
19:      $f(\Phi_i)$ 'i hesapla
20:     //  $\Phi_i''$  ve  $\Phi^*$  güncellemesi
21:     If  $f(\Phi_i) < f(\Phi_i'')$  Then
22:        $\Phi_i'' = \Phi_i$ 
23:     If  $f(\Phi_i) < f(\Phi^*)$  Then
24:        $\Phi^* = \Phi_i$ 
25:     End If
26:   End If
27: Next
28:   Atalet katsayısını güncelle
29: Loop Until (Durdurma Kriteri)

```

Şekil 4.30. Parçacık sürüsü optimizasyonunun temel yapısına ait sözel kod

Kombinatoryal problemlerin çözümü için PSO algoritması, DGA'da olduğu gibi birçok hız vektörü güncelleme yöntemi ile geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin bir kısmında algoritma sürekli kodlama yapısına uygun işlemlere sahipken bir kısmı da tamsayı veya permütasyon kodlama yapısına göre çalışmaktadır (Kennedy ve Eberhart 1997, Goldberg ve ark. 2006, Zhong ve ark. 2007, Ai ve Kachitvichyanukul 2009, Geetha ve ark. 2010, Muthuswamy ve Lam 2011, Cai ve ark. 2014).

Tez çalışması kapsamında ÇSÜAYP'nin çözümü için ilk olarak sürekli değişkenlerin kullanıldığı PSO'nun temel yapısı oluşturulmuştur. Bu yapıda parçacıklara ait permütasyon sıra DGA'da olduğu gibi bir dönüşüm işlemi ile oluşturulmaktadır. Ardından PSO için geliştirilecek hibrit algortmada Goldberg ve ark. (2006) tarafından önerilmiş olan ve permütasyon kodlama sistemini dikkate alan hız güncelleme yaklaşımı

kullanılmıştır. Bu yaklaşımda; atalet ve öğrenme katsayıları, çözüme ait değişkenlerin çarpanları yerine bir olasılık değeri olarak kullanılmıştır. Algoritmada bir parçacığın yeni konumu; w olasılıkla mevcut konumu üzerinden, c_1 olasılıkla parçanın en iyi konumu Φ_i'' üzerinden ve c_2 olasılıkla sürünün en iyi konumu Φ^* üzerinden bir komşu çözüm üretilerek belirlenmektedir (Goldbarg ve ark. 2006). Yazarlar ayrıca bu olasılıkların başlangıç değerleri ve algoritma içinde değişimleri ile ilgili basit bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Bu yaklaşıma göre başlangıçta parçacıkların kendi çözümleri üzerinden yeni bir konum üretme olasılığı yüksek tutulmakta ve iterasyonlar ilerledikçe bu olasılık düşürülerek, Φ_i'' ve Φ^* üzerinden yeni konum belirleme olasılığı arttırılmaktadır. Komşu çözümün oluşturulması aşamasında, GA ve DGA'da olduğu gibi STÇ, SÇ, KEÇ ve PTÇ çaprazlama yöntemleri kullanılmış ve bu yöntemlerin çözüm kalitesi üzerindeki etkileri yapılan sayısal uygulamalarda analiz edilmiştir. Oluşturulan kesikli parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmasına ait sözel kod Şekil 4.31'de verilmiştir.

4.7. Geliştirilen Hibrit Algoritmalar

Tez çalışması kapsamında ÇSÜAYP'nin çözümü için geliştirilmiş beş farklı algoritmanın temel yapısı dışında GA, DGA ve PSO algoritmasının TB algoritması ile birleştirilmesiyle elde edilen hibrit algoritmalar oluşturulmuştur. Hibrit algoritmaların oluşturulmasındaki amaç; TB algoritmasının yeni bir çözümü belirli bir sistematik ile kabul etme stratejisini popülasyon tabanlı algoritmalarla bütünleştirerek bu algoritmaların daha iyi bir çözüme daha kısa sürelerde ulaşmasını sağlamaktır.

Popülasyon tabanlı algoritmaların temel yapılarına ait seçim aşamalarında yeni bir çözüm, ya mevcut çözümden daha iyi ise ya da çözüm kalitesine bakılmaksızın kabul edilmektedir. Bu durum, popülasyona ait çözümlerin bölgesel optimum noktalara takılmasına veya global optimum noktayı araştırmadan başka bir bölgesel noktaya geçişine sebep olabilmektedir. Bu nedenle; TB'nin bu algoritmalarla bütünleştirilmesi ile yeni bir çözümün belirli bir olasılıkla seçilerek algoritmaların arama uzayında daha iyi noktaları yakalaması hedeflenmiştir.

ÇSÜAYP için geliştirilen algoritmaların temel yapıları kodlama açısından zor olmasa da, bu algoritmalarda işlem hızını etkileyen önemli bir faktör, probleme ait amaç fonksiyonunun hesaplanmasıdır. Özellikle ürünlerin, toplama/dağıtım araçlarında ve ÇSM alanlarında iki boyutlu yerleşim planlarının oluşturulması, hesaplama açısından aşırı bir işlem yükü oluşturmaktadır. Bu nedenle geliştirilen hibrit algoritmalarda, hesaplamaların yükünü azaltmak amacıyla bir hafıza yapısı ve bir kural tabanlı sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemler ve hibrit algoritmalar aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

```

1:  $PS$  = Parçacık sayısını belirle
2:  $w$ ,  $c_1$ , ve  $c_2$  olasılıklarını belirle ( $w + c_1 + c_2 = 1$ )
3: Durdurma kriterini tanımla
4: For  $i = 1$  To  $PS$ 
5:    $i$  parçacığı için rassal olarak bir çözüm oluştur  $\Phi_i$  ve  $f(\Phi_i)$ 'i hesapla
6:    $\Phi_i'' = \Phi_i$ 
7: Next
8: Sürü içerisinde en iyi parçacığı  $\Phi^*$  olarak belirle
9: Do
10:  For  $i = 1$  To  $PS$ 
11:     $r_1 = rand[0,1]$ 
12:    If  $r_1 < w$  Then
13:      Rassal olarak sürü içinden bir parçacık belirle ( $\Phi_{r_2} \in [1, PS]$ ;  $r_2 \neq i$ )
14:       $\Phi_i$  ile  $\Phi_{r_2}$  parçacıklarını çaprazlayarak yeni parçacığı  $\Phi_i'$  oluştur
15:    Else If  $w \leq r_1 < c_1$  Then
16:       $\Phi_i$  ile  $\Phi_i''$  parçacıklarını çaprazlayarak yeni parçacığı  $\Phi_i'$  oluştur
17:    Else
18:       $\Phi_i$  ile  $\Phi^*$  parçacıklarını çaprazlayarak yeni parçacığı  $\Phi_i'$  oluştur
19:    End If
20:     $\Phi_i = \Phi_i'$ 
21:     $f(\Phi_i)$ 'i hesapla
22:    If  $f(\Phi_i) < f(\Phi_i'')$  Then
23:       $\Phi_i'' = \Phi_i$ 
24:    If  $f(\Phi_i) < f(\Phi^*)$  Then
25:       $\Phi^* = \Phi_i$ 
26:    End If
27:  End If
28: Next
29:   $w = w \times 0,95$ ;   $c_1 = 1,01 \times c_1$ ;   $c_2 = 1 - c_1 - w$ 
30: Loop Until (Durdurma Kriteri)

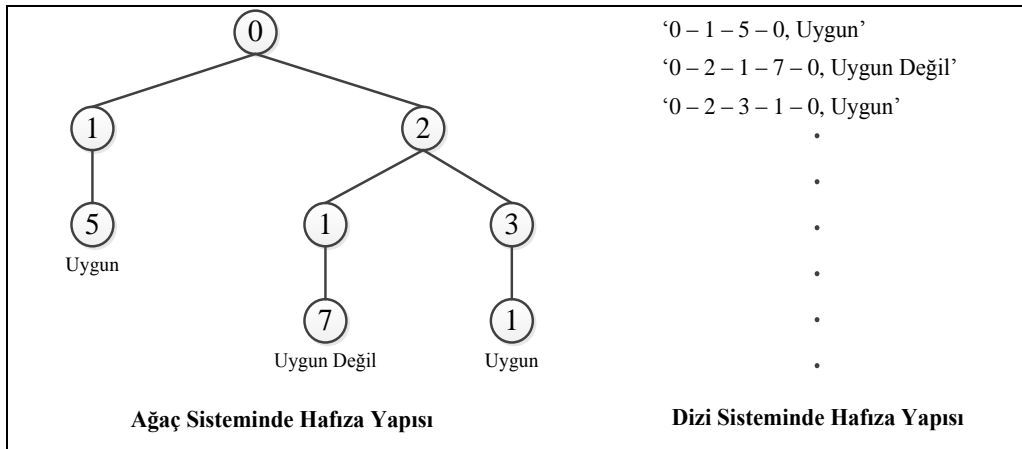
```

Şekil 4.31. Kesikli parçacık sürüsü optimizasyonuna ait sözel kod

4.7.1. Hafıza yapısı ve kural tabanlı sistem

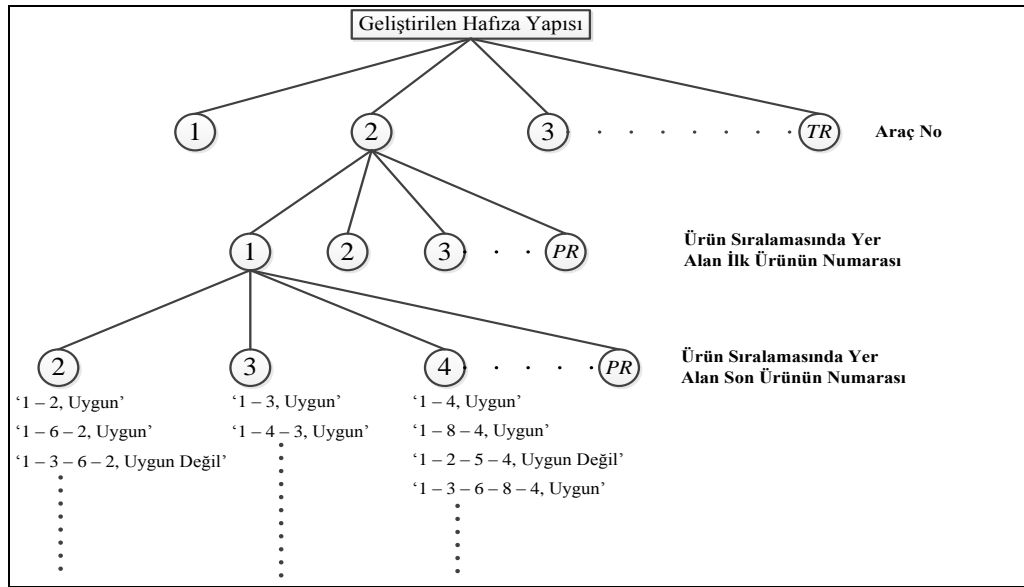
Hafıza yapısı, son yıllarda kullanılmaya başlanmış ve özellikle iki/üç boyutlu araç yükleme kısıtlarını dikkate alan araç rotalama problemlerinde işlem hızını arttırmak amacıyla algoritmalarla bütünleştirilmiş bir yöntemdir. Araç rotalama problemi için geliştirilen bu hafıza yapılarında bir rotaya ait bilgiler (rotanın uygunluğu, rotanın uzunluğu, rotanın maliyeti, vb.) bilgisayarın belleğinde belirli süre tutulmakta ve ilerleyen iterasyonlarda aynı rotanın ortaya çıkması durumunda gerekli olan bilgiler hafızadan çekilmektedir. Bu sayede, bir rotaya ait bilgilerin elde edilebilmesi için hesaplamaların tekrardan yapılmasına gerek kalmamaktadır. Bu yapının geliştirilen algoritmaya avantaj sağlayabilmesi için; rota bilgilerinin bellekte aranıp bulunması için harcanan işlem zamanının, rotaya ait bilgileri tekrar hesaplamak için gereken işlem zamanından daha kısa olması gerekmektedir (Zachariadis ve ark. 2009, Leung ve ark. 2013, Zachariadis ve ark. 2013, Küçüköğlü ve ark. 2015).

Literatürde yer alan çalışmalarda geliştirilen hafıza yapıları; ağaç yapısında veya rota bilgisini bir metin olarak saklayan dizi şeklinde kullanılmıştır. Bu yapılar için örnek bir gösterim Şekil 4.32’de yer almaktadır. Ağaç yapısı, arama hızında avantaj sağlamasına rağmen üretilen bilgi sayısı arttıkça bilgisayar belleğini fazla kullanmaktadır. Dizi yapısında ise bütün rota bilgileri tek bir dizide tutulduğu için bellek kullanımı az olmasına rağmen bu dizinin içerdiği bilgi sayısı arttıkça arama hızı ağaç yapısına göre çok daha yavaştır.



Şekil 4.32. Ağaç ve dizi sisteminde hafıza yapıları

ÇSÜAYP için geliştirilen hibrit algoritmalarda hafıza yapısı bir ürünün, boş veya belirli dolulukta bir araca yüklenmesi esnasında kullanılmıştır. Geliştirilen hafıza yapısında ağaç sistemi ve dizi sistemi bir arada kullanılmıştır. Bu sisteme göre; bir araca atanacak ürün ve araç içindeki ürünler etiketlerine göre sıralanmaktadır. Oluşturulan sırada ilk ürün etiketi, son ürün etiketi ve kullanılan araç tipine göre hafıza yapısı dallanmakta ve arama uzayı daraltılmaktadır. Ardından, oluşturulan ürün sırası dizi sistemine göre hafızada aranmakta ve eğer bu bilgi hafızada yer alıyor ise ürünün araca yüklenme durumu ve yerleşim pozisyonu belirlenmektedir. Eğer oluşturulan ürün sırası geliştirilen hafıza listesi (HL) içinde yer almıyorsa, aşağı sol algoritması ile hesaplamalar yapılmakta ve elde edilen yeni bilgiler HL'ye eklenmektedir. Bu yapı ile bir ürünün yerleşim bilgisi için arama yapılırken ağaç yapısı ile arama uzayı daraltılmakta ve bu sayede arama hızı arttırılmaktadır. Geliştirilen hafıza yapısına örnek bir gösterim Şekil 4.33'te yer almaktadır.



Şekil 4.33. Geliştirilen hafıza yapısına ait örnek bir gösterim

Hibrit algoritmaların hızlandırılması konusunda yapılan diğer bir çalışma ise ÇSÜAYP-ÜRA'da alan içi raf atamaları için kural tabanlı bir uzman sistemin geliştirilmesi olmuştur. Yapay zekanın en geniş dallarından biri olan uzman sistemler birçok alanda olduğu gibi tedarik zinciri konularında da sıklıkla kullanılmıştır (LeMaster 1990, Lin ve ark. 2014, Sprenger ve Mönch 2014). ÇSÜAYP-ÜRA için geliştirilen kural tabanlı

sistem; bir ürünün alan içinde raflara atanması aşamasında uygun bir raf seçimi için kullanılmıştır. Özellikle büyük ölçekli alanlarda bir ürünün atanması için dikkate alınabilecek uygun raf sayısı çok fazla olacağından en uygun rafı bulmak, işlem yükü açısından algoritmayı oldukça yavaşlatacaktır. Bu nedenle, uzman görüşleri neticesinde oluşturulan bir kural tabanlı sistem ile uygun olmayan rafların elimine edilerek algoritmada arama uzayının daraltılması amaçlanmıştır. Geliştirilen bu yapının algoritma hızı üzerindeki etkisi yapılan sayısal uygulamalarda analiz edilmiştir.

4.7.2. Hibrit genetik algoritma

TB algoritmasının seçim mekanizması, GA'da mutasyon işlemi sonucunda oluşan yeni bireyin popülasyona kabul edilip edilmemesi esnasında kullanılmıştır. GA'nın temel yapısında, oluşturulan yeni birey çözüm kalitesine bakılmaksızın yeni popülasyona aktarılmakta ve bu durumun bir birey için defalarca tekrarlanması bireye ait çözümün global en iyi noktadan uzaklaşmasına neden olabilmektedir.

Geliştirilen TB algoritması ile bütünleştirilmiş hibrit genetik algoritma (HGA-TB); yeni bir çözümün eski çözümden daha kötü olması durumunda bu çözümü TB algoritması işlemlerine göre belirli bir olasılıkla kabul etmektedir. Bu sayede algoritmada bireylerin global en iyi noktadan uzaklaşması önlenmektedir. Algoritmada kabul olasılığını etkileyen sıcaklık parametresi ise bütün bireyler için aynı değerde başlatılmakta ve her iterasyon sonunda güncellenmektedir. Geliştirilen HGA-TB'ye ait sözel kod Şekil 4.34'te yer almaktadır. Hibrit algoritmanın oluşturulması aşamasında Çizelge 4.2'de belirtilen farklı seçim ve çaprazlama stratejileri dikkate alınmış ve bu yöntemlerle oluşturulan alternatif algoritmaların performansları sayısal uygulamalarda analiz edilmiştir.

Çizelge 4.2. Hibrit genetik algoritma için oluşturulan alternatif yapılar

Algoritma Kısaltması	Seçim Yöntemi	Çaprazlama Yöntemi
HGA-TB	Turnuva seçim yöntemi	Tek noktalı çaprazlama yöntemi
HGA-TB (Rulet Ç.)	Rulet çemberi seçim yöntemi	Tek noktalı çaprazlama yöntemi
HGA-TB-STÇ	Turnuva seçim yöntemi	Sıra temelli çaprazlama yöntemi
HGA-TB-SÇ	Turnuva seçim yöntemi	Sıralı çaprazlama yöntemi
HGA-TB-KEÇ	Turnuva seçim yöntemi	Kısmi eşleştirilmiş çaprazlama yöntemi
HGA-TB-PTÇ	Turnuva seçim yöntemi	Pozisyon temelli çaprazlama yöntemi

```

1:  $PB$  = Popülasyon büyüklüğünü belirle,  $EO$  = Elitizm oranını belirle
2:  $CO$  = Çaprazlama oranını belirle,  $MO$  = Mutasyon oranını belirle
3:  $T$  = Başlangıç sıcaklığını belirle,  $c$  = Soğuma parametresini belirle
4: Durdurma kriterini tanımla
5:  $HL = \emptyset, \chi^* = \emptyset$ 
6: For  $i = 1$  To  $PB$ 
7:   Birey  $i$  için rassal olarak başlangıç çözümü  $\chi_i$  üret ve  $f(\chi_i)$ 'i hesapla
8:   Elde edilen çözüme ait bilgileri  $HL$ 'ye ekle
9: Next
10: Başlangıç popülasyonu içinden en iyi bireyi seç ve  $\chi^*$  olarak ata
11: Do
12:   Her bir birey için uygunluk değeri hesapla
13:    $PB \times EO$  adet birey için elitizm işlemini uygula
14:   Do
15:     Rassal olarak iki adet ebeveyn birey  $\chi_A$  ve  $\chi_B$  belirle
16:     Çaprazlama yöntemine göre yeni bireyleri  $\chi_C$  ve  $\chi_D$  oluştur
17:      $\chi_C$  ve  $\chi_D$  için mutasyon işlemini gerçekleştir
18:      $f(\chi_C)$  ve  $f(\chi_D)$ 'i hafıza yapısı dahilinde hesapla
19:      $HL$ 'yi güncelle
20:      $\Delta = f(\chi_C) - f(\chi_A)$ 
21:     If  $\Delta \leq 0$  Or  $\exp\left(-\frac{\Delta}{T}\right) > \text{random}[0,1]$  Then
22:        $\chi_C$  çözümünü yeni popülasyona ekle
23:     End If
24:      $\Delta = f(\chi_D) - f(\chi_B)$ 
25:     If  $\Delta \leq 0$  Or  $\exp\left(-\frac{\Delta}{T}\right) > \text{random}[0,1]$  Then
26:        $\chi_D$  çözümünü yeni popülasyona ekle
27:     End If
28:   Loop Until (Yeni Popülasyon Oluşuncaya Kadar)
29:   For  $i = 1$  To  $PB$ 
30:     If  $f(\chi_i) < f(\chi^*)$  Then
31:        $\chi^* = \chi_i$ 
32:     End If
33:   Next
34:    $T = T \times c$ 
35: Loop Until (Durdurma Kriteri)

```

Şekil 4.34. Hibrit genetik algoritmaya ait sözel kod

4.7.3. Hibrit diferansiyel gelişim algoritması

Hibrit DGA'nın oluşturulmasında sürekli değişkenler yerine permütasyon sıraya sahip kodlamanın kullanıldığı KDGA dikkate alınmıştır. DGA'nın temel yapısında yeni oluşturulan dizinin daha iyi olması durumunda kabul edilme koşulu, algoritmanın bölgesel minimum noktalara takılma olasılığını arttırmaktadır. TB ile bütünleştirilmiş kesikli diferansiyel gelişim algoritması (HKDGA-TB), kötü çözümleri de belirli

olasılıklarla kabul ederek bu ihtimali daha aza indirmektedir. Geliştirilen HKDGA-TB'ye ait sözel kod Şekil 4.35'de verilmiştir. HGA-TB'de olduğu gibi HKDGA-TB için de alternatif olarak STÇ, SÇ, KEÇ ve PTÇ çaprazlama teknikleri göz önüne alınarak bu tekniklerin algoritma çözüm kalitesi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

```

1:  $PB$  = Popülasyon büyüklüğünü belirle,  $CO$  = Çaprazlama oranını belirle
2:  $T$  = Başlangıç sıcaklığını belirle,  $c$  = Soğuma parametresini belirle
3: Durdurma kriterini tanımla
4:  $HL = \emptyset$ ,  $\psi^* = \emptyset$ 
5: For  $i = 1$  To  $PB$ 
6:   Dizi  $i$  için rassal olarak başlangıç çözümü  $\psi_i$  üret ve  $f(\psi_i)$ 'i hesapla
7:   Elde edilen çözüme ait bilgileri  $HL$ 'ye ekle
8: Next
9: Başlangıç popülasyonu içinden en iyi diziyi seç ve  $\psi^*$  olarak ata
10: Do
11:   For  $i = 1$  To  $PB$ 
12:     Rassal olarak üç farklı dizi belirle ( $r_1, r_2, r_3 \in [1, PB]$ ;  $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$ )
13:      $\psi'_i = \psi_{r_3} \oplus (\psi_{r_1} \otimes \psi_{r_2})$ 
14:      $\psi_i$  ve  $\psi'_i$  dizilerini çaprazlama işlemine sokarak yeni çözüm dizisi  $\psi''_i$ 'i oluştur
15:   Next
16:   For  $i = 1$  To  $PB$ 
17:      $f(\psi''_i)$ 'i hafıza yapısı dahilinde hesapla
18:      $HL$ 'yi güncelle
19:      $\Delta = f(\psi''_i) - f(\psi_i)$ 
20:     If  $\Delta \leq 0$  Or  $\exp\left(-\frac{\Delta}{T}\right) > \text{random}[0,1]$  Then
21:        $\psi_{ij} = \psi''_{ij} \quad j = 1, \dots, DS$ 
22:       If  $f(\psi_i) < f(\psi^*)$  Then
23:          $\psi^* = \psi_i$ 
24:       End If
25:     End If
26:   Next
27:    $T = T \times c$ 
28: Loop Until (Durdurma Kriteri)

```

Şekil 4.35. Hibrit diferansiyel gelişim algoritmasına ait sözel kod

4.7.4. Hibrit parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması

PSO algoritmasının temel yapısında, popülasyon içinde bazı parçacıklar kötüye gitse de bu çözümler kabul edilmektedir. Bu durumun bir parçacık için üst üste tekrarlaması, parçacığın konumunun global en iyi noktadan uzaklaşma ihtimalini arttırmaktadır. TB ile bütünleştirilmiş hibrit parçacık sürüsü optimizasyonu (HPSO-TB) algoritması ile

yeni üretilen bir parçacık, mevcut parçacıktan daha kötü bir konuma sahip ise bu parçacık sürüye, TB algoritmasının temellerine dayanan olasılıklar ile kabul edilebilmektedir. Aksi halde, mevcut parçacık yeni popülasyona aktarılmaktadır. Bu yöntem ile özellikle atalet katsayısının ve sıcaklığın değerinin yüksek olduğu başlangıçta parçacığın daha uzak bir konuma ilerlemesine izin verilirken, ilerleyen iterasyonlarda kötü konumların kabul edilme olasılığı azalmaktadır. Hibrit yapıya sahip GA ve DGA'da olduğu gibi HPSO-TB için de bütün parçacıklara ait tek bir sıcaklık parametresi kullanılmakta ve değeri her iterasyonda güncellenmektedir. Geliştirilen HPSO-TB'ye ait sözel kod Şekil 4.36'da verilmiştir.

```

1:  $PS$  = Parçacık sayısını belirle,  $w$  = Atalet katsayısını belirle
2:  $c_1, c_2$  = Parçacıklara ait öğrenme katsayılarını belirle
3:  $T$  = Başlangıç sıcaklığını belirle,  $c$  = Soğuma parametresini belirle
4: Durdurma kriterini tanımla
5:  $HL = \emptyset, \Phi^* = \emptyset$ 
6: For  $i = 1$  To  $PS$ 
7:    $i$  parçacığı için rassal olarak bir çözüm oluştur  $\Phi_i$  ve  $f(\Phi_i)$ 'i hesapla
8:   Elde edilen çözüme ait bilgileri  $HL$ 'ye ekle
9:    $i$  parçacığı için rassal olarak bir hız vektörü oluştur  $\rho_i$ 
10:   $\Phi_i'' = \Phi_i$ 
11: Next
12: Sürü içerisinde en iyi parçacığı  $\Phi^*$  olarak belirle
13: Do
14:   For  $i = 1$  To  $PS$ 
15:      $\rho_i = w\rho_i + c_1r_1(\Phi_i'' - \Phi_i) + c_2r_2(\Phi^* - \Phi_i)$ 
16:      $\Phi_i' = \Phi_i + \rho_i$ 
17:      $f(\Phi_i')$ 'i hafıza yapısı dahilinde hesapla
18:      $HL$ 'yi güncelle
19:      $\Delta = f(\Phi_i') - f(\Phi_i)$ 
20:     If  $\Delta \leq 0$  Or  $\exp\left(-\frac{\Delta}{T}\right) > \text{random}[0,1]$  Then
21:        $\Phi_i = \Phi_i'$ 
22:     End If
23:     If  $f(\Phi_i) < \Phi_i''$  Then
24:        $\Phi_i'' = \Phi_i$ 
25:     If  $f(\Phi_i) < \Phi^*$  Then
26:        $\Phi^* = \Phi_i$ 
27:     End If
28:   End If
29:   Next
30:   Atalet katsayısını güncelle
31:    $T = T \times c$ 
32: Loop Until (Durdurma Kriteri)

```

Şekil 4.36. Hibrit parçacık sürüsü optimizasyonuna ait sözel kod

Sürekli değişkenlerin kullanıldığı HPSO-TB'ye ek olarak çalışmada, Şekil 4.31'de sözel kodu verilmiş olan kesikli parçacık sürüsü optimizasyonunun TB ile hibrit algoritması da (HKPSO-TB) dikkate alınmıştır. Geliştirilen HKPSO-TB'ye ait sözel kod Şekil 4.37'de verilmiştir.

```

1:  $PS$  = Parçacık sayısını belirle
2:  $w$ ,  $c_1$ , ve  $c_2$  olasılıklarını belirle ( $w + c_1 + c_2 = 1$ )
3:  $T$  = Başlangıç sıcaklığını belirle,  $c$  = Soğuma parametresini belirle
4: Durdurma kriterini tanımla
5:  $HL = \emptyset$ ,  $\Phi^* = \emptyset$ 
6: For  $i = 1$  To  $PS$ 
7:    $i$  parçacığı için rassal olarak bir çözüm oluştur  $\Phi_i$  ve  $f(\Phi_i)$ 'i hesapla
8:   Elde edilen çözüme ait bilgileri  $HL$ 'ye ekle
9:    $\Phi_i'' = \Phi_i$ 
10: Next
11: Sürü içerisinde en iyi parçacığı  $\Phi^*$  olarak belirle
12: Do
13:   For  $i = 1$  To  $PS$ 
14:      $r_1 = rand[0,1]$ 
15:     If  $r_1 < w$  Then
16:       Rassal olarak sürü içinden bir parçacık belirle ( $\Phi_{r_2} \in [1, PS]$ ;  $r_2 \neq i$ )
17:        $\Phi_i$  ile  $\Phi_{r_2}$  parçacıklarını çaprazlayarak yeni parçacığı  $\Phi_i'$  oluştur
18:     Else If  $w \leq r_1 < c_1$  Then
19:        $\Phi_i$  ile  $\Phi_i''$  parçacıklarını çaprazlayarak yeni parçacığı  $\Phi_i'$  oluştur
20:     Else
21:        $\Phi_i$  ile  $\Phi^*$  parçacıklarını çaprazlayarak yeni parçacığı  $\Phi_i'$  oluştur
22:     End If
23:      $f(\Phi_i')$ 'i hafıza yapısı dahilinde hesapla
24:      $HL$ 'yi güncelle
25:      $\Delta = f(\Phi_i') - f(\Phi_i)$ 
26:     If  $\Delta \leq 0$  Or  $\exp\left(-\frac{\Delta}{T}\right) > random[0,1]$  Then
27:        $\Phi_i = \Phi_i'$ 
28:     End If
29:     If  $f(\Phi_i) < \Phi_i''$  Then
30:        $\Phi_i'' = \Phi_i$ 
31:     If  $f(\Phi_i) < \Phi^*$  Then
32:        $\Phi^* = \Phi_i$ 
33:     End If
34:   End If
35: Next
36:  $w = w \times 0,95$ ;  $c_1 = 1,01 \times c_1$ ;  $c_2 = 1 - c_1 - w$ 
37:  $T = T \times c$ 
38: Loop Until (Durdurma Kriteri)

```

Şekil 4.37. Hibrit kesikli parçacık sürüsü optimizasyonuna ait sözel kod

5. SAYISAL UYGULAMALAR

Tez çalışması kapsamında yapılan sayısal uygulamalar üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda ÇSÜAYP için oluşturulan bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modellerin geçerliliği, etkinliği ve büyük problemlerde performansı test edilmiştir. İkinci kısımda, ÇSÜAYP'in çözümü için geliştirilen meta-sezgisel ve hibrit algoritmaların test sonuçları ve seçilen en iyi algoritmaya ait parametrik analizler yer almaktadır. Üçüncü kısımda, nihai olarak geliştirilen algoritma büyük boyutlu şebekelere sahip senaryolarda ÇSÜAYP ve varyasyonları için test edilmiştir. Yapılan sayısal uygulamaların tümü Intel(R) Core(TM) i7 2,20GHz işlemci ve 8,00 GB belleğe sahip bilgisayar üzerinde Windows 7 işletim sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

5.1. Matematiksel Modelin Geçerliliğinin ve Etkinliğinin Test Edilmesi

ÇSÜAYP için geliştirilen bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modelin geçerliliği ve etkinliği üç aşamada test edilmiştir. İlk aşamada matematiksel modellerin çıktıları, örnek bir problem seti üzerinde analiz edilmiştir ve elde edilen sonuçların probleme uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir. İkinci aşamada ise rassal olarak üretilmiş küçük boyutlu problemler üzerinde bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modelin karşılaştırması yapılmıştır. Son olarak, büyük boyutlu problemler için kesin sonuç veren Gurobi çözücüsünün etkinliği analiz edilmiştir.

5.1.1. Model çıktıları

ÇSÜAYP için oluşturulan bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modelin geçerliliğini analiz edebilmek için oluşturulan örnek verisi Çizelge 5.1'de yer almaktadır. Örnek problem; üç üretici, iki ÇSM ve üç müşteri noktasından oluşmakta ve çapraz sevkiyat sistemi içinde üreticilerden müşterilere gönderilecek 26 ürüne ait bilgileri, dağıtım/toplama yapacak araç bilgilerini ve çapraz sevkiyat merkezlerine ait kapı ve alan bilgilerini içermektedir. Oluşturulan örnek her iki modelleme yaklaşımı ile çözülmüş ve sonuçları incelenmiştir.

Çizelge 5.1. Örnek bir probleme ait veriler

$ S = 3$	$ C = 2$	$ D = 3$	$ PR = 26$
$ TR = 6$	$ TR' = 4$	$ DR = 5$	$ DR' = 5$
dem_i	{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3}		
dem'_i	{1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 1, 1, 2, 3, 3, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 3, 3, 3}		
q_i	{2, 2, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2}		
p_i	{2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 3, 2, 2, 4, 2, 2, 4, 2, 4, 2, 2, 4, 2, 3, 2, 2, 4}		
$truck_k$	{1, 1, 2, 2, 3, 3}	$truck'_k$	{1, 1, 2, 2}
W_k	{3, 4, 4, 5, 4, 3}	W'_k	{4, 3, 4, 5}
L_k	{15, 16, 18, 16, 16, 12}	L'_k	{24, 18, 20, 24}
$cost_{sc}$	{80, 88, 150, 107, 98, 112}	$cost'_{cd}$	{219, 242, 199, 162, 213, 213}
DR_{X_m}	{12, 29, 46, 63, 80}	$DR_{X'_n}$	{12, 29, 46, 63, 80}
DR_{Y_m}	{0, 0, 0, 0, 0}	$DR_{Y'_n}$	{80, 80, 80, 80, 80}
$cost_{cr} = 0,1 \quad W_{CR_S} = 10 \quad W_{CR_E} = 90 \quad L_{CR_S} = 5 \quad L_{CR_E} = 75$			

Tanımlanan problemin bütünleşik matematiksel model ve iki aşamalı model ile çözülmesi sonucunda her iki yaklaşımda da optimum sonuç 1442,5 birim bulunmuştur. Çizelge 5.2’de optimum sonuca göre bütünleşik modelde çapraz sevkiyat şebeke tasarımına ait pozitif değer alan karar değişkenleri gösterilmektedir. Çizelge, dağıtım/toplama yapacak her bir aracın şebeke içindeki atama bilgileri, ürünlerin dağıtım/toplama araçlarına atama bilgileri ve ayrıca ürünlerin çapraz sevkiyat merkezindeki kapılara atama bilgilerini içermektedir. Çizelge 5.3’te ise ürünlerin dağıtım/toplama araçlarında ve ÇSM alanlarındaki konumları verilmiştir. Ayrıca, iki aşamalı modelin çözümü sonucunda karar değişkenlerine ait elde edilen değerler de bütünleşik model ile aynı çıkmıştır. Pozitif çıkan karar değişkenleri incelendiğinde 26 ürün için uygun bir dağıtım ve yerleşim planı elde edildiği görülmektedir. Modelden elde edilen sonuçlara göre probleme ait şebeke tasarımı ve araç kapı atamaları Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, müşteri talebine göre üreticiye ait ürünler farklı çapraz sevkiyat merkezlerine gönderilerek bir ayrıştırma işlemi ortaya çıkmıştır. Bu sayede üretici noktalarında toplama işlemi için kullanılan altı adet araç sayısının, çapraz sevkiyat merkezlerinde birleştirme işlemi ardından üçe düştüğü görülmektedir. Aksi

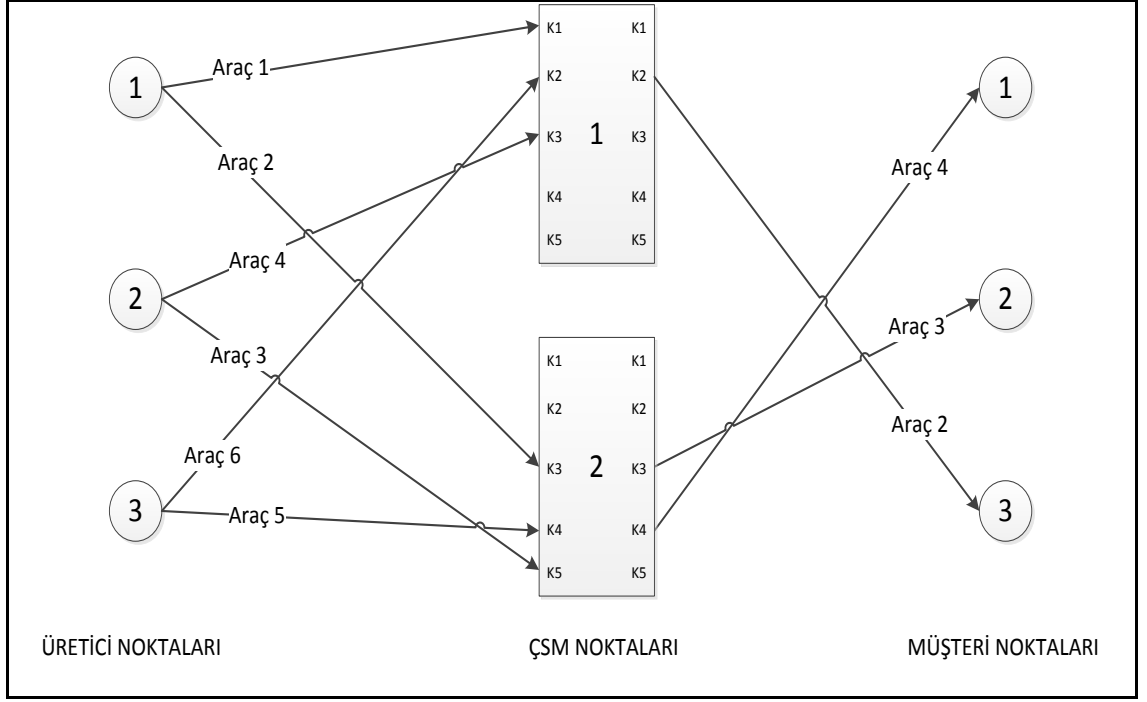
halde, çapraz sevkiyat sistemi olmaksızın ürünlerin doğrudan taşınması durumunda her üretici noktasından her bir müşteriye bir araç gönderilmesi gerekmektedir. Çapraz sevkiyat sistemi, araç kullanımını azaltmakla birlikte çapraz sevkiyat merkezlerinde ürünlerin müşterilere göre birleştirilmesi sayesinde araç içi doluluk oranlarını da arttırmıştır.

Çizelge 5.2. Örnek problemde bütünleşik modele ait şebeke tasarım sonuçları

$f_{imn} = 1$			$z_{ikc} = 1$			$z'_{ikd} = 1$			$v_{kcm} = 1$			$v'_{kdn} = 1$									
<i>i</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>c</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>d</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>d</i>	<i>k</i>	<i>c</i>	<i>m</i>	<i>k</i>	<i>d</i>	<i>n</i>	
1	3	4	14	3	2	1	2	2	14	4	1	1	4	1	14	2	3	1	2	3	2
2	3	4	15	4	4	2	2	2	15	5	2	2	4	1	15	4	1	2	2	3	3
3	3	4	16	4	4	3	2	2	16	5	2	3	4	1	16	4	1	3	2	5	4
4	3	3	17	4	4	4	2	2	17	5	2	4	3	2	17	4	1	4	1	3	
5	3	3	18	4	4	5	2	2	18	5	2	5	3	2	18	4	1	5	2	4	
6	3	3	19	4	3	6	2	2	19	5	2	6	3	2	19	3	2	6	1	2	
7	3	3	20	4	3	7	2	2	20	5	2	7	3	2	20	3	2				
8	1	2	21	4	3	8	1	1	21	5	2	8	2	3	21	3	2				
9	1	2	22	4	3	9	1	1	22	5	2	9	2	3	22	3	2				
10	5	4	23	2	2	10	3	2	23	6	1	10	4	1	23	2	3				
11	5	4	24	2	2	11	3	2	24	6	1	11	4	1	24	2	3				
12	5	3	25	2	2	12	3	2	25	6	1	12	3	2	25	2	3				
13	3	2	26	2	2	13	4	1	26	6	1	13	2	3	26	2	3				

Çizelge 5.3. Örnek problemde bütünleşik modele ait yerleşim planları

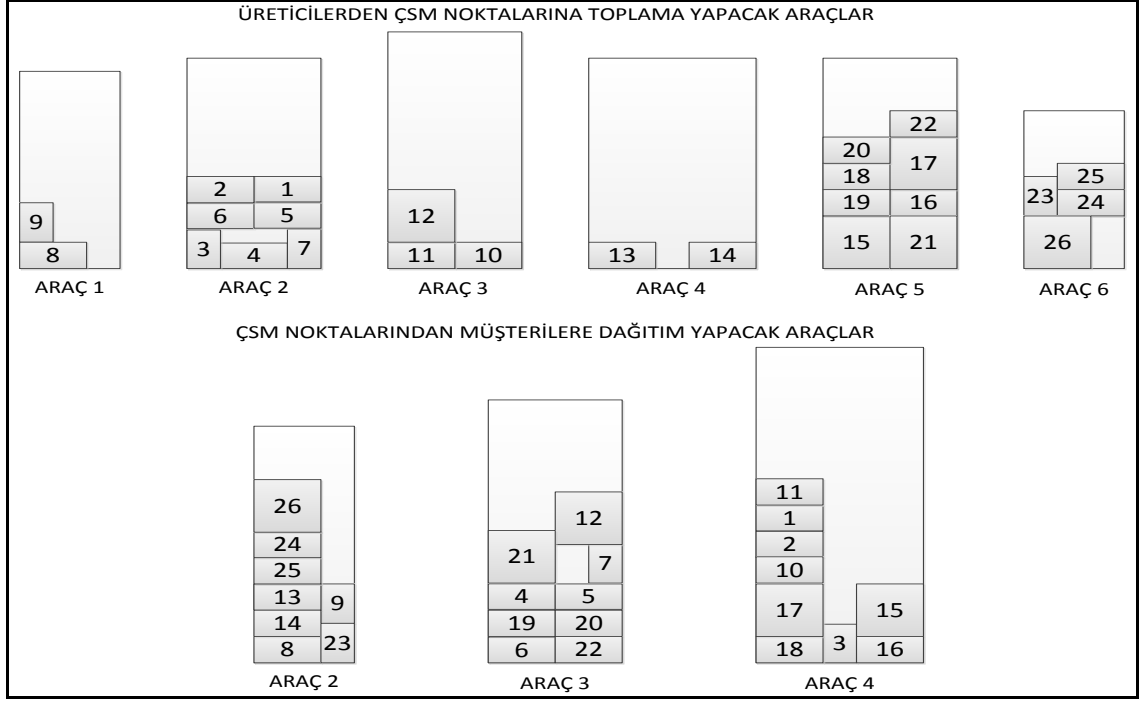
<i>i</i>	x_i	y_i	x'_i	y'_i	x''_i	y''_i	<i>i</i>	x_i	y_i	x'_i	y'_i	x''_i	y''_i
1	2	5	0	10	46	48	14	2	0	0	2	46	11
2	0	5	0	8	46	46	15	0	0	3	2	63	5
3	0	0	2	0	63	72	16	2	4	3	0	63	40
4	1	0	0	4	46	58	17	2	6	0	2	63	68
5	2	3	2	4	46	54	18	0	6	0	0	63	66
6	0	3	0	0	46	68	19	0	4	0	2	61	60
7	3	0	3	6	46	70	20	0	8	2	2	46	73
8	0	0	0	0	27	73	21	2	0	0	6	63	62
9	0	2	2	3	12	5	22	2	10	0	2	46	42
10	2	0	0	6	80	56	23	0	4	2	0	29	11
11	0	0	0	12	80	44	24	1	4	0	8	29	5
12	0	2	2	9	80	50	25	1	6	0	6	29	71
13	0	0	0	4	29	73	26	0	0	0	10	29	7



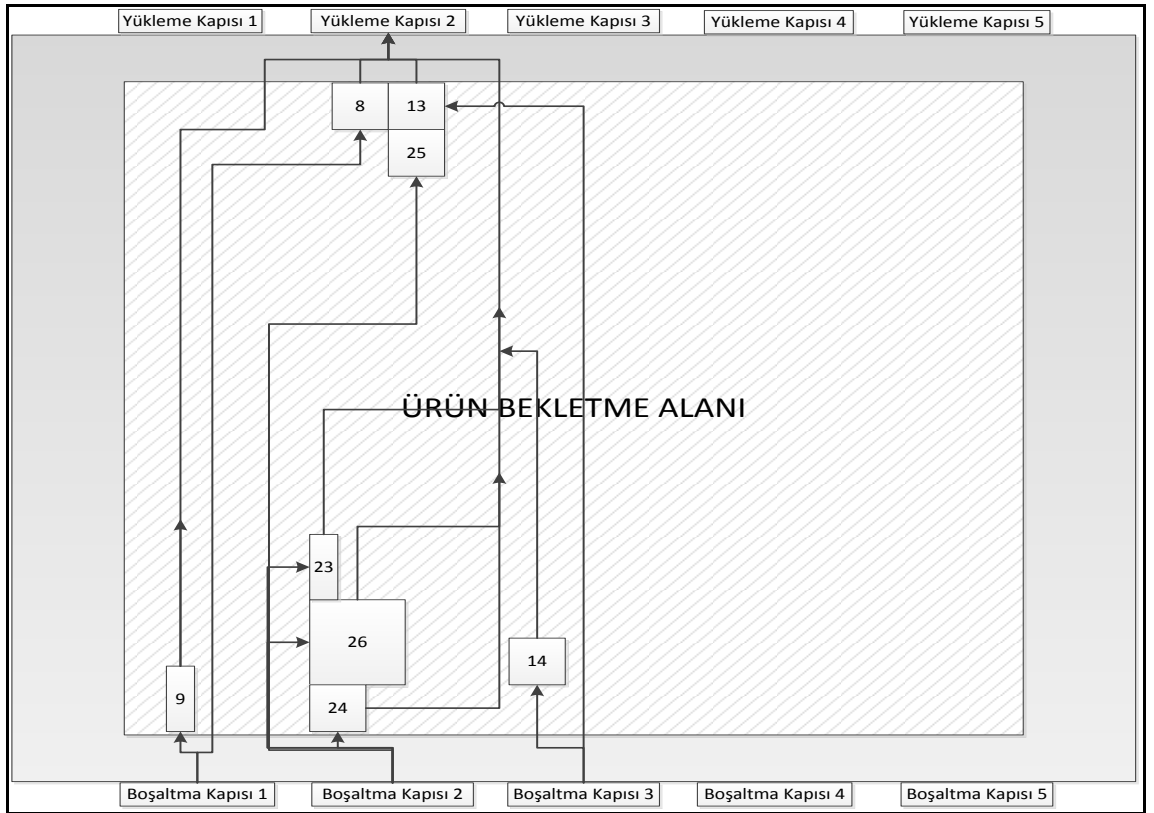
Şekil 5.1. Örnek problemde bütünlük modele ait şebeke tasarımının gösterimi

Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te ise ürünlerin dağıtım/toplama araçları içindeki ve ÇSM alanlarındaki yerleşim planları gösterilmiştir. Araç içi yerleşim planları incelendiğinde, toplama işlemi için kullanılan araçların ortalama doluluk oranının %34,99 iken dağıtım için kullanılan araçların ortalama doluluk oranının %50,85'e çıktığı görülmektedir. Bu da 26 ürünün planlandığı küçük bir şebekede bile araçların kullanım oranında %15,86'lık bir iyileşme sağlamıştır. ÇSM alanlarına ait yerleşim planları incelendiğinde ise ürünlerin, taşımaların yapılacağı boşaltma ve yükleme kapılarına yakın yerleştiği görülmektedir. Böylelikle, alan içinde ürün taşımaları en aza inmektedir.

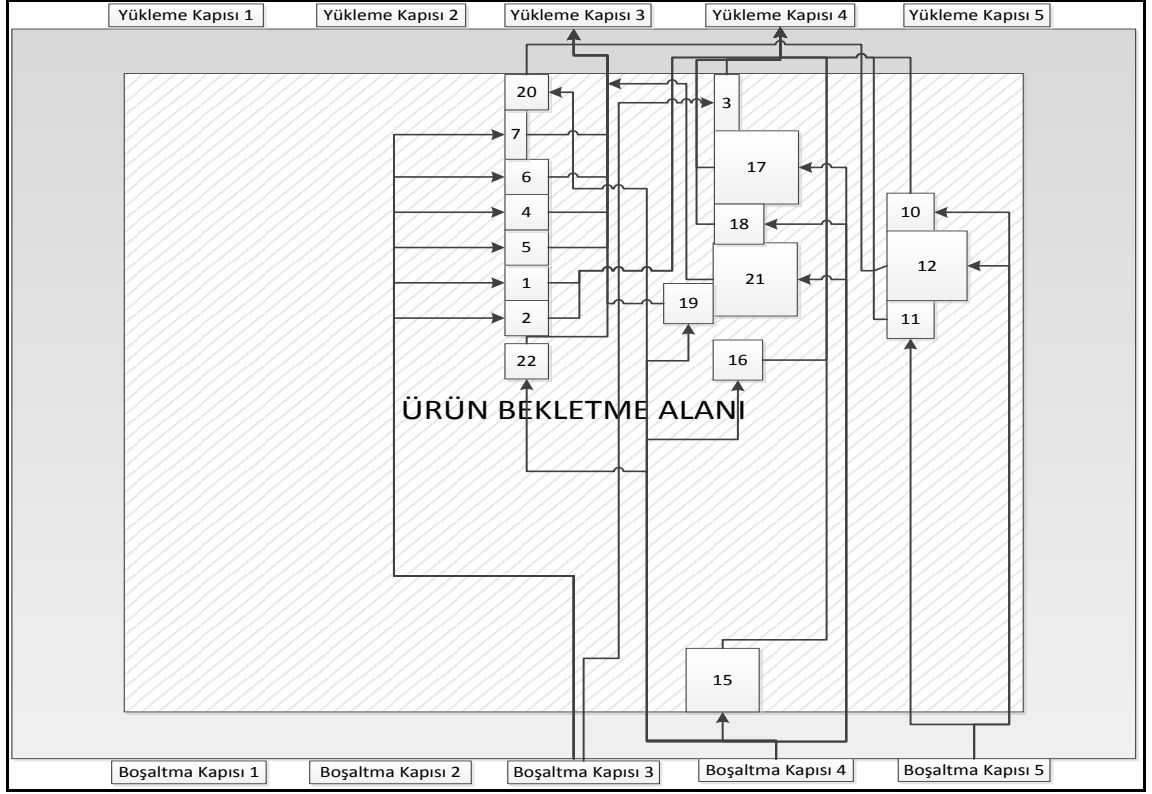
Sonuç olarak; elde edilen model çıktıları ve bu çıktılar sonucunda oluşturulan şebeke planı, ürün yerleşim planları ve elde edilen tasarruflar, geliştirilmiş olan bütünlük ve iki aşamalı modelin geçerliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca; geliştirilen matematiksel modeller, ürünlerin toplama/dağıtım araçlarında ve ÇSM alanlarında bekletilecekleri konumları detaylı bir şekilde belirlemekte ve yüklemelere ait operasyonel kararları netleştirmektedir.



Şekil 5.2. Örnek problemde bütünlük modele ait araç yerleşim planları



Şekil 5.3. Örnek problemde birinci ÇSM alanı için ürün akış planları



Şekil 5.4. Örnek problemde ikinci ÇSM alanı için ürün akış planları

5.1.2. Bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modelin karşılaştırılması

Bütünleşik model ve iki aşamalı modelin etkinliğini ve performanslarını karşılaştırabilmek için küçük boyutlu örnek problemler üretilmiştir. Örneklerin oluşturulmasında kullanılan temel parametreler ve parametrelerde kullanılan değerler ($S/C/D/PR_{max}/PR_{div}$):

- S : Üretici sayısı,
- C : ÇSM sayısı,
- D : Müşteri sayısı,
- PR_{max} : Bir üreticiden bir müşteriye gönderilebilecek maksimum ürün sayısı,
- PR_{div} : Ürün çeşidi sayısı.

Yukarıda tanımlanan parametrelere ek olarak problemlere ait toplama/dağıtım araçlarının sayısı ve kapı sayıları problem büyüklüğüne göre rassal olarak belirlenmiştir. Bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modelin karşılaştırması için toplamda 54 adet

küçük boyutlu problem oluşturulmuş ve bu problemlerden uygun çözüme sahip olan 30 adet örnek dikkate alınmıştır. Oluşturulan her bir örnek, Gurobi Optimizer 5.5.0 çözücüyle MPL programında beş saatlik işlem süresi kısıtı altında bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modellerle ayrı ayrı çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar ve işlem süreleri toplam saniye (TS) olarak Çizelge 5.4’te yer almaktadır. Çizelgede yer alan “%Fark₁” değeri Eşitlik 5.1 ile elde edilmiştir.

$$\%Fark_1 = \frac{\text{İki Aşamalı Model Sonucu} - \text{Bütünleşik Model Sonucu}}{\text{Bütünleşik Model Sonucu}} \times 100\% \quad (5.1)$$

Küçük boyutlu problemler için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, iki aşamalı matematiksel model ile elde edilen sonuçların dokuz problem tipi dışında bütünleşik model ile aynı sonucu ürettiği görülmektedir. Sonuçların farklı çıktığı problem tiplerinde ise iki aşamalı matematiksel model ile bütünleşik model arasındaki maliyet farkı ortalama %0,28’dir ve maliyet farkının oluştuğu problem tiplerinin beşinde MPL, beş saatlik (18 000s) zaman kısıtı nedeniyle algoritmayı sonlandırmıştır. Yani bu problemlerin optimum sonuçları arasındaki maliyet farkının daha büyük olma ihtimali bulunmaktadır. Küçük boyutlu problemler açısından sonuçlar değerlendirildiğinde, iki aşamalı matematiksel modelin, bütünleşik model gibi çapraz sevkiyat şebeke tasarımında toplam taşıma maliyetlerini minimize edecek ürün akış ve yerleşim kararlarını belirleyebildiğini göstermektedir. Fakat büyük boyutlu problemlerde ürün akışları daha karmaşık hale geleceğinden, bütünleşik model yaklaşımının iki aşamalı matematiksel model yaklaşımına göre toplam maliyetler açısından daha etkin sonuç üreteceği muhtemeldir. Kesin çözüm veren yöntemlerin sonuca ulaşmakta yetersiz kaldığı bu durumun analizine ilerleyen kısımlarda yer verilmiştir. Diğer yandan geliştirilen matematiksel modeller çözüm süreleri açısından karşılaştırıldığında, iki aşamalı matematiksel modelin bütünleşik modele göre çok daha kısa sürede çözüme ulaştığı görülmektedir. Özellikle dokuz örnek problem için bütünleşik model, süre kısıtı nedeniyle optimal sonuca ulaşamazken, iki aşamalı matematiksel model, her problem için sonuca ulaşabilmiştir.

Çizelge 5.4. Gurobi 5.5 ile küçük boyutlu problemler için elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Ürün Sayısı	Bütünleşik Model		İki Aşamalı Model		
		Optimum Sonuç	TS	Optimum Sonuç	TS	% <i>Fark</i> ₁
2/1/3/3/3	10	964,90	27,83	964,90	0,44	0,00
2/1/3/4/1	12	980,90	39,02	980,90	0,79	0,00
2/1/3/4/6	12	1 052,80	2 986,00	1 052,80	3,45	0,00
2/1/3/5/1	17	1 027,70	129,00	1 027,70	1,36	0,00
2/1/3/5/6	17	1 096,20	1 149,00	1 099,60	7,16	0,31
2/1/4/3/3	12	1 300,30	25,27	1 300,30	4,57	0,00
2/1/4/3/6	12	1 492,20	10 679,00	1 495,60	1,39	0,23
2/1/4/4/1	15	1 326,00	80,00	1 326,00	4,76	0,00
2/1/4/4/6	15	1 517,90	17 294,00	1 521,30	5,38	0,22
2/1/4/5/1	21	1 380,80	196,00	1 380,80	8,08	0,00
2/1/4/5/6	21	1 752,00	18 000,00	1 757,10	14,37	0,29
2/1/5/3/3	16	1 510,90	9 594,00	1 510,90	4,53	0,00
2/1/5/3/6	16	1 639,40	18 000,00	1 646,20	7,91	0,41
2/1/5/4/3	21	1 557,70	15 371,00	1 557,70	8,97	0,00
2/1/5/4/6	21	1 816,40	18 000,00	1 824,90	448,00	0,47
2/1/5/5/1	29	1 635,30	18 000,00	1 635,30	18,04	0,00
2/1/5/5/6	29	1 649,50	18 000,00	1 654,00	17,36	0,27
2/2/3/3/3	10	1 308,80	34,84	1 308,80	0,47	0,00
2/2/3/4/3	12	1 324,80	51,00	1 324,80	0,55	0,00
2/2/3/5/1	17	1 368,20	387,00	1 368,20	1,26	0,00
2/2/3/5/6	17	1 612,50	18 000,00	1 614,20	65,51	0,11
2/2/4/3/1	12	1 466,50	143,00	1 466,50	0,61	0,00
2/2/4/4/3	15	1 493,90	71,00	1 493,90	0,76	0,00
2/2/4/5/1	21	1 545,30	710,00	1 545,30	107,01	0,00
2/2/4/5/6	21	1 696,70	18 000,00	1 696,70	71,51	0,00
2/2/5/3/1	16	1 586,10	2 043,00	1 586,10	1,68	0,00
2/2/5/3/6	16	1 739,60	13 240,00	1 743,70	5,65	0,24
2/2/5/4/3	21	1 632,90	18 000,00	1 632,90	8,73	0,00
2/2/5/5/1	29	1 707,10	2 401,00	1 707,10	31,47	0,00
2/2/5/5/6	29	1 707,10	18 000,00	1 707,10	29,29	0,00
Ortalama	17,73	1 463,01	7 955,03	1 464,38	29,37	0,09

İki aşamalı matematiksel modelin çözüm kalitesini etkileyebilecek bir diğer unsur olarak da alan içi taşıma maliyetlerinin alan dışı taşıma maliyetlerine oranı olarak düşünülmüştür. Çapraz sevkiyat şebekesinde bir üreticiden bir çapraz sevkiyat merkezine veya bir çapraz sevkiyat merkezinden bir müşteriye ürünler toplu şekilde araçlarla taşındığından, dikkate alınacak olan maliyet, araçların ulaştırma maliyetleridir. ÇSM alanlarında ise ürünlerin palet veya kasa halinde geldiği düşünülürse ÇSM alanı içinde oluşan birim taşıma maliyetleri, her bir ürünün boşaltma kapısından yükleme kapısına kadar olan taşıma ve operasyonel maliyetlerinden oluşacaktır. Çizelge 5.4'te

sonuçları verilmiş olan problemlerde alan içi taşıma maliyeti $cost_{cr} = 0,1$ birim olarak dikkate alınmıştır. Alan içi taşıma maliyetlerinin iki aşamalı modelin çözüm etkinliği üzerindeki etkisini görebilmek için Çizelge 5.4'te amaç fonksiyonları açısından sonuçların farklı çıktığı dokuz adet problem, alan içi taşıma maliyeti $cost_{cr} = 0,5$ birime çıkartılarak tekrar çözülmüş ve sonuçları incelenmiştir. Çizelge 5.5'te bu örneklere ait sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, üç problem için her iki modelleme yaklaşımı ile aynı sonuçların bulunduğu ve bütün sonuçlar için ortalama yüzdelik farkın %0,72 olduğu görülmektedir. Bu değer düşük alan içi maliyetli örneklerle karşılaştırıldığında, sonuçlar arasındaki farklarda çok önemli bir artışın olmadığı ve bu nedenle dikkate alınan problemler açısından alan içi taşıma maliyetlerinin iki aşamalı modelin etkinliğini direkt etkilemediği söylenebilir.

Çizelge 5.5. Yüksek alan içi taşıma maliyetlerinde matematiksel model sonuçları

Problem Tanımı	Bütünleşik Model Sonucu	İki Aşamalı Model Sonucu	%Fark₁
2/1/3/5/6	1 646,50	1 646,50	0,00
2/1/4/3/6	1 917,00	1 934,00	0,89
2/1/4/4/6	1 874,00	1 874,00	0,00
2/1/4/5/6	2 458,00	2 517,50	2,42
2/1/5/3/6	2 233,00	2 267,00	1,52
2/1/5/4/6	1 821,50	1 824,90	0,19
2/1/5/5/6	1 945,50	1 945,50	0,00
2/2/3/5/6	2 190,50	2 199,00	0,39
2/2/5/3/6	2 306,00	2 330,50	1,06
Ortalama	2 043,56	2 059,88	0,72

5.1.3. Büyük boyutlu problemlerde iki aşamalı modelin performansı

ÇSÜAYP için iki aşamalı matematiksel modelin küçük boyutlu problemlerde bütünleşik modele göre daha hızlı çözüm ürettiği ve bu çözümlerin bütünleşik model sonuçlarına yakın olduğu tespit edilmiştir. İki aşamalı matematiksel modelin büyük boyutlu problemlerde performansını test edebilmek için $S/C/D/PR_{max}/PR_{div}$ parametre değerleri yükseltılarak 10 yeni örnek problem üretilmiştir. Bu örnek problemler ile yapılan sayısal uygulamalara ait sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çizelgede, her bir problem için elde edilen uygun çözüme ait amaç fonksiyon değeri (AFD) ve bu değer

optimalite aralığı gösterilmektedir. Çizelgede kullanılan optimalite aralığının hesaplanmasına ilişkin formülasyon Eşitlik 5.2’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 10 örnek problemden ancak iki problem için ilk aşamada optimal sonuca ulaşıldığı görülmektedir. Diğer problemlerde ise Gurobi çözücünde belirlenen beş saatlik işlem süresi kısıtı nedeniyle, birinci ve ikinci aşamada belirli optimalite aralıkları ile çözüme ulaşılmıştır. Bu aralıklar; birinci aşamada minimum %6,99 ve maksimum %37,32, ikinci aşamada ise minimum %13,73 ve maksimum %27,78’dir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; üreticilerden müşterilere ortalama 120 ürünün ulaştırılacağı bir ÇSÜAYP için iki aşamalı matematiksel model, ilk aşamasında ortalama %16,21 ve ikinci aşamasında ortalama %21,29’lik optimalite aralığı ile ortalama dokuz saatlik bir çözüm süresi ile sonuca ulaşmaktadır. Elde edilen bu sonuçlara göre, iki aşamalı matematiksel modelin, büyük boyutlu ÇSÜAYP’de optimal sonuca ulaşmakta yetersiz olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, iki aşamalı matematiksel modelin bütünleşik modele göre işlem süreleri açısından üstün olduğu, fakat büyük boyutlu problemlerde bu modelleme yaklaşımının yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu sebeple, ÇSÜAYP’nin çözümü için kabul edilebilir sürelerde etkin sonuçlar üretebilecek bir sezgisel algoritmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

$$\text{Optimalite Aralığı} = \frac{AFD - \text{Optimum sonuç için en iyi sınır değeri}}{AFD} \times 100 \quad (5.2)$$

Çizelge 5.6. Büyük boyutlu problemlerde iki aşamalı modelin sonuçları

Problem Tanımı	Ürün Sayısı	Aşama 1			Aşama 2		
		AFD	Optimalite Aralığı (%)	TS	AFD	Optimalite Aralığı (%)	TS
3/3/10/5/3	78	2 802,00	16,88	18 000,00	3 493,6	17,49	18 000,00
5/2/8/6/1	140	3 556,00	37,32	18 000,00	4 828,0	25,85	18 000,00
5/2/16/2/6	84	4 502,00	14,55	18 000,00	5 239,8	13,73	18 000,00
5/3/12/3/3	91	3 224,00	7,22	18 000,00	4 139,8	18,37	18 000,00
6/3/15/4/3	184	4 531,00	28,18	18 000,00	6 314,5	27,78	18 000,00
7/4/15/2/6	108	5 426,00	31,68	18 000,00	6 494,4	16,04	18 000,00
8/2/10/3/3	119	3 137,00	0,00	33,32	4 244,4	25,32	18 000,00
8/5/12/2/1	101	4 160,00	19,25	18 000,00	5 060,4	17,46	18 000,00
10/3/20/2/3	197	5 706,00	6,99	18 000,00	7 808,3	26,61	18 000,00
12/5/9/2/3	110	3 210,00	0,00	60,00	4 267,3	24,20	18 000,00
Ortalama	121,20	4 025,40	16,21	14 409,33	5 189,05	21,29	18 000,00

5.2. ÇSÜAYP İçin Geliştirilen Algoritmaların Performans Analizleri

Kesin çözüm veren yöntemlerin büyük boyutlu ÇSÜAYP'nin çözümü için yetersiz kaldığı yapılan sayısal analizler sonucunda tespit edilmiş ve problemin çözümü için bir sezgisel algoritmanın kullanılmasına karar verilmiştir. ÇSÜAYP'ye kısa sürede etkili sonuç üretebilecek bir algoritma oluşturabilmek için TB, TA, GA, DGA ve PSO algoritmaları probleme göre geliştirilmiş ve temel yapıdaki halleri ile performansları karşılaştırılmıştır. Problemden daha iyi sonucu daha kısa sürelerde elde edebilmek için dikkate alınan bu algoritmalar ile birçok hibrit algoritma oluşturulmuş ve yapılan sayısal analizler ile ÇSÜAYP için kullanılacak nihai algoritma tespit edilmiştir. Tespit edilen algoritmanın performansı büyük boyutlu problemler üzerinde test edilmiştir.

5.2.1. Algoritmaların temel yapılarına ait performans analizleri

ÇSÜAYP'nin çözümü için geliştirilen beş meta-sezgisel algoritmanın performansı (TB, TA, GA, DGA ve PSO), optimum sonuçları Çizelge 5.7'de verilen 20 adet küçük boyutlu problem üzerinde test edilmiştir. Objektif bir değerlendirme yapabilmek açısından algoritmalarda herhangi bir bölgesel arama metodu kullanılmadan temel yapıları ile oluşturulmuştur. Her bir algoritma Visual Studio üzerinde Visual Basic programlama dili ile kodlanmış ve eşit koşullarda çalıştırılmıştır. Her bir problem için 10 koşum gerçekleştirilmiş ve değerlendirmeler en iyi sonuç ve ortalama sonuç üzerinden yapılmıştır.

Algoritmalar için ortak parametre olan maksimum iterasyon sayısı (*MI*) 1 000 ve ikinci durdurma kriteri olan belirli iyileşme sayısı (*BI*) 250 olarak belirlenmiştir. Buna göre algoritmalar, 1 000 iterasyon sonunda veya 250 iterasyon boyunca en iyi sonuçta bir değişiklik olmazsa sonlanmaktadır. Bu durum, 250 iterasyon boyunca belirli iyileşme sağlamayan algoritmanın maksimum iterasyon sayısına ulaşmadan erken sonlanmasına imkân sağlamaktadır. Algoritmalara ait diğer parametre değerleri Çizelge 5.8'de verilmiş olup bu değerler; Bozer ve Carlo (2008), Chelouah ve Siarry (2000), Chen ve ark. (2006), Coley (1999), Goldberg ve ark. (2006), Haupt ve Haupt (2004), Karaboğa ve Ökdem (2004), Mitchell (1998), Sivanandam ve Deepa (2007) ve Qin ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmalarda dikkate alınan parametre değerlerinden derlenmiştir.

Çizelge 5.7. Küçük boyutlu problemlere ait optimum sonuçlar

Problem Tanımı	Ürün Sayısı	Bütünleşik Model	İki Aşamalı Model	
			Aşama 1	Aşama 2
2/1/3/3/6	10	965,20	875,00	965,20
2/1/3/4/3	12	930,90	823,00	930,90
2/1/3/5/3	17	977,70	823,00	977,70
2/1/4/3/1	12	1 250,30	1 139,00	1 250,30
2/1/4/4/3	15	1 276,00	1 139,00	1 276,00
2/1/4/5/3	21	1 330,80	1 139,00	1 330,80
2/1/5/3/1	16	1 460,90	1 304,00	1 460,90
2/2/3/3/6	10	1 208,80	1 122,00	1 208,80
2/2/3/4/6	12	1 224,80	1 122,00	1 224,80
2/2/3/5/3	17	1 268,20	1 122,00	1 268,20
2/2/4/3/6	12	1 366,50	1 262,00	1 366,50
2/2/4/4/6	15	1 393,90	1 262,00	1 393,90
2/2/5/4/6	21	1 463,70	1 260,00	1 463,70
4/1/3/4/3	23	1 500,60	1 286,00	1 500,60
4/1/4/4/1	34	1 653,70	1 329,00	1 653,70
4/2/3/3/6	17	1 647,70	1 493,00	1 647,70
4/1/5/3/1	33	1 796,20	1 471,00	1 796,20
4/2/4/5/3	46	1 940,00	1 504,00	1 940,00
4/1/3/5/1	31	1 574,80	1 286,00	1 574,80
4/2/5/3/1	33	2 128,60	1 817,00	2 128,60
Ortalama	20,90	1 417,97	1 228,90	1 417,97

Çizelge 5.8. Algoritmaların karşılaştırılmasında kullanılan parametre değerleri

Algoritma	TB	TA	GA	DGA	PSO
Parametre 1	$T = 1\ 000$	$TU = 10$	$PB = 10$	$PB = 10$	$PS = 10$
Parametre 2	$c = 0,95$	$KS = 10$	$TSO = 0,20$	$F = 2$	$w = 0,90$
Parametre 3	-	-	$CO = 0,50$	$CO = 0,05$	$c_1 = 0,05$
Parametre 4	-	-	$MO = 0,05$	-	$c_2 = 0,05$
Parametre 5	-	-	$EO = 0,10$	-	-

TB, TA, GA, DGA ve PSO ile küçük boyutlu problemler için elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak Ek 1’de tablolar halinde verilmiş olup bu tablolarda sonuçların optimum sonuçlarla olan farkları Eşitlik 5.3’te belirtilen formül ile hesaplanmıştır. Ayrıca

algoritmaların bulduğu sonuçların yayılımını belirtmek amacıyla tablolarda her bir problem için 10 koşumdan elde edilen standart sapma (SS) değeri de verilmiştir.

$$\%Fark_2 = \frac{\text{Algoritma Sonucu} - \text{Optimum Sonuç}}{\text{Optimum Sonuç}} \times 100\% \quad (5.3)$$

Çizelge Ek 1.1’de yer alan TB algoritmasına ait en iyi sonuçlar bütünleşik model için değerlendirildiğinde, geliştirilen TB algoritması, altı problem dışında bütün problemler için optimum sonuca ulaşmıştır. İki aşamalı modelde ise algoritma, ilk aşama için iki problem dışında bütün problemlerde ve ikinci aşamada ise dört problem dışında bütün problemlerde optimum sonuca ulaşmıştır. Sonuçlar 10 koşum için ortalama olarak değerlendirildiğinde TB algoritması; bütünleşik model için %2,35, iki aşamalı modelin ilk aşaması için %3,93 ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması için %1,07 fark ile optimum sonuca yakın bir sonuç elde etmiştir. Algoritmanın işlem zamanları genel olarak değerlendirildiğinde, bütünleşik model için ortalama 2,51 saniyede ve iki aşamalı modelde ise ortalama 1,57 saniyede sonuca ulaştığı görülmektedir.

Çizelge Ek 1.2’de yer alan en iyi TA sonuçları bütünleşik model için ortalama %1,37, iki aşamalı modelin ilk aşaması için %3,62 ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması için %2,89 fark ile optimum sonuca yakın sonuçlar vermiştir. Sonuçlar, 10 koşum için ortalama olarak analiz edildiğinde bu değerler; bütünleşik model için %4,09, iki aşamalı modelin ilk aşaması için %7,38 ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması için %3,28 olarak hesaplanmıştır. İşlem zamanları dikkate alındığında algoritmanın, bütünleşik model için ortalama 10,20 saniye ve iki aşamalı model için ortalama 5,14 saniyede sonuca ulaştığı görülmektedir.

Turnuva seçim yönteminin kullanıldığı GA’ya ait sonuçlar Çizelge Ek 1.3’te verilmiştir. Tabloda verilen GA’ya ait en iyi sonuçlar incelendiğinde algoritmanın, bütünleşik model için 17 problemde, iki aşamalı modelin ilk aşaması için 18 problemde ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması için 17 problemde optimum sonuca ulaştığı görülmektedir. Ortalama sonuçlar açısından algoritmanın optimum sonuçlara yakınlığı; bütünleşik model için %1,53, iki aşamalı modelin ilk aşaması için %1,62 ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması için %0,70’tir. Ortalama işlem zamanları ise, bütünleşik model için 21,58 saniye ve iki aşamalı model için 10,66 saniyedir.

Çizelge Ek 1.4'te gösterilen en iyi DGA sonuçlarına göre, geliştirilen algoritma bütünlük model için 15 problemde, iki aşamalı modelin ilk aşaması için 19 problemde ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması için 18 problemde optimum sonuca ulaşmıştır. Ortalama olarak optimum sonuçlarla fark ise; bütünlük model için %1,02, iki aşamalı modelin ilk aşaması için %1,55 ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması için %0,36'dır. Her bir model yaklaşımı için optimum sonuca ulaşılan algoritmada işlem zamanları ise ortalama olarak bütünlük model için 27,29 saniye ve iki aşamalı model için 14,92 saniyedir.

Son olarak, Çizelge Ek 1.5'te verilen PSO algoritmasına ait sonuçlar değerlendirildiğinde, DGA ve GA'da olduğu gibi hem bütünlük hem de iki aşamalı model için algoritma, birçok problem için optimum sonuca ulaşmıştır. Ortalamada ise bütünlük model için %1,12, iki aşamalı modelin ilk aşaması için %1,56 ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması için %0,68 fark ile optimum sonuca yakın sonuçlar elde edilebilmiştir. Algoritmanın ortalama işlem zamanları ise, bütünlük model için 28,05 saniye ve iki aşamalı model için 20,54 saniyedir.

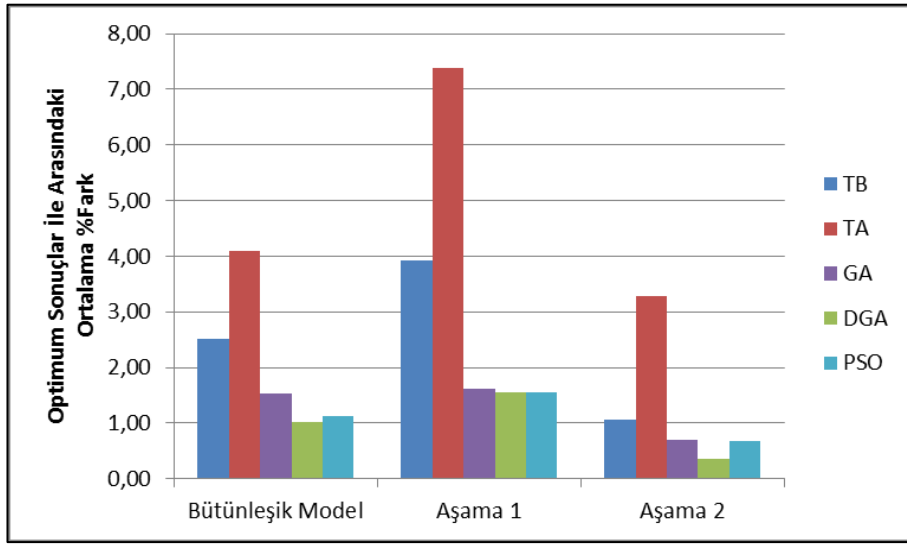
ÇSÜAYP'nin çözümü için uyarlanan beş farklı algoritmanın temel yapılarına ait performansları; Çizelge 5.9'da bütünlük model için ve Çizelge 5.10'da iki aşamalı model için özetlenmiştir. Ayrıca algoritmalara ait ortalama sonuçlar ve ortalama zamanlar, sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da her bir modelleme yaklaşımı için sütun grafik şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. Beş temel algoritmanın bütünlük model için genel performansı

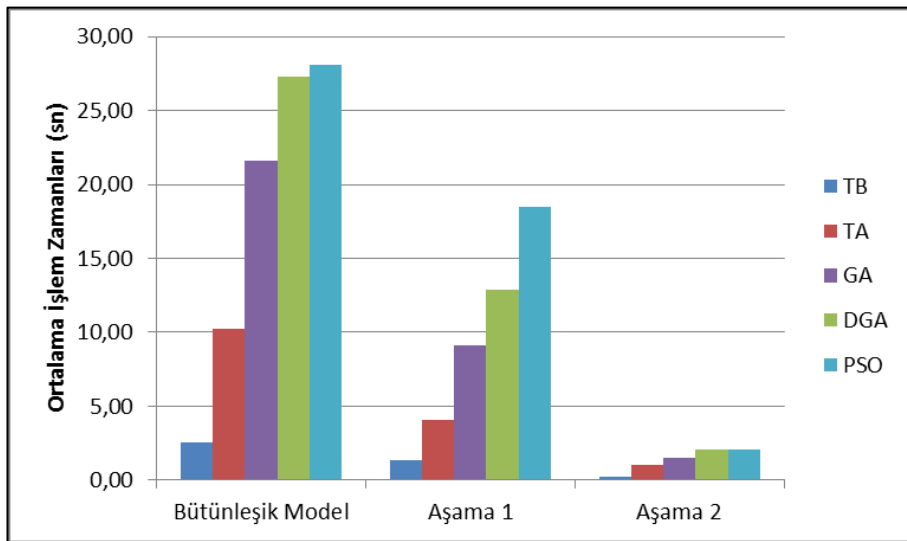
Algoritma	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS
TB	1 431,65	0,86	2,74	1 457,18	19,83	2,35	2,51
TA	1 439,90	1,37	10,80	1 484,62	23,70	4,09	10,20
GA	1 428,75	0,69	21,68	1 442,20	11,67	1,53	21,58
DGA	1 423,17	0,32	25,04	1 434,03	10,94	1,02	27,29
PSO	1 424,30	0,39	30,43	1 435,35	10,85	1,12	28,05

Çizelge 5.10. Beş temel algoritmanın iki aşamalı model için genel performansı

Algoritma	Aşama 1								Aşama 2							
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç					En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç				
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS		
TB	1.241,45	0,91	1,22	1.285,90	37,15	3,93	1,33	1.430,69	0,81	0,24	1.434,54	3,53	1,07	0,24		
TA	1.285,10	3,62	3,65	1.337,30	39,38	7,38	4,09	1.471,52	2,89	1,00	1.477,14	3,00	3,28	1,05		
GA	1.239,40	0,77	8,42	1.250,99	12,05	1,62	9,12	1.428,47	0,68	1,22	1.428,90	0,54	0,70	1,54		
DGA	1.234,10	0,41	11,77	1.249,83	11,49	1,55	12,84	1.423,00	0,34	1,65	1.423,28	0,42	0,36	2,08		
PSO	1.238,75	0,72	17,54	1.249,92	12,41	1,56	18,51	1.427,73	0,63	1,67	1.428,51	1,09	0,68	2,03		



Şekil 5.5. TB, TA, GA, DGA ve PSO'ya ait ortalama amaç fonksiyon değerleri



Şekil 5.6. TB, TA, GA, DGA ve PSO'ya ait ortalama işlem zamanları

Algoritmalara ait en iyi ve ortalama sonuçlar değerlendirildiğinde, DGA'nın hem bütünleşik model hem de iki aşamalı model yaklaşımı için diğer dört algoritmaya göre ortalama amaç fonksiyon değeri açısından daha üstün sonuçlar elde ettiği tespit edilmiştir. GA ve PSO algoritmaları ise TB ve TA algoritmalarına kıyasla DGA'ya daha yakın sonuçlar üretmiştir. TB ve TA algoritmalarının bulunduğu sonuçlara ait maliyetlerde ise GA, DGA ve PSO algoritmalarına göre belirgin bir şekilde artış vardır. TA algoritması ise hem bütünleşik model hem de iki aşamalı model yaklaşımı için en kötü performansı sergilemiştir. Algoritma sonuçlarından elde edilen ortalama SS değerleri genel olarak değerlendirildiğinde; GA, DGA ve PSO'nun TB ve TA algoritmalarına göre daha stabil şekilde ortalamaya yakın sonuçlar bulduğu görülmüştür. GA, DGA ve PSO algoritmaları SS değerleri açısından kendi aralarında kıyaslandığında ise, hem bütünleşik model hem de iki aşamalı model için birbirlerine çok yakın değerler elde etmişlerdir.

Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da beş temel algoritma için elde edilen ortalama sonuçların farklılıkları Çizelge 5.11'de ikili karşılaştırma olarak verilmiştir. Her bir satırda dikkate alınan algoritma çiftinin bütünleşik ve iki aşamalı matematiksel modele ait ortalama AFD ve SS değerleri kullanılarak t testi değerleri hesaplanmıştır. %95 güvenilirlik ile kritik değer olan $t_{0,025,9} = -2,262$ ve $t_{0,975,9} = 2,262$ sınırları arasında kalan t değerleri tabloda koyu karakterler ile belirtilmiştir. Yapılan bu analizler sonucunda da TA ve TB'nin GA, DGA ve PSO'dan belirgin bir şekilde farklı sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Diğer yandan TA ve TB algoritmalarından elde edilen ortalama sonuçların da birbirinden anlamlı bir şekilde farklı çıktığı görülmektedir. Popülasyon GA, DGA ve PSO arasında yapılan karşılaştırmalarda ise bütünleşik model ve iki aşamalı modelin ilk aşaması için elde edilen ortalama sonuçlar %95 güven aralığında birbirinden farklı değildir. İki aşamalı modelin ikinci aşamasında ise DGA ile elde edilen ortalama sonuçlarla GA ve PSO ile elde edilen ortalama sonuçlar arasında anlamlı bir fark olduğu söylenebilir. Fakat iki aşamalı modelde, Aşama 1'in sonucunun Aşama 2'nin sonucuna olan bağlayıcı etkisi düşünüldüğünde; GA, DGA ve PSO algoritmalarından herhangi birisinin diğerlerine göre kesin bir üstünlük gösterdiği net olarak söylenemez.

Algoritmalara ait ortalama işlem zamanları değerlendirildiğinde, TB algoritmasının diğer dört algoritmaya göre daha hızlı olduğu açıkça görülmektedir. TA algoritmasının

ise çözüm kalitesinde olduğu gibi işlem zamanlarında da TB algoritmasından daha kötü bir performansa sahip olduğu hem bütünleşik model hem de iki aşamalı model için elde edilen sonuçlarla tespit edilmiştir. GA, DGA ve PSO'nun ortalama işlem zamanları ise TB ve TA algoritmalarına kıyasla oldukça yüksek çıkmıştır. Bu durumun temel nedeni ise popülasyon tabanlı algoritmaların her iterasyonunda tek bir çözüm yerine popülasyon büyüklüğü kadar çözüm için işlemlerin tekrar etmesidir. Bu durum algoritmaların çözüm kalitesi açısından bir avantaj olsa da ortalama ~21 adet ürünün akışının planlandığı Çizelge 5.7'de verilen problemler için GA, DGA ve PSO ile elde edilen işlem zamanları oldukça yüksektir.

Çizelge 5.11. Algoritmalara ait ortalamaların ikili karşılaştırması

		İki Ortalama Arasındaki Farka Ait t Testi Değeri		
Algoritma 1	Algoritma 2	Bütünleşik Model	İki Aşamalı Model	
			Aşama 1	Aşama 2
TB	TA	-2,81	-3,00	-29,08
TB	GA	2,86	2,83	4,99
TB	DGA	3,23	2,93	10,04
TB	PSO	3,05	2,90	5,30
TA	GA	5,08	6,63	50,04
TA	DGA	6,13	6,74	56,37
TA	PSO	5,98	6,69	49,99
GA	DGA	1,62	0,22	27,38
GA	PSO	1,36	0,20	1,42
DGA	PSO	-0,27	-0,02	-21,50

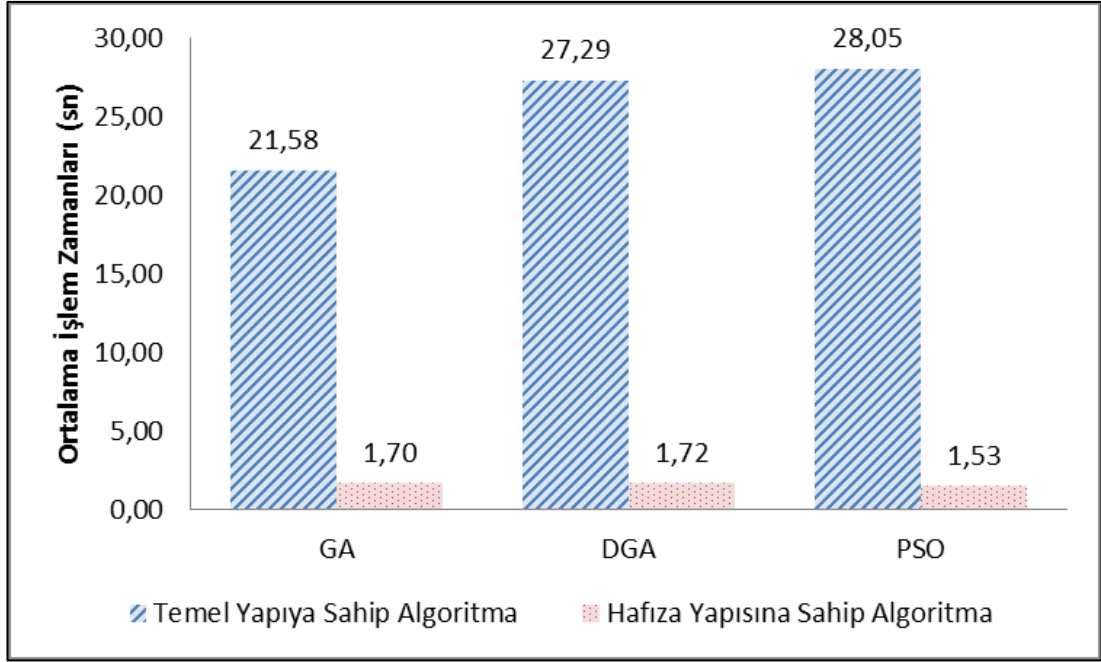
Sonuç olarak ÇSÜAYP'nin çözümü için dikkate alınan TB, TA, GA, DGA ve PSO'nun temel yapıları değerlendirildiğinde, çözüm uzayında daha geniş bir alanda aramaya imkan veren popülasyon tabanlı algoritmaların TB ve TA algoritmalarına göre daha iyi çözüm ürettiği tespit edilmiştir. GA, DGA ve PSO kendi aralarında değerlendirildiğinde ise kesin olarak üstünlük sağlayan bir algoritma ön plana çıkmamaktadır. Popülasyon tabanlı bu algoritmalar işlem zamanları açısından değerlendirildiğinde; küçük boyutlu problemlerin çözümünde dahi yaklaşık 30 saniyeye yakın işlem süresine sahip olduğundan, büyük boyutlu problemlerin çözümü için yavaş kalacağı öngörülmektedir. Bu nedenle; ÇSÜAYP için iyi bir sonucu etkin bir sürede elde edebilmek amacıyla tez

çalışmasının ilerleyen kısımlarında, iyi sonuç üreten GA, DGA ve PSO ile daha kısa sürede çözüm üreten TB algoritmasının hibrit yapıları kurularak problemin çözümü için alternatif algoritmalar geliştirilmesine karar verilmiştir. Bu algoritmalar arasında sürekli değişkenlerin kullanıldığı DGA ve PSO'nun temel yapısının yanı sıra kesikli değişkenlerin kullanıldığı DGA ve PSO algoritmasına da yer verilmiştir. Geliştirilen bu hibrit yapıdaki algoritmalar, farklı çaprazlama teknikleri ile geliştirilerek, çaprazlama tekniklerinin algoritma performansı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Geliştirilen hibrit algoritmalara ait performans analizleri ve parametrik testleri ilerleyen kısımlarda yer almaktadır.

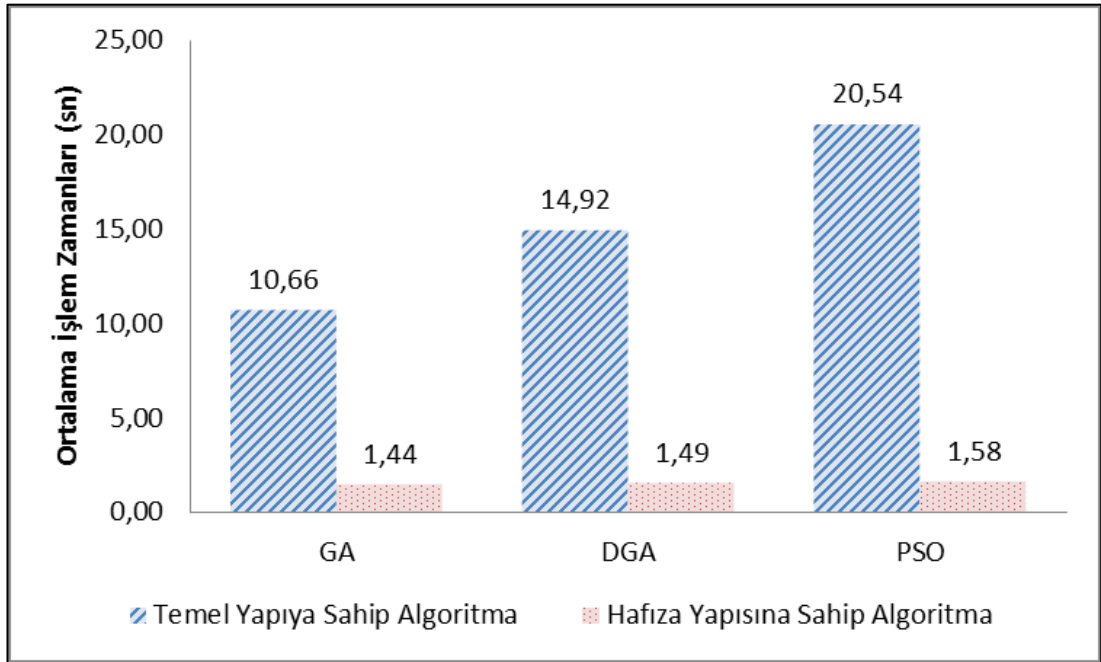
5.2.2. Geliştirilen hibrit algoritmalara ait performans analizleri

ÇSÜAYP'de kabul edilebilir işlem zamanı içinde etkin bir çözüm elde edebilmek amacıyla geliştirilen hibrit yapıdaki alternatif algoritmaların performansları, Çizelge 5.7'de belirtilen 20 problem üzerinde test edilmiştir. Her bir algoritma için yapılan bu sayısal çalışmalara ait detaylı sonuçlar EK 2'de tablolar halinde verilmiş olup sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Çizelge Ek 2.1'de verilen GA sonuçları, Çizelge Ek 2.2'de verilen DGA sonuçları ve Çizelge Ek 2.3'te verilen PSO sonuçları temel yapıya sahip algoritmalarından farklı olarak hafıza yapısıyla bütünleştirilmiş algoritmalar ile elde edilmiştir. Algoritmaların işlem hızını arttırmak amacıyla geliştirilen bu yapının temel yapıya sahip GA, DGA ve PSO üzerindeki etkisi, bütünleşik model ve iki aşamalı model yaklaşımı için sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de problemlere ait ortalama işlem zamanları ile özetlenmiştir. Algoritma içinde aynı hesaplamaların defalarca yapılmasını engelleyen bu yapının algoritma işlem sürelerinde önemli tasarruflar sağladığı her iki grafikten de açıkça görülmektedir. İşlem zamanları bütünleşik model açısından incelendiğinde, temel yapıya sahip algoritmaların ortalama işlem zamanları 25 saniye civarında iken hafıza yapısı ile bu süre iki saniyenin altına indirilmiştir. Benzer şekilde hafıza yapısı ile algoritmalar iki aşamalı matematiksel model için de iki saniyenin içinde çözüme ulaşmaktadır.



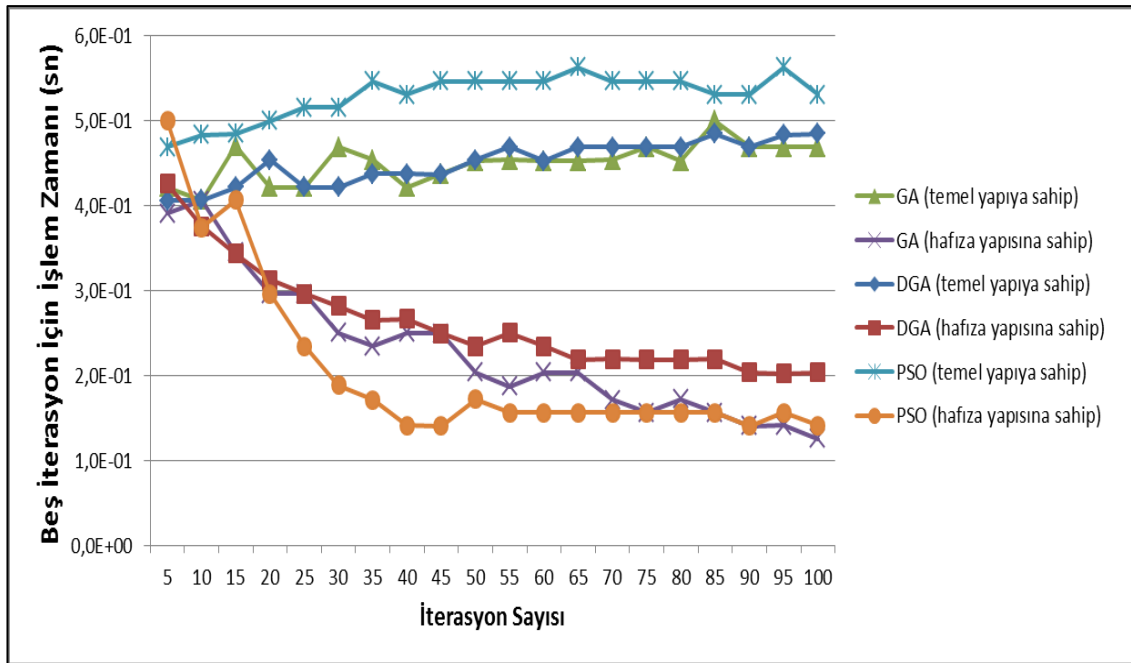
Şekil 5.7. Algoritmalarda hafıza yapısının bütünleşik model üzerindeki etkisi



Şekil 5.8. Algoritmalarda hafıza yapısının iki aşamalı model üzerindeki etkisi

Geliştirilen hafıza yapısının ortalama işlem zamanlarına dayalı analizlerine ek olarak, Şekil 5.9’da örnek bir problem için temel yapıya ve hafıza yapısına sahip algoritmaların 100 iterasyon boyunca işlem zamanları grafiksel olarak gösterilmiştir. Algoritmaların

her beş iterasyon için işlem zamanlarının gösterildiği grafikte her bir algoritma yaklaşık aynı işlem zamanları (~0,45 saniye) ile işleme başlarken iterasyon sayısı ilerledikçe hafıza yapısına sahip algoritmaların işlem zamanlarının düştüğü ve 100 iterasyon sonunda beş iterasyon için ~0,15 saniyede işlem yaptığı açıkça görülmektedir. Sonuç olarak, küçük boyutlu problemlerde bile kayda değer bir süre azalımı sağlayan bu yapı, algoritmaların büyük boyutlu problemlerin çözüm zamanlarında önemli tasarruflar sağlayacaktır. Bu sebeple geliştirilen bu hafıza yapısı, bütün hibrit algoritmalarla bütünleştirilmiştir.



Şekil 5.9. Örnek bir problem için iterasyon – zaman grafiği

EK 2’de geliştirilen algoritmalarla ait verilmiş olan detaylı sonuç tabloları, Çizelge 5.12’de 20 problemin ortalaması üzerinden en iyi sonuçlar ve ortalama sonuçlar için özetlenmiştir. Tabloda bütünleşik ve iki aşamalı model yaklaşımları için algoritmalar tarafından bulunan en iyi sonuçlar tablonun en alt satırında verilmiş olup bu sonuçlar tablo içerisinde koyu karakterlerle belirtilmiştir. Ayrıca, algoritmalar tarafından bulunan sonuçların optimum sonuçlarla olan yüzdelik farkı, Eşitlik 5.3’te belirtilen $\%Fark_2$ formülü kullanılarak tabloda verilmiştir.

Çizelge 5.12. 20 adet küçük boyutlu problem için algoritmaların genel performansı

Algoritma	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç		
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
GA	1 429,63	0,74	1,55	1 439,00	1,29	1,70	1 231,25	0,19	0,60	1 248,64	1,42	0,69	1 431,71	1,10	0,62	1 432,07	1,12	0,75
HGA-TB	1 420,49	0,17	1,53	1 435,82	1,14	1,74	1 228,90	0,00	0,61	1 243,96	1,10	0,74	1 423,11	0,32	0,60	1 423,53	0,34	0,72
HGA-TB (Rulet Ç.)	1 423,45	0,37	2,92	1 434,59	1,08	2,57	1 233,70	0,32	0,92	1 244,60	1,16	1,00	1 464,86	3,77	1,13	1 465,27	3,79	1,48
HGA-TB-STÇ	1 418,48	0,03	1,59	1 433,98	1,01	1,82	1 228,90	0,00	0,65	1 246,46	1,27	0,76	1 418,22	0,02	0,49	1 418,59	0,04	0,58
HGA-TB-SÇ	1 418,14	0,01	2,22	1 429,38	0,74	1,96	1 228,90	0,00	0,73	1 238,30	0,69	0,78	1 418,22	0,02	0,34	1 418,27	0,02	0,43
HGA-TB-KEÇ	1 417,97	0,00	1,61	1 435,46	1,12	1,78	1 233,95	0,40	0,70	1 246,03	1,25	0,81	1 422,93	0,34	0,50	1 423,25	0,36	0,60
HGA-TB-PTÇ	1 422,83	0,33	1,75	1 434,34	1,04	1,89	1 233,95	0,40	0,65	1 245,66	1,20	0,77	1 422,76	0,33	0,52	1 423,00	0,34	0,62
DGA	1 428,84	0,69	1,63	1 435,41	1,12	1,72	1 240,90	0,87	0,74	1 252,20	1,69	0,84	1 429,71	0,75	0,64	1 430,21	0,77	0,65
KDGA	1 422,93	0,34	2,47	1 430,33	0,82	2,43	1 233,95	0,40	0,83	1 241,29	0,92	0,93	1 422,93	0,34	0,43	1 423,39	0,37	0,51
HKDGA-TB	1 422,76	0,33	1,86	1 429,74	0,78	2,32	1 228,90	0,00	0,77	1 239,28	0,78	0,85	1 418,22	0,02	0,52	1 418,36	0,03	0,69
HKDGA-TB-STÇ	1 420,43	0,16	4,33	1 434,87	1,12	3,54	1 233,95	0,40	1,69	1 250,44	1,57	1,80	1 423,87	0,41	0,72	1 428,75	0,77	0,77
HKDGA-TB-SÇ	1 420,94	0,19	3,72	1 435,18	1,15	3,30	1 233,95	0,40	1,67	1 248,54	1,45	1,84	1 423,61	0,39	1,08	1 428,23	0,71	1,13
HKDGA-TB-KEÇ	1 429,01	0,75	3,33	1 438,42	1,38	3,53	1 233,95	0,40	1,67	1 250,32	1,58	1,78	1 423,95	0,41	0,64	1 428,17	0,71	0,74
HKDGA-TB-PTÇ	1 420,18	0,15	3,80	1 433,02	1,02	3,49	1 228,90	0,00	1,58	1 247,46	1,38	1,73	1 418,99	0,06	0,66	1 423,35	0,38	0,74
PSO	1 428,15	0,66	1,42	1 441,80	1,48	1,53	1 239,55	0,76	0,80	1 252,87	1,73	0,93	1 451,80	2,30	0,57	1 452,22	2,33	0,65
HPSO-TB	1 418,22	0,02	1,21	1 438,07	1,24	1,50	1 237,65	0,69	0,81	1 247,41	1,38	0,89	1 447,46	2,30	0,43	1 448,09	2,34	0,54
HKPSO-TB-STÇ	1 423,53	0,37	1,63	1 436,37	1,14	1,73	1 228,90	0,00	0,71	1 243,49	1,08	0,77	1 426,38	0,59	0,67	1 426,65	0,60	0,78
HKPSO-TB-SÇ	1 423,02	0,34	2,63	1 430,25	0,80	2,70	1 237,65	0,69	1,10	1 242,62	1,03	1,16	1 418,22	0,02	0,60	1 418,42	0,03	0,71
HKPSO-TB-KEÇ	1 423,36	0,36	1,87	1 435,95	1,14	1,78	1 238,75	0,72	0,65	1 246,39	1,28	0,75	1 427,65	0,62	0,58	1 428,10	0,65	0,71
HKPSO-TB-PTÇ	1 429,86	0,76	1,71	1 435,39	1,13	1,77	1 228,90	0,00	0,71	1 244,00	1,06	0,76	1 418,22	0,02	0,59	1 418,48	0,03	0,66
Minimum	1 417,97	0,00	1,21	1 429,38	0,74	1,49	1 228,90	0,00	0,25	1 238,30	0,69	0,28	1 418,22	0,02	0,34	1 418,27	0,02	0,43

GA'yı temel alan hibrit algoritmalara ait detaylı sonuçlar Çizelge Ek 2.4'te HGA-TB için, Çizelge Ek 2.5'te rulet çemberi seçim yönteminin kullanıldığı HGA-TB için, Çizelge Ek 2.6'da HGA-TB-STÇ için, Çizelge Ek 2.7'de HGA-TB-SÇ için, Çizelge Ek 2.8'de HGA-TB-KEÇ için ve Çizelge Ek 2.9'da HGA-TB-PTÇ için verilmiştir. TB ile hibrit yapıya sahip GA temelli algoritmalar ortalama sonuçlar üzerinden genel olarak değerlendirildiğinde, rulet çemberi seçim yönteminin kullanıldığı HGA-TB dışındaki her bir algoritma, hafıza yapısının kullanıldığı GA'ya göre hem bütünleşik model hem de iki aşamalı model yaklaşımı için daha iyi değerler vermiştir. Rulet çemberi ve turnuva seçim yöntemlerinin kullanıldığı HGA-TB algoritmalarının sonuçları kıyaslandığında ise, turnuva seçim yöntemini dikkate alan HGA-TB rulet çemberi seçim yöntemini dikkate alan HGA-TB'ye göre genelde daha iyi sonuçlar bulmuştur. Diğer yandan dört farklı çaprazlama tekniğinin bütünleştirildiği algoritmalarda ise en iyi performansı hem ortalama sonuçlar açısından hem de en iyi sonuçlar açısından HGA-TB-SÇ göstermiştir. GA'yı temel alan hibrit algoritmalar genel olarak değerlendirildiğinde, çözüm kalitesi açısından HGA-TB-SÇ her iki modelleme yaklaşımı için de ön plana çıkmaktadır.

DGA'yı temel alan ve tamsayılı değişkenlerin kullanıldığı altı farklı algoritmanın detaylı sonuçları Çizelge Ek 2.10'da KDGA için, Çizelge Ek 2.11'de HKDGA-TB için, Çizelge Ek 2.12'de HKDGA-TB-STÇ için, Çizelge Ek 2.13'te HKDGA-TB-SÇ için, Çizelge Ek 2.14'te HKDGA-TB-KEÇ için ve Çizelge Ek 2.15'te HKDGA-TB-PTÇ için verilmiştir. KDGA'nın sonuçları hafıza yapısına sahip DGA ile karşılaştırıldığında, tamsayılı değişkenlerle çalışan KDGA'nın sürekli değişkenlerle çalışan DGA'ya göre daha üstün olduğu hem bütünleşik model hem de iki aşamalı model için elde edilen sonuçlardan görülmektedir. Optimum sonuçlarla olan farklar karşılaştırıldığında KDGA ile bütünleşik model için ortalama %1,12'den %0,82'ye, iki aşamalı modelin ilk aşaması için %1,69'dan %0,92'ye ve iki aşamalı modelin ikinci aşaması için %0,77'den %0,37'ye bir düşüş elde edilmiştir. TB algoritmasının kullanıldığı HKDGA-TB ise KDGA'ya göre daha etkin sonuçlar üretmiştir. HKDGA-TB ile optimum sonuçlarla olan ortalama fark bütünleşik model için %0,78'e, iki aşamalı modelin ilk aşaması için %0,78'e ve iki aşamalı matematiksel modelin ikinci aşaması için %0,03'e düşürülmüştür. GA'ya ait çaprazlama tekniklerinin kullanıldığı HKDGA-TB-STÇ,

HKDGA-TB-SÇ, HKDGA-TB-KEÇ ve HKDGA-TB-PTÇ ise DGA'ya göre daha iyi sonuçlar üretmiş olsa da KDGA ve HKDGA-TB kadar etkin sonuçlar elde edememiştir.

PSO'yu temel alan hibrit algoritmalara ait detaylı sonuçlar Çizelge Ek 2.16'da HPSO-TB için, Çizelge Ek 2.17'de HKPSO-TB-STÇ için, Çizelge Ek 2.18'de HKPSO-TB-SÇ için, Çizelge Ek 2.19'da HKPSO-TB-KEÇ için ve Çizelge Ek 2.20'de HKPSO-TB-PTÇ için verilmiştir. Sürekli değişkenlerle işlem yapan PSO ve HPSO-TB birbirleri ile karşılaştırıldığında HPSO-TB, hafıza yapısına sahip PSO'ya göre bütünleşik model ve iki aşamalı modelin her iki aşaması için daha iyi sonuçlar bulmuştur. STÇ, SÇ, KEÇ ve PTÇ yöntemleri ile tamsayılı değişkenlerin kullanıldığı hibrit algoritmalar değerlendirildiğinde, bu algoritmaların PSO ve HPSO-TB'ye göre daha etkin olduğu görülmektedir. Çaprazlama yöntemleri açısından bu dört algoritma değerlendirildiğinde ise HKPSO-TB-SÇ, GA'yı temel alan algoritmalarda olduğu gibi PSO için de en iyi sonucu vermiştir.

ÇSÜAYP için geliştirilen algoritmalar genel olarak değerlendirildiğinde, geliştirilen hafıza yapısı ile algoritmaların işlem zamanlarının temel yapılarına göre oldukça azaldığı görülmektedir. Hafıza yapısıyla birlikte geliştirilen algoritmalara ait ortalama işlem zamanları birbirlerine çok yakın olmakla birlikte GA ve PSO'yu temel alan algoritmaların DGA'yı temel alan algoritmalara göre kısmen daha hızlı olduğu söylenebilir. Elde edilen çözüm kalitesi açısından algoritmalar değerlendirildiğinde; bütünleşik modelin en iyi sonucu için HGA-TB-KEÇ ve bütünleşik modelin ortalama sonucu için HGA-TB-SÇ öne çıkmaktadır. İki aşamalı modelin ilk aşaması için algoritmalar değerlendirildiğinde; en iyi sonuç için HGA-TB, HGA-TB-STÇ, HGA-TB-SÇ, HKDGA-TB, HKDGA-TB-PTÇ, HKPSO-TB-STÇ ve KHPSO-TB-PTÇ algoritmaları öne çıkmaktadır. İki aşamalı modelin ilk aşamasına ait ortalama sonuçlar için ise en iyi sonucu HGA-TB-SÇ elde etmiştir. Son olarak iki aşamalı modelin ikinci aşaması değerlendirildiğinde; HGA-TB-STÇ, HGA-TB-SÇ, HKDGA-TB, HKPSO-TB-SÇ ve KHPSO-TB-PTÇ algoritmaları en iyi sonuç değerini ortak olarak elde etmekle birlikte ortalama sonuç açısından HGA-TB-SÇ diğer algoritmalara göre daha iyi sonuç elde etmiştir. Çizelge 5.12'de koyu karakterlerle belirtilen minimum sonuçlar dikkate alındığında HGA-TB-SÇ'nin elde ettiği sonuçlarla diğer algoritmalara göre daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle tez çalışmasının ilerleyen kısımlarında HGA-TB-

SÇ için parametrik analizlerinin yapılarak büyük boyutlu ÇSÜAYP'nin çözümünde kullanılmasına karar verilmiştir.

5.2.3. HGA-TB-SÇ'nin parametrik analizleri

HGA-TB-SÇ'nin büyük boyutlu problemlerde daha etkin sonuçlar verebilmesi amacıyla algoritmaya ait c , CO , EO , MI , MO , PB , T ve TSO parametreleri için analizler yapılmıştır. Belirlenen bu dokuz parametre için bir deneysel tasarım yapılması durumunda, her bir parametre değeri iki seviyeye sahip olsa dahi $2^9 = 512$ farklı değere sahip parametre seti oluşmakta ve her bir set için 10 koşum yapılmasıyla birlikte toplam 5 120 deney yapılması gerekmektedir. Parametre değerlerine ait seviye üçe çıkartıldığında ise deney sayısı 196 830'a yükselmektedir. Bu nedenle parametre değerlerinin belirlenmesi için yapılan çalışmada, algoritmaların çözüm kalitesinde daha etkin olacağı düşünülen PB , MI ve BI için üç seviyeden oluşan tam faktöriyel bir deneysel tasarım oluşturulmuştur. Bu üç parametre değerinin deneysel tasarım ile belirlenmesinin ardından geriye kalan parametre değerleri, daha basit bir yöntemle teker teker değerlendirilerek belirlenmiştir. Bu yöntemde her bir parametre için belirlenen seviyelerde deneyler yapılarak algoritmanın en iyi sonucu verdiği parametre değeri tespit edilmektedir. Tespit edilen parametre değeri sabitlenerek bir sonraki parametrenin analizine geçilmektedir. Çizelge 5.7'de verilen problemlerin kullanıldığı bu çalışmalarda değerlendirilen parametre değerleri Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13. HGA-TB-SÇ için test edilen parametre değerleri

Parametre	Test Edilen Değerler					
	10	30	50	-	-	-
PB	10	30	50	-	-	-
MI	500	1 000	1 500	-	-	-
BI	50	150	250	-	-	-
T	500	1 000	5 000	10 000	-	-
c	0,75	0,85	0,95	-	-	-
EO	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,50
TSO	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,50
MO	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25
CO	0,10	0,30	0,50	0,70	0,90	0,90

PB, *MI* ve *BI* için oluşturulan deneysel tasarım ve 10 tekrar sahip deney sonuçları Çizelge 5.14'te yer almaktadır. Yapılan bu deneylerde diğer parametre değerleri ise Çizelge 5.13'te belirtilen değerlerin orta noktası olacak şekilde sabit tutulmuştur. Tabloda koyu karakterlerle belirtilen sonuçlardan görülebileceği gibi 27 farklı deney için en iyi sonuçlar; $PB = 30$, $MI = 500$ ve $BI = 250$ parametre değerleri ile elde edilmiştir. Bu parametre değerleri ile özellikle bütünleşik modelin ortalama sonuçlarında ve iki aşamalı modelin ikinci aşamasına ait ortalama sonuçlarda diğer deney setlerine göre en iyi sonuç elde edilmiştir. İki aşamalı modelin ilk aşamasında ortalama sonuçlar değerlendirildiğinde ise bu parametre değerleri ile en iyi sonuçtan %0,20 farkla bir sonuç elde edilmiştir.

Deneysel tasarım çalışmasında analiz edilen bir diğer konu da; *PB*, *MI* ve *BI* parametrelerinin algoritma çözüm kalitesi ve algoritma işlem zamanları üzerindeki etkisi olmuştur. Bütünleşik model ve iki aşamalı model yaklaşımları için elde edilen sonuçlara ait deneysel tasarım tabloları, pareto diyagramları ve sonuçlarda ön plana çıkan etki grafikleri EK 3'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Bütünleşik modele ait ortalama sonuçlar için; Şekil Ek 3.1'de parametrelerin etkilerine ait pareto diyagramı, Şekil Ek 3.2'te deneysel tasarıma ait anova tablosu, Şekil Ek 3.3'te *PB* ve Şekil Ek 3.4'te *BI* parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etki grafikleri verilmiştir. Bütünleşik modele ait ortalama işlem zamanları için bu tablo ve grafikler sırasıyla Şekil Ek 3.5-3.8'de verilmiştir. İki aşamalı modele ait grafik ve tablolar ise Şekil Ek 3.9-3.16'da ortalama sonuçlar için ve Şekil Ek 3.17-3.24'te ortalama işlem zamanları için verilmiştir.

Elde edilen tablo ve grafikler incelendiğinde *PB* ve *BI* parametrelerinin algoritmanın çözüm kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Ayrıca *PB-BI* etkileşimi de algoritmanın çözüm kalitesini etkileyen bir faktör olmuştur. *MI* parametresi ise sadece bütünleşik model için etkili olduğu kısmen söylenebilir. Pareto diyagramlarından ve ortalama etki grafiklerinden çıkartılabilecek diğer bir sonuç ise *PB*'nin özellikle bütünleşik modelde ortalama sonuca olan etkisidir. Elde edilen etki grafiğine göre popülasyon büyüklüğünün 30'dan 50'ye çıkartılmasıyla oluşan etki, 10'dan 30'a çıkartılmasıyla oluşan etki kadar büyük değildir.

Çizelge 5.14. Parametre analizi için oluşturulan deneysel tasarım ve sonuçları

Deneysel No	Parametre Değerleri			İki Aşamalı Model											
				Bütünleşik Model				Aşama 1				Aşama 2			
				En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç	
PB	MI	BI	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	
1	10	500	50	1 422,86	0,68	1 435,73	0,60	1 233,95	0,24	1 243,11	0,27	1 422,93	0,16	1 423,62	0,19
2	10	500	150	1 421,84	1,60	1 432,55	1,54	1 233,95	0,50	1 242,50	0,55	1 422,76	0,37	1 422,85	0,46
3	10	500	250	1 418,56	1,93	1 431,18	2,11	1 228,90	0,68	1 240,14	0,74	1 418,22	0,63	1 418,32	0,75
4	10	1000	50	1 430,51	0,63	1 438,47	0,61	1 233,95	0,26	1 245,27	0,28	1 422,93	0,15	1 423,55	0,19
5	10	1000	150	1 419,33	1,38	1 431,58	1,50	1 233,95	0,45	1 241,65	0,53	1 422,85	0,40	1 422,92	0,50
6	10	1000	250	1 418,56	2,02	1 428,38	2,16	1 228,90	0,67	1 237,30	0,75	1 418,22	0,57	1 418,25	0,69
7	10	1500	50	1 428,76	0,65	1 437,79	0,62	1 233,95	0,24	1 243,24	0,27	1 422,76	0,14	1 423,31	0,18
8	10	1500	150	1 419,07	1,48	1 434,32	1,44	1 232,60	0,50	1 242,56	0,53	1 421,58	0,41	1 421,75	0,49
9	10	1500	250	1 418,05	2,17	1 428,85	2,21	1 233,95	0,70	1 241,30	0,76	1 422,76	0,57	1 422,81	0,67
10	30	500	50	1 418,82	1,84	1 430,10	1,61	1 228,90	0,53	1 242,89	0,56	1 418,22	0,42	1 418,54	0,49
11	30	500	150	1 422,09	3,37	1 431,30	3,85	1 228,90	1,07	1 241,23	1,13	1 418,14	1,01	1 418,15	1,23
12	30	500	250	1 417,97	4,87	1 424,78	5,22	1 228,90	1,57	1 239,17	1,68	1 417,97	1,58	1 417,97	1,89
13	30	1000	50	1 423,44	1,70	1 430,47	1,50	1 236,05	0,52	1 241,92	0,55	1 425,29	0,38	1 425,56	0,48
14	30	1000	150	1 418,39	3,68	1 427,83	3,71	1 233,95	1,06	1 239,66	1,15	1 422,93	1,11	1 422,97	1,32
15	30	1000	250	1 418,14	5,57	1 426,22	5,76	1 228,90	1,52	1 240,55	1,63	1 418,14	1,53	1 418,14	1,86
16	30	1500	50	1 424,12	1,76	1 436,49	1,51	1 228,90	0,50	1 242,52	0,54	1 417,97	0,36	1 418,14	0,48
17	30	1500	150	1 418,39	3,72	1 431,55	3,87	1 228,90	1,30	1 237,47	1,41	1 418,22	1,10	1 418,25	1,29
18	30	1500	250	1 418,22	6,24	1 428,50	6,01	1 231,25	1,66	1 238,11	1,72	1 420,49	1,65	1 420,49	1,93
19	50	500	50	1 418,99	2,35	1 430,51	2,36	1 233,95	0,76	1 241,52	0,84	1 422,93	0,62	1 423,04	0,80
20	50	500	150	1 418,22	5,89	1 428,10	6,15	1 228,90	1,65	1 240,63	1,70	1 418,14	1,77	1 418,14	2,07
21	50	500	250	1 418,22	8,21	1 426,84	8,49	1 228,90	2,48	1 240,71	2,59	1 418,05	2,76	1 418,05	3,17
22	50	1000	50	1 423,19	2,33	1 430,79	2,49	1 228,90	0,78	1 236,14	0,83	1 418,05	0,68	1 418,17	0,84
23	50	1000	150	1 418,31	5,46	1 430,22	5,85	1 228,90	1,58	1 240,94	1,68	1 418,05	1,79	1 418,07	2,05
24	50	1000	250	1 418,05	7,66	1 427,16	9,15	1 232,60	2,47	1 240,31	2,61	1 421,67	2,52	1 421,67	2,82
25	50	1500	50	1 419,33	2,57	1 432,24	2,25	1 233,95	0,74	1 240,46	0,80	1 422,68	0,58	1 422,79	0,71
26	50	1500	150	1 418,73	5,42	1 428,01	5,75	1 228,90	1,61	1 239,61	1,73	1 417,97	1,59	1 417,98	1,80
27	50	1500	250	1 418,48	7,49	1 428,47	8,80	1 228,90	2,38	1 236,74	2,50	1 418,22	2,57	1 418,22	2,88

Algoritma işlem zamanlarında ise *PB*, *BI* ve *PB-BI* etkileşimi, algoritma süresini etkileyen ana faktörlerdir. Bu değerlerin en düşük seviyesinden en yüksek seviyesine doğru artışı algoritmanın işlem zamanlarında lineer bir etkiyle artışına sebep olmaktadır. *MI*'nin en düşük seviyesi ile en yüksek seviyesi arasındaki değişimi, algoritmanın işlem zamanları üzerinde çok fazla etkili olmamaktadır. Bu nedenle *BI* parametresi algoritmanın sonlandırılmasında *MI*'ya göre daha etkili olmaktadır.

Deneysel tasarım çalışması neticesinde *PB*, *MI* ve *BI* değerlerinin deney setlerinde en iyi sonucu veren deneyde olduğu gibi sırasıyla 30, 500 ve 250 olmasına karar verilmiştir. Büyük boyutlu problemlerde ise algoritmanın çözüm kalitesini arttırmak amacıyla *BI* değeri kısmen daha yüksek değerlerde belirlenebilir. Fakat bu değer en fazla *MI* kadar olabileceğinden, *BI*'nin yükseltilmesi durumunda *MI* değeri de, ortalama sonuçların iyileşmesi açısından çok etkili olmasa da, yükseltilmesi uygun olacaktır. *PB* değerinin ise yüksek seviyesinde, popülasyonda çeşitliliği arttırdığından ve büyük problemlerde işlem zamanlarını direkt etkileyeceğinden dolayı orta seviyede tutulmasına karar verilmiştir. Deneysel tasarım çalışmasının ardından *PB*, *MI* ve *BI* parametre değerleri sabit tutularak diğer parametrelerin testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu testlere ait sonuçlar Çizelge 5.15'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Tabloda her bir parametre için yapılan testlerde bulunan minimum sonuçlar koyu karakterlerle belirtilmiştir. Aynı şekilde, test sonucunda algoritmada kullanılması kararlaştırılan parametre değerleri de koyu karakterlerle gösterilmiştir. Sıcaklık parametresi için yapılan testlerde 1 000 ve 5 000 değerleri ile elde edilen sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte 500 ve 10 000 değerlerine göre bu değerler ile algoritmada daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Sıcaklık parametresinin belirlenmesinden ardından sırasıyla soğuma oranı için 0,95, elitizm oranı için 0,20, turnuva seçim oranı için 0,30, mutasyon oranı için 0,10 ve çaprazlama oranı için 0,50 değerlerinin yapılan testlerde en fazla iyi sonucu elde etmeleri nedeniyle algoritmada kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan bu analizler sonucunda ortaya çıkan bir diğer sonuç ise *EO* ve *CO* parametrelerinin algoritma işlem zamanlarına olan etkisidir. Elitizm oranının artması, popülasyonda çaprazlamaya girecek birey sayısını düşürdüğünden algoritma işlem zamanının da azalmasına neden olmaktadır. Çaprazlama oranının artması ise her bir bireyin çaprazlama girme olasılığını arttıracığından algoritma işlem zamanının da artmasına neden olmaktadır.

Çizelge 5.15. *T, c, TSO, MO* ve *CO* parametreleri için yapılan test sonuçları

Test Aşaması	Test Edilen Parametre	Parametre Değerleri	Bütünleşik Model		İki Aşamalı Model									
			En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		Aşama 1				Aşama 2			
			AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS
Aşama 1	Sıcaklık	500	1 418,31	5,07	1 428,39	5,43	1 228,90	1,73	1 238,81	1,84	1 418,14	1,61	1 418,14	1,82
		1 000	1 418,05	5,25	1 427,94	5,48	1 228,90	1,77	1 238,34	1,87	1 418,22	1,63	1 418,25	1,87
		5 000	1 418,14	4,83	1 428,81	5,34	1 228,90	1,66	1 240,13	1,84	1 418,05	1,57	1 418,06	1,78
		10 000	1 422,93	5,07	1 430,26	5,35	1 228,90	1,65	1 238,06	1,78	1 418,22	1,59	1 418,22	1,85
Aşama 2	Soğuma Oranı	0,75	1 418,22	5,20	1 429,63	5,39	1 228,90	1,74	1 241,03	1,90	1 418,22	1,60	1 418,24	1,84
		0,85	1 419,16	4,96	1 428,58	5,51	1 233,95	1,56	1 237,47	1,77	1 422,93	1,60	1 422,94	1,78
		0,95	1 422,09	5,13	1 431,33	5,68	1 228,90	1,61	1 235,95	1,81	1 418,05	1,59	1 418,06	1,89
Aşama 3	Elitizm Oranı	0,10	1 418,31	6,00	1 427,94	6,55	1 228,90	2,05	1 239,50	2,22	1 417,97	1,86	1 418,15	2,15
		0,20	1 418,39	6,81	1 429,74	7,03	1 228,90	2,17	1 239,19	2,31	1 417,97	2,14	1 417,97	2,40
		0,30	1 424,53	4,86	1 429,81	5,61	1 228,90	1,86	1 239,91	1,94	1 418,22	1,65	1 418,24	1,85
		0,40	1 419,07	4,90	1 428,71	5,22	1 233,95	1,65	1 240,60	1,77	1 422,93	1,51	1 422,96	1,77
		0,50	1 418,48	3,97	1 428,99	4,27	1 228,90	1,49	1 239,74	1,61	1 418,14	1,27	1 418,18	1,50
Aşama 4	Turnuva Seçim Oranı	0,10	1 418,73	6,78	1 428,99	7,09	1 228,90	2,22	1 237,60	2,38	1 418,22	2,14	1 418,23	2,44
		0,20	1 418,56	7,00	1 430,22	7,00	1 228,90	2,17	1 237,34	2,36	1 418,14	2,13	1 418,14	2,43
		0,30	1 418,56	6,78	1 428,35	7,46	1 228,90	2,32	1 239,16	2,45	1 417,97	2,12	1 417,97	2,41
		0,40	1 418,05	6,27	1 428,86	7,17	1 234,95	2,21	1 241,30	2,42	1 424,27	2,09	1 424,28	2,39
		0,50	1 418,22	6,19	1 428,51	6,89	1 228,90	2,15	1 239,38	2,31	1 417,97	2,09	1 417,99	2,35
Aşama 5	Mutasyon Oranı	0,05	1 417,97	6,01	1 428,36	6,80	1 233,95	2,07	1 241,72	2,23	1 422,93	2,05	1 422,94	2,37
		0,10	1 418,05	6,65	1 425,65	6,56	1 228,90	2,14	1 240,31	2,31	1 418,05	2,06	1 418,05	2,32
		0,15	1 421,41	7,15	1 428,36	7,16	1 228,90	2,19	1 237,52	2,35	1 418,22	2,09	1 418,22	2,34
		0,20	1 418,48	6,30	1 429,85	6,83	1 232,60	2,18	1 239,63	2,36	1 421,50	2,00	1 421,50	2,27
		0,25	1 417,97	7,19	1 427,50	7,22	1 228,90	2,31	1 239,49	2,48	1 417,97	2,06	1 417,97	2,32
Aşama 6	Çaprazlama Oranı	0,10	1 420,01	1,69	1 432,46	1,78	1 228,90	0,86	1 240,05	0,93	1 417,97	0,38	1 418,16	0,45
		0,30	1 418,22	3,69	1 428,63	3,93	1 228,90	1,77	1 238,73	1,87	1 418,22	0,97	1 418,24	1,13
		0,50	1 417,97	5,89	1 425,23	6,41	1 228,90	2,69	1 236,65	2,77	1 418,22	1,64	1 418,22	1,85
		0,70	1 417,97	7,59	1 428,91	8,05	1 228,90	3,21	1 238,30	3,39	1 418,14	2,14	1 418,14	2,38
		0,90	1 417,97	9,52	1 428,52	9,72	1 228,90	3,76	1 237,52	3,85	1 418,22	2,69	1 418,22	2,91

5.3. HGA-TB-SÇ'nin Büyük Boyutlu Problemler İçin Performans Analizi

Yapılan analizler sonucunda belirlenen parametre değerleri ile HGA-TB-SÇ'nin performansı büyük boyutlu ÇSÜAYP ve varyasyonları için test edilmiştir. Bu testlerde kullanılmak üzere ÇSÜAYP için 20 ve ÇSÜAYP'ye ait her bir varyasyon için 10 adet rassal problem oluşturulmuştur. Oluşturulan bu problemlerin büyüklüğü, problemlerin ilk geçtiği tabloda üretici noktalarından müşteri noktalarına taşınacak toplam ürün sayısı ve şebekede yer alan toplam lokasyon sayısı ile belirtilmiştir.

Büyük boyutlu ÇSÜAYP için yapılan analizler, şebekede filo yapısının homojen ve heterojen olmasına bağlı olarak iki varsayım ile gerçekleştirilmiştir. Toplam ürün sayısının 74 ile 184 arasında değiştiği problem seti için HGA-TB-SÇ ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.16'da homojen filo yapısına sahip şebekeler için ve Çizelge 5.17'de heterojen filoya sahip şebekeler için verilmiştir. Bu tablolarda elde edilen sonuçların karşılaştırması $\%Fark_1$ formülü ile yapılmıştır. Elde edilen bütünleşik model ve iki aşamalı model sonuçları karşılaştırıldığında, iki aşamalı model yaklaşımı ile elde edilen ortalama sonuçların bütünleşik model yaklaşımı ile elde edilen ortalama sonuçlara göre homojen filoya sahip şebeke için %10,04 ve heterojen filoya sahip şebeke için %9,56 yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca sonuçlar problem bazında karşılaştırıldığında bu farkın bazı problemler için %20'nin üzerine çıktığı tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar filo yapısı açısından incelendiğinde ise heterojen filoya sahip şebeke yapısı için elde edilen sonuçların homojen filoya sahip şebeke yapısı için elde edilen sonuçlara göre hem toplam maliyet açısından hem de kullanılan araç sayısı (KAS) açısından daha iyi olduğu görülmektedir. Homojen filo ile bütünleşik model için elde edilen ortalama sonuç 7 984,22 iken heterojen filo ile ortalama maliyet 7 301,12'ye düşmüştür. İki aşamalı modelde ise ortalama maliyet heterojen filo yapısı ile 8 734,83'den 7 916,10'a düşmüştür. Kullanılan araç sayılarında ise bütünleşik model için ortalama beş araç ve iki aşamalı model için ortalama iki araç civarında tasarruf sağlanmıştır.

Çizelge 5.16. Büyük boyutlu ÇSÜAYP için homojen filo ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Ürün Sayısı	Lokasyon Sayısı	Bütünleşik Model					İki Aşamalı Model (Aşama 1 + Aşama 2)						
			En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			
			AFD	KAS	TS	AFD	TS	AFD	%Fark ₁	KAS	TS	AFD	%Fark ₁	TS
5/2/8/6/3	135	15	4 240,00	21	156,08	4 257,00	158,29	4 291,20	1,21	24,00	155,11	4 568,64	7,32	144,71
5/3/8/4/3	86	16	3 284,80	18	85,61	3 285,82	84,09	3 291,60	0,21	20,00	62,41	3 343,90	1,77	70,30
5/3/10/5/1	131	18	4 224,00	20	151,15	4 231,14	151,65	4 628,00	9,56	30,00	135,94	4 967,42	17,40	132,65
6/2/11/5/1	168	19	5 122,00	23	191,60	5 137,18	196,58	5 415,00	5,72	24,00	146,92	5 622,40	9,45	186,92
6/3/15/4/3	184	24	7 198,00	36	350,92	7 217,64	272,79	7 623,00	5,90	42,00	229,49	8 036,90	11,35	321,37
6/3/28/1/3	74	37	7 645,00	41	183,47	7 650,54	184,10	7 743,00	1,28	46,00	171,96	7 917,18	3,49	167,82
6/4/8/5/1	130	18	3 979,00	20	169,70	3 989,50	175,61	3 642,00	-8,47	27,00	130,44	4 862,80	21,89	153,47
7/3/12/4/3	171	22	5 808,20	29	299,33	5 830,52	286,32	6 070,00	4,51	41,00	299,38	6 736,04	15,53	300,17
7/3/27/1/6	84	37	8 432,00	46	1 256,26	8 439,76	1 531,43	8 646,60	2,55	52,00	373,13	10 687,56	26,63	352,46
7/4/17/2/6	123	28	7 368,00	41	392,93	7 389,90	409,17	7 289,00	-1,07	54,00	372,85	7 774,66	5,21	365,95
7/4/23/1/3	74	34	6 901,20	41	268,10	6 909,12	252,55	6 791,00	-1,60	49,00	252,49	7 391,88	6,99	232,74
8/3/15/2/6	123	26	7 383,00	45	330,87	7 409,94	289,13	7 272,00	-1,50	54,00	308,49	7 897,96	6,59	294,76
8/3/25/1/6	92	36	8 443,20	48	513,64	8 453,30	433,61	8 765,20	3,81	52,00	346,06	9 112,56	7,80	351,97
8/5/36/1/1	131	49	11 926,20	68	1 203,56	11 932,08	1 037,84	11 965,20	0,33	82,00	851,61	12 705,42	6,48	864,91
9/5/20/1/6	81	34	8 510,00	47	360,97	8 527,04	343,24	9 567,00	12,42	61,00	321,20	10 107,34	18,53	335,04
9/6/24/1/3	100	39	11 924,40	66	477,77	11 949,76	413,02	12 276,20	2,95	68,00	441,52	12 841,40	7,46	365,75
10/4/28/1/3	128	42	10 447,40	59	738,82	10 459,48	733,98	10 831,00	3,67	75,00	610,36	11 092,68	6,05	603,55
10/5/15/2/6	145	30	9 645,40	53	793,69	9 655,34	803,42	9 549,00	-1,00	69,00	788,33	10 574,84	9,52	789,16
10/5/30/1/1	137	45	14 321,00	78	983,32	14 340,94	957,94	13 790,20	-3,71	84,00	879,28	14 868,08	3,68	852,96
11/6/26/1/6	129	43	12 611,20	72	1 150,19	12 618,48	1 244,70	13 063,20	3,58	92,00	1 029,31	13 586,94	7,67	1 031,23
Ortalama	120,58	30,60	7 970,70	44,79	502,90	7 984,22	497,97	8 125,47	2,02	52,30	395,31	8 734,83	10,04	395,89

Çizelge 5.17. Büyük boyutlu ÇSÜAYP için heterojen filo ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model					İki Aşamalı Model (Aşama 1 + Aşama 2)						
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç				Ortalama Sonuç		
	AFD	KAS	TS	AFD	TS	AFD	%Fark ₁	KAS	TS	AFD	%Fark ₁	TS
5/2/8/6/3	3 851,00	19,00	163,59	3 862,50	157,00	3 994,04	3,71	22,00	162,37	4 226,60	9,43	157,32
5/3/8/4/3	2 964,90	18,00	85,85	2 967,45	85,03	2 985,67	0,70	21,00	72,26	3 105,34	4,65	81,23
5/3/10/5/1	3 819,00	20,00	160,53	3 828,80	158,55	3 863,69	1,17	23,00	136,02	4 421,07	15,47	147,11
6/2/11/5/1	4 810,00	23,00	222,28	4 823,30	215,83	4 917,10	2,23	24,00	208,80	5 072,85	5,17	220,84
6/3/15/4/3	6 846,00	27,00	352,41	6 863,60	357,24	6 819,73	-0,38	39,00	304,79	7 240,43	5,49	345,41
6/3/28/1/3	6 781,00	42,00	196,75	6 787,82	185,03	7 090,41	4,56	47,00	178,92	7 305,00	7,62	179,30
6/4/8/5/1	3 382,00	14,00	184,25	3 388,70	192,90	3 422,30	1,19	26,00	157,95	4 561,59	34,61	187,77
7/3/12/4/3	5 611,00	26,00	310,64	5 635,60	298,81	5 402,54	-3,72	34,00	279,69	6 037,96	7,14	297,09
7/3/27/1/6	7 562,00	44,00	1 096,70	7 580,62	1 251,44	7 653,99	1,22	50,00	408,83	7 987,67	5,37	401,45
7/4/17/2/6	6 589,00	31,00	407,77	6 610,32	423,65	6 693,69	1,59	51,00	400,64	7 464,89	12,93	394,49
7/4/23/1/3	6 126,00	39,00	270,69	6 135,46	268,19	6 642,76	8,44	53,00	226,87	7 014,63	14,33	229,03
8/3/15/2/6	6 898,20	31,00	314,93	6 910,48	321,26	6 815,31	-1,20	49,00	320,67	7 318,09	5,90	314,24
8/3/25/1/6	7 846,00	47,00	492,07	7 865,38	470,08	7 952,32	1,36	52,00	303,06	8 307,39	5,62	345,77
8/5/36/1/1	10 990,20	67,00	1 183,22	11 001,18	1 155,72	10 818,49	-1,56	81,00	861,67	11 510,52	4,63	882,33
9/5/20/1/6	7 638,00	44,00	300,10	7 646,18	375,00	8 604,41	12,65	60,00	331,35	9 021,30	17,98	321,80
9/6/24/1/3	10 606,00	68,00	502,82	10 618,80	442,42	10 837,39	2,18	68,00	332,39	11 388,00	7,24	401,46
10/4/28/1/3	9 384,20	58,00	783,62	9 401,62	777,84	9 630,46	2,62	74,00	602,82	10 278,85	9,33	610,77
10/5/15/2/6	9 113,00	42,00	811,84	9 131,04	865,77	9 388,95	3,03	63,00	722,61	9 818,34	7,53	755,10
10/5/30/1/1	13 617,00	73,00	1 005,53	13 628,50	932,09	13 190,21	-3,13	84,00	868,62	14 015,42	2,84	762,44
11/6/26/1/6	11 314,20	60,00	1 384,79	11 335,02	1 309,30	11 737,33	3,74	92,00	1 057,83	12 226,05	7,86	1 095,44
Ortalama	7 287,44	39,65	511,52	7 301,12	512,16	7 423,04	2,02	50,65	396,91	7 916,10	9,56	406,52

Büyük boyutlu ÇSÜAYP için elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde üç temel sonuç ortaya çıkmaktadır. Birincisi; kesin çözüm veren yöntemlerin büyük boyutlu ÇSÜAYP'nin çözümünde yetersiz kaldığı tespit edilmişken, geliştirilen HGA-TB-SÇ ile ortalama ~10 dakikalık işlem süresi ile bir çözüme ulaşılmaktadır. Algoritma ile elde edilen çözümlerin kalitesi ise sadece küçük boyutlu problemlerde optimum sonuçlar ile kıyaslanarak gösterilebilmiş, büyük boyutlu problemlerde ise ancak modelleme yaklaşımlarının farkları ortaya konulmuştur. İkinci ve bu analizlerden elde edilen en önemli sonuç; küçük boyutlu problemlerde bütünleşik model ve iki aşamalı model yaklaşımları ile elde edilen sonuçlar birbirine çok yakınken, büyük boyutlu problemlerde iki aşamalı model yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar bütünleşik modele göre ortalama %~10 daha fazladır. Üstelik HGA-TB-SÇ'ye ait işlem zamanları incelendiğinde, bütünleşik ve iki aşamalı model yaklaşımı için yaklaşık aynı sürelerde sonuca ulaşıldığı görülmektedir. Bu sonuçlar ile ÇSÜAYP'nin çözümü için bütünleşik model yaklaşımının iki aşamalı model yaklaşımına göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Üçüncü ve son sonuç, heterojen filoya sahip bir şebekede taşımalarda kullanılacak araçların uygun bir şekilde seçimi ile homojen bir filoya göre toplam taşıma maliyetlerinde dikkate değer tasarruflar sağlanmaktadır.

5.3.1. ÇSÜAYP-KKD için elde edilen sonuçlar

ÇSÜAYP-KKD ilk olarak küçük boyutlu problemler üzerinde analiz edilmiştir. Bu analizler için Çizelge 5.7'de verilen problem setleri, kapıların rassal bir düzenle belirlenmesiyle ÇSÜAYP-KKD'ye göre adapte edilmiştir. HGA-TB-SÇ ile ÇSÜAYP ve ÇSÜAYP-KKD için elde edilen bütünleşik model sonuçları Çizelge 5.18'de yer almaktadır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması tabloda, Eşitlik 5.4'te belirtilen $\%Fark_3$ ile gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, ÇSÜAYP-KKD ile daha etkin bir araç-kapı atama planı oluşturularak ÇSÜAYP'ye kıyasla en iyi sonuçlarda %6,87 ve ortalama sonuçlarda %7,46 tasarruf sağlanmıştır. Karışık kapı düzeni stratejisi ile bazı problemler için %10'un üzerinde olmak üzere her bir problem için toplam maliyetlerde bir iyileşme sağlanmıştır.

$$\%Fark_3 = \frac{AFD_{\text{ÇSÜAYP-KKD}} - AFD_{\text{ÇSÜAYP}}}{AFD_{\text{ÇSÜAYP}}} \times 100\% \quad (5.4)$$

Çizelge 5.18. Küçük boyutlu ÇSÜAYP-KKD için elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	ÇSÜAYP Sonuçları				ÇSÜAYP-KKD Sonuçları					
	En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç		
	AFD	TS	AFD	TS	AFD	%Fark ₃	TS	AFD	%Fark ₃	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,72	965,20	0,58	914,10	-5,29	0,99	914,27	-5,28	1,29
2/1/3/4/3	930,90	0,45	930,90	0,53	865,60	-7,01	0,88	865,60	-7,01	1,05
2/1/3/5/3	977,70	1,34	977,70	1,69	882,50	-9,74	2,24	882,84	-9,70	2,33
2/1/4/3/1	1 250,30	0,34	1 250,30	0,42	1 188,80	-4,92	0,85	1 189,20	-4,89	0,99
2/1/4/4/3	1 276,00	0,59	1 276,00	0,83	1 196,90	-6,20	1,35	1 198,24	-6,09	1,75
2/1/4/5/3	1 330,80	1,98	1 330,80	2,71	1 221,80	-8,19	3,50	1 222,50	-8,14	4,47
2/1/5/3/1	1 460,90	0,75	1 460,90	0,78	1 387,30	-5,04	2,04	1 387,88	-5,00	2,09
2/2/3/3/6	1 208,80	0,78	1 208,80	0,79	1 152,40	-4,67	1,49	1 152,88	-4,63	1,79
2/2/3/4/6	1 224,80	0,84	1 224,80	1,17	1 157,80	-5,47	1,94	1 157,80	-5,47	2,60
2/2/3/5/3	1 268,20	1,88	1 268,20	1,75	1 171,30	-7,64	2,41	1 171,74	-7,61	3,39
2/2/4/3/6	1 366,50	0,75	1 366,50	1,08	1 297,80	-5,03	1,98	1 298,90	-4,95	2,57
2/2/4/4/6	1 393,90	1,12	1 435,90	1,56	1 305,90	-6,31	3,29	1 306,32	-9,02	3,72
2/2/5/4/6	1 463,70	6,04	1 541,86	5,93	1 365,00	-6,74	8,79	1 365,53	-11,44	8,50
4/1/3/4/3	1 500,60	2,00	1 500,60	2,56	1 394,10	-7,10	4,16	1 396,07	-6,97	4,46
4/1/4/4/1	1 653,70	7,42	1 653,70	6,74	1 517,50	-8,24	9,31	1 518,36	-8,18	10,02
4/2/3/3/6	1 651,10	2,89	1 744,08	3,19	1 560,10	-5,51	4,51	1 561,83	-10,45	4,68
4/1/5/3/1	1 796,20	3,04	1 797,22	3,27	1 651,00	-8,08	5,60	1 654,29	-7,95	7,22
4/2/4/5/3	1 940,00	27,63	1 947,99	18,57	1 745,00	-10,05	30,92	1 749,76	-10,18	30,95
4/1/3/5/1	1 574,80	4,70	1 574,80	5,10	1 431,40	-9,11	8,93	1 432,23	-9,05	10,19
4/2/5/3/1	2 128,60	8,83	2 131,32	5,98	1 977,00	-7,12	9,07	1 979,96	-7,10	9,89
Ortalama	1 418,14	3,70	1 429,38	3,26	1 319,17	-6,87	5,21	1 320,31	-7,46	5,70

Rassal olarak oluşturulmuş 10 adet büyük boyutlu ÇSÜAYP-KKD için HGA-TB-SÇ ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.19’da verilmiştir. Ortalama ürün sayısının 96,60 ve ortalama lokasyon sayısının 17,70 olduğu örnekler için ÇSÜAYP-KKD sonuçları ÇSÜAYP sonuçları ile kıyaslandığında elde edilen tasarruf oranı en iyi sonuçlarda %11,37 ve ortalama sonuçlarda %10,74’tür. Küçük boyutlu problemlerde olduğu gibi büyük boyutlu problemlerde ortaya çıkan tasarruf oranları, karışık kapı düzenine sahip bir ÇSM ile iyi bir araç-kapı atama planı oluşturularak alan içi taşımalarından kaynaklanan maliyetlerin düşürüleceğini göstermiştir.

Karışık kapı düzenine sahip bir araç-kapı atama stratejisinin algoritma işlem zamanlarına olan etkisi ise tablolarda yer alan işlem zamanları ile gösterilmiştir. Araç-kapı atama işlemini daha da karmaşık hale getiren bu stratejinin işlem zamanlarına çok fazla etkisi olmamakla birlikte genel olarak bir artışa neden olduğu hem küçük ölçekli hem de büyük ölçekli problemlere ait sonuç tablolarından görülmektedir.

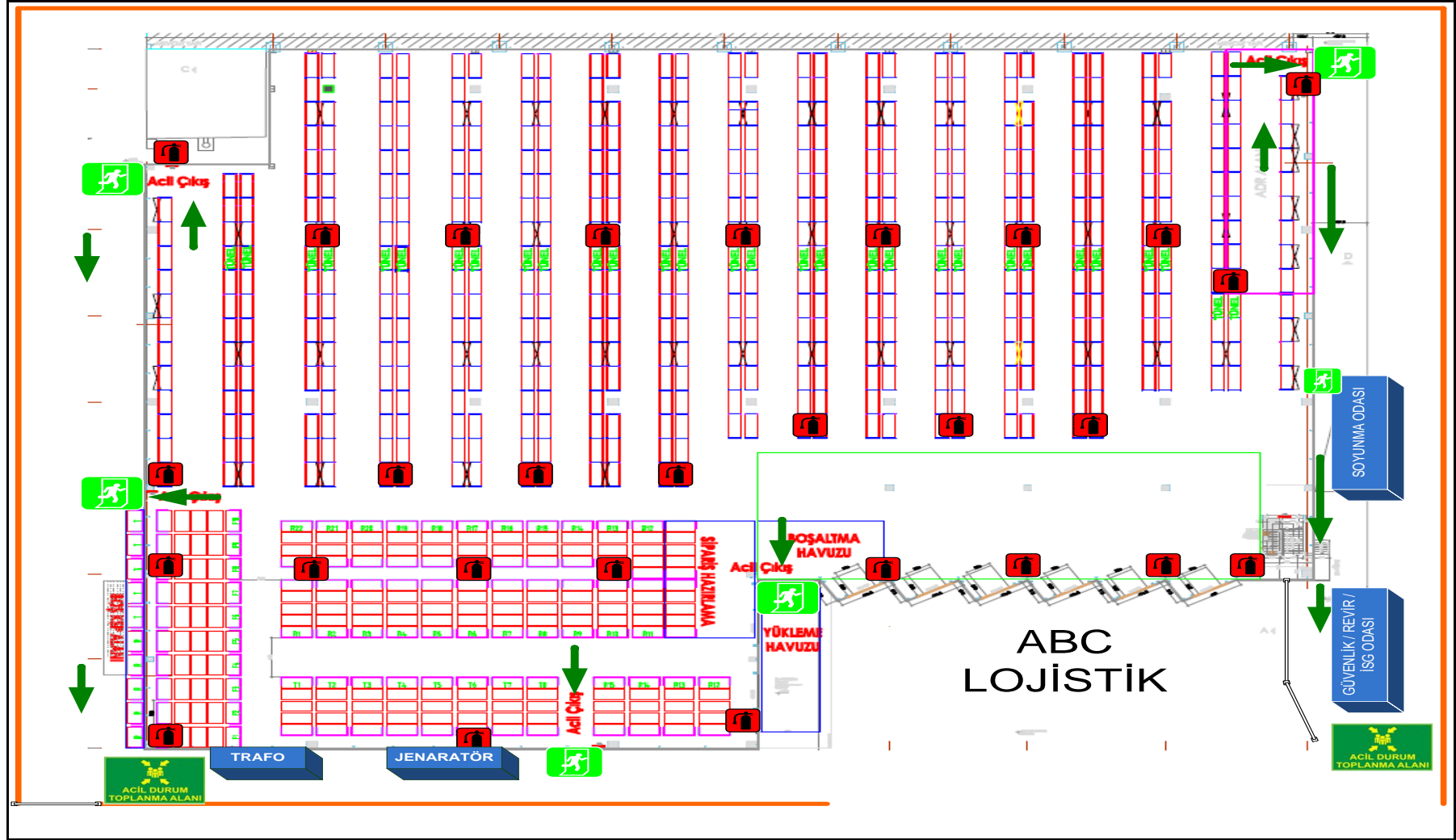
Çizelge 5.19. Büyük boyutlu ÇSÜAYP-KKD için elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Ürün Sayısı	Lokasyon Sayısı	ÇSÜAYP Sonuçları				ÇSÜAYP-KKD Sonuçları					
			En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç		
			AFD	TS	AFD	TS	AFD	%Fark ₃	TS	AFD	%Fark ₃	TS
3/2/14/4/3	90	19	3 962,00	102,46	3 967,20	102,33	3 462,80	-12,60	114,79	3 496,86	-11,86	117,65
4/1/9/6/3	121	14	4 058,00	110,80	4 066,32	110,35	3 573,20	-11,95	145,47	3 594,74	-11,60	140,88
4/2/8/5/1	86	14	3 279,00	55,92	3 287,50	61,03	2 783,80	-15,10	58,60	2 805,04	-14,68	57,37
4/3/12/5/3	130	19	4 531,00	155,00	4 536,30	149,40	3 820,40	-15,68	182,16	3 886,72	-14,32	173,84
5/1/10/3/1	78	16	3 390,00	49,98	3 394,00	47,56	3 045,60	-10,16	44,28	3 059,06	-9,87	52,26
5/3/11/4/6	111	19	4 892,00	154,68	4 899,10	156,59	4 328,40	-11,52	187,38	4 398,40	-10,22	180,63
6/1/7/3/1	71	14	2 699,00	40,47	2 700,84	38,95	2 400,40	-11,06	46,89	2 411,36	-10,72	43,71
6/1/10/2/6	65	17	3 456,00	51,55	3 462,22	49,28	3 188,80	-7,73	67,29	3 200,82	-7,55	66,63
6/2/13/3/3	118	21	5 026,00	126,75	5 035,52	128,13	4 528,00	-9,91	152,21	4 551,06	-9,62	153,25
6/3/15/2/6	96	24	5 373,00	159,38	5 383,70	161,05	4 942,80	-8,01	178,38	5 010,38	-6,93	176,94
Ortalama	96,60	17,70	4 066,60	100,70	4 073,27	100,47	3 607,42	-11,37	117,74	3 641,44	-10,74	116,32

5.3.2. ÇSÜAYP-ÜRA için elde edilen sonuçlar

ÇSÜAYP-ÜRA için yapılan uygulamalar, ABC lojistik işletmesinin Bursa'da faaliyet gösteren bir deposuna ait bilgiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çoğunlukla otomotiv endüstrisine ait ürünlerin saklandığı bu depo yaklaşık 7 500 m² kapalı alan içerisinde 5 500 m² genişliğinde bir raf sistemine sahiptir. Geri kalan alanlar ise ofis ve diğer işlemlerin yapıldığı yerleşimleri içermektedir. 32 adet sıra halinde lokasyondan oluşan yerleşimde dolaşım, 16 koridor ve koridorların orta noktalarında bulunan geçiş tünelleri ile sağlanmaktadır. Her lokasyon, 24 ile 36 arasında raftan ve her raf 5 ile 7 arasında kata sahip hücrelerden meydana gelmektedir. Tünellerin bulunduğu raflarda ise ilk 2 veya 3 hücre iptal edilmiş durumdadır. Her hücrenin genişliği standart 2,70 metre olup bu hücreler bulunduğu kata göre bir ağırlık kapasitesine sahiptir. Depoya ait yerleşim planı Şekil 5.10'da ve ürünlerin depolandığı raf düzeni Şekil 5.11'de taslak olarak verilmiştir. Şekil 5.11'de lokasyon bilgileri, lokasyonlara ait raf sayıları ve raflarda bulunan hücre sayıları detaylı olarak verilmiştir. İşletmede kullanılan hücre etiketleri ise lokasyon ismi, raf numarası ve hücre numarası bilgilerinin birleşimi ile oluşturulmuştur. Örneğin; A1 lokasyonunda bulunan beşinci rafın ikinci hücresine ait tanımlanan etiket "A1-05-02" şeklindedir.

Karışık düzene sahip altı kapının bulunduğu tesiste depolanacak ürünler paletler halinde toplama araçlarından boşaltıldıktan sonra operatörlerin belirledikleri raflara yerleştirilmektedir. Barkotlama işlemi ile ürün yerleşimlerinin belirlendiği sistemde gelen siparişler doğrultusunda ürünler toplanmakta ve dağıtım yapacak araçlara yüklenmektedir. Alan içindeki tüm taşımalar ise elektrikli forkliftler ile yapılmaktadır. İşletmenin taşımalar açısından dikkate aldığı performans kriteri ise ürünlerin hücrelere atanması veya siparişlerin toplanması için harcanan işlem süresidir. Bu süre, uzaklıkla doğru orantılı olmakla beraber, paletlerin hücrelere yerleştirilmesi için dikeyde yapılan hareketler lokasyonlar arasında yapılan dolanım hareketlerine göre daha yavaş gerçekleşmektedir. Bu nedenle bir birim uzaklık için dikeyde yapılan hareketin maliyeti, lokasyonlar arasında dolaşım maliyetine göre daha yüksektir.



Şekil 5.10. Uygulama yapılan depo alanına ait yerleşim planı

		LOKASYONLAR - HÜCRE SAYILARI																																	
RAFNO	A1-5	A2-5	B1-5	B2-5	C1-5	C2-5	D1-5	D2-5	E1-5	E2-5	F1-5	F2-6	G1-6	G2-6	H1-6	H2-7	I1-7	I2-7	J1-7	J2-7	K1-7	K2-7	L1-7	L2-7	M1-7	M2-7	N1-7	N2-7	O1-7	O2-7	P1-7	P2-7			
36																																			
35																																			
34																																			
33				KOLON					KOLON				KOLON				KOLON				KOLON				KOLON					KOLON					
32																																			
31																																			
30																																			
29																																			
28																																			
27																																			
26																																			
25																																			
24																																			
23																																			
22																																			
21				KOLON					KOLON				KOLON				KOLON				KOLON				KOLON					KOLON					
20																																			
19																																			
18																																			
17																																			
16																																			
15																																			
14																																			
13																																			
12																																			
11																																			
10																																			
9																																			
8				KOLON					KOLON				KOLON				KOLON				KOLON				KOLON										
7																																			
6																																			
5																																			
4																																			
3																																			
2																																			
1																																			

Raf Bulunmayan Alan

Tünel Geçen Alan

Şekil 5.11. Uygulama yapılan depo alanına ait raf yerleşim düzeni

İşletmede depolanan ürünler üç farklı ürün grubu olarak ayrıştırılmaktadır. Birinci grubu, patlayıcı ve parlayıcı özelliğe sahip ürünler oluşturmaktadır. İkinci grubu, otomotiv endüstrisinde kullanılan motor yağı ve şanzıman yağı, fren hidrolik sıvısı, antifriz ve soğutma suyu gibi ürünler oluşturmaktadır. Üçüncü grubu ise otomotiv endüstrisi ve diğer endüstrilerde kullanılan diğer ürünler oluşturmaktadır. İşletme, raf yerleşim planında yer alan O1-P2 lokasyonlarını birinci grup ürünler için, H2-N2 lokasyonlarını ikinci grup ürünler için ve A1-H1 lokasyonlarını üçüncü grup ürünler için kullanmaktadır. İşletme, yapmış olduğu ABC analizi sonucunda lokasyonlara ait ön sırada bulunan rafları C grubu ürünleri için, orta kısımlarda bulunan rafları B grubu ürünler için ve son sırada kalan rafları A sınıfı ürünler için kullanmaktadır. Depo alanında ürünler Avrupa (EUR palet) ve Amerika (US palet) standartlarına göre iki farklı palet tipi ile taşınmaktadır. Bu iki tip palet standardına göre bir hücreye atanabilecek palet kombinasyonları; {EUR}, {EUR, EUR}, {EUR, EUR, EUR}, {US}, {US, US} ve {EUR, US} şeklindedir. Raflara ait hücrelerin ağırlık kapasiteleri ise; ilk dört hücre katı için 3 000 kilogram ve dördten sonraki hücre katları için 2 500 kilogramdır.

Lojistik işletmesinin yukarıda tanımlanan bu alanı depo olarak çalıştırma stratejisinden dolayı bu sistemin tamamını, tez çalışması kapsamında tanımlanan ÇSÜAYP-ÜRA olarak dikkate almak mümkün değildir. Fakat, ÇSÜAYP-ÜRA'nın uygulanabilirliğini ve geliştirilen algoritmanın daha gerçekçi veriler ile performansını test edebilmek amacıyla yukarıda tanımlanan bilgiler ile örnek problemler oluşturulmuştur. Örnek problemlerde tanımlanan deponun bir ÇSM olduğu ve şebekede benzer şekilde birden fazla merkezin bulunduğu varsayımı ile 10 farklı problem tanımlanmıştır. Tanımlanan her bir problemde ÇSM alanlarının başlangıçta %30, %50 ve %70 doluluk oranına sahip olduğu düşünülerek üç farklı durum göz önüne alınmıştır. Bu başlangıç koşullarına göre rassal olarak raflara ait her bir hücre tam dolu, yarı dolu veya boş olarak tanımlanmıştır. Yarı dolu olan raf gözlerine ise rassal olarak EUR palet veya US palet atanmıştır. Problemde bir diğer başlangıç koşulu olarak, ÇSM alanlarında bütün kapıların müsait olduğu varsayılmıştır. Çizelge 5.20'de örnek problemlerin oluşturulması için dikkate alınan varsayım ve değer aralıkları özetlenmiştir.

Çizelge 5.20. Uygulama için dikkate alınan varsayım ve değer aralıkları

Açıklama	Tanımı	Değerler
Ürün Grubu	$\frac{\text{Olasılık Değeri}}{\text{Ürün Grubu}}$	$\left\{ \frac{0,1}{\text{Ürün Grubu 1}}, \frac{0,4}{\text{Ürün Grubu 2}}, \frac{0,5}{\text{Ürün Grubu 3}} \right\}$
Ürün Sınıfı (ABC)	$\frac{\text{Olasılık Değeri}}{\text{Ürün Sınıfı}}$	$\left\{ \frac{0,2}{\text{Ürün Sınıfı A}}, \frac{0,35}{\text{Ürün Sınıfı B}}, \frac{0,45}{\text{Ürün Sınıfı C}} \right\}$
Palet Tipi	$\frac{\text{Olasılık Değeri}}{\text{Palet Tipi}}$	$\left\{ \frac{0,5}{\text{EUR Palet}}, \frac{0,5}{\text{US Palet}} \right\}$
Palet Ağırlığı	<i>kg</i>	Düzdün Dağıım (800-1200)
ÇSM doluluk oranı	<i>Doluluk Oranı</i>	{%30,%50,%70}

HGA-TB-SÇ'nin ÇSÜAYP-ÜRA'ya uygulanabilmesi için alan içi taşıma işlemlerinde her bir ÇSM'de yer alan 5 936 adet olası hücrenin dikkate alınması gerekmektedir. Araçlardan boşaltılan her bir ürün için taşıma maliyetini en aza indirecek hücrenin her seferinde hesaplanması, algoritma işlem zamanları açısından olumsuz bir etki yaratacaktır. Ortaya çıkan bu durumun etkisini en aza indirebilmek amacıyla HGA-TB-SÇ'nin uygunluk fonksiyonu hesaplamalarında kullanılabilir kural tabanlı bir sistem kullanılmıştır. Kural tabanlı sistem ile ürünlerin ÇSM alanlarında atanabileceği hücre sayıları, atanabilecekleri uygun olası hücre sayılarına düşürülerek arama işlemi kısıtlanmaktadır. Geliştirilen bu sisteme ait kurallar ve çıkarımları Çizelge 5.21'de yer almaktadır. Algoritmada bir ürünün uygun bir raf gözüne atanabilmesi için ürüne ait grup bilgisi, ürün sınıfı, palet tipi ve palet ağırlığı sorgulanarak arama uzayı küçültülmektedir. Tanımlanan kurallar içinde sadece ürün grubu ve ürün sınıfına ait kuralların dikkate alınması ile birlikte 5 936 olan olası hücre sayısı, en kötü durumda bile (Ürün Grubu: 3 ve Ürün Sınıfı: A) olası uygun hücre sayısı %77,5 oranında azalmaktadır. En iyi durumda ise bu oran %98'e kadar çıkmaktadır. Dikkate alınan diğer kurallar ile birlikte arama uzayı daha da daralmakta ve dolayısıyla algoritma işlem zamanları kısalmaktadır. Kural tabanlı sistemin işlem zamanlarına etkisini analiz edebilmek amacıyla, yapılan sayısal uygulamalarda her bir problem için HGA-TB-SÇ ve kural tabanlı HGA-TB-SÇ ayrı ayrı çalıştırılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. HGA-TB-SÇ'nin temel yapısına ait ürün-raf atama işleminde, ÇSM alanlarında yer alan bütün hücreler dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmıştır.

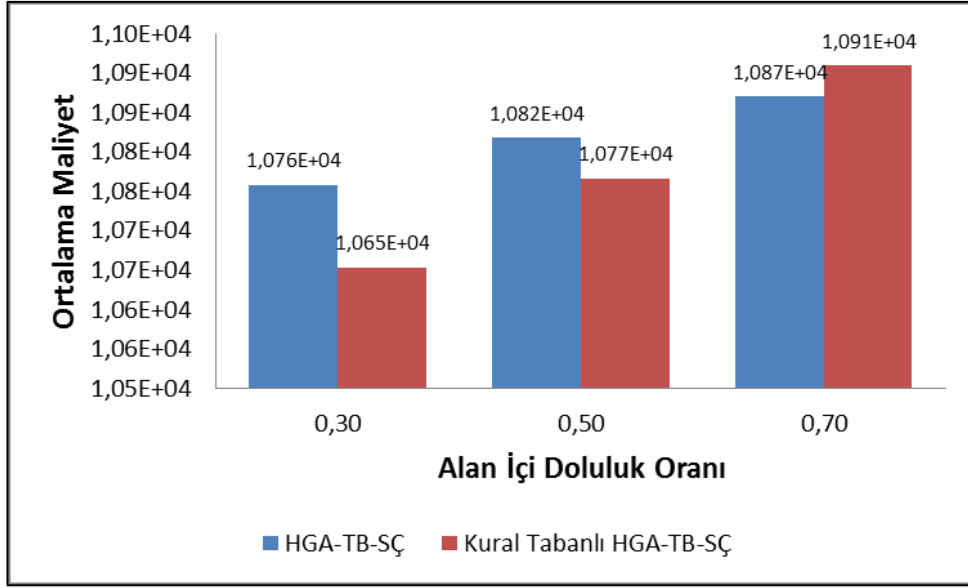
Çizelge 5.21. Ürünlerin raflara atanması için oluşturulan kurallar

Kural No	Sorgu
Kural 1	Eğer Ürün Grubu = 1 O Halde Ürünün yerleştirilebileceği lokasyonlar = O1-P2
Kural 2	Eğer Ürün Grubu = 2 O Halde Ürünün yerleştirilebileceği lokasyonlar = H2-N2
Kural 3	Eğer Ürün Grubu = 3 O Halde Ürünün yerleştirilebileceği lokasyonlar = A1-H1
Kural 4	Eğer Ürün Sınıfı = A O Halde Ürünün yerleştirilebileceği raflar = Arka kısımlar
Kural 5	Eğer Ürün Sınıfı = B O Halde Ürünün yerleştirilebileceği raflar = Orta kısımlar
Kural 6	Eğer Ürün Sınıfı = C O Halde Ürünün yerleştirilebileceği raflar = Ön kısımlar
Kural 7	Eğer Palet Standardı = EUR Palet O Halde Paletin sığacağı olası raf hücreler = \emptyset , {EUR}, {EUR, EUR}, {US}
Kural 8	Eğer Palet Standardı = US Palet O Halde Paletin sığacağı olası raf hücreler = \emptyset , {EUR}, {US}
Kural 9	Eğer Hücrenin Bulunduğu Kat \leq 4 O Halde Hücrenin toplam ağırlığı \leq 3 000 kg
Kural 10	Eğer Hücrenin Bulunduğu Kat \geq 5 O Halde Hücrenin toplam ağırlığı \leq 2 500 kg

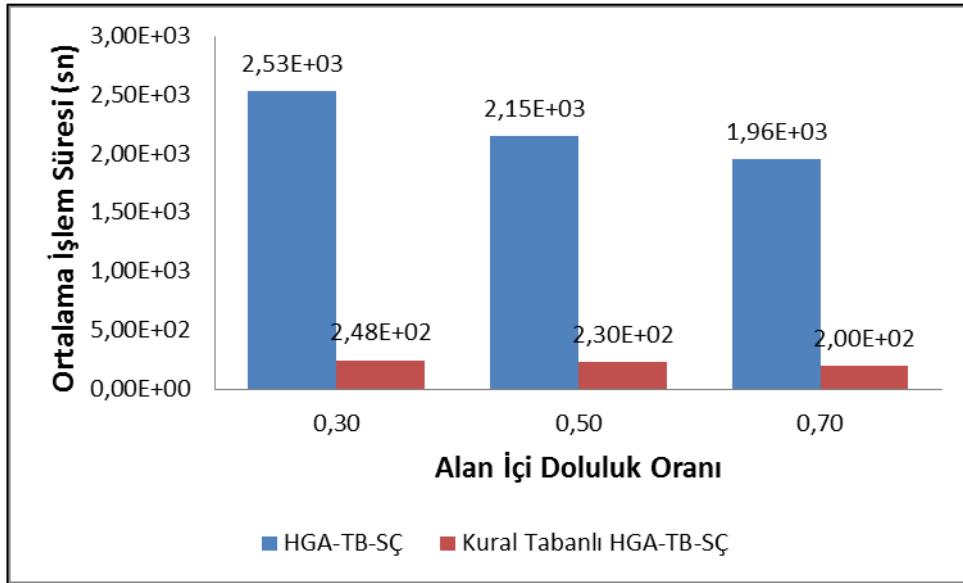
HGA-TB-SÇ ve kural tabanlı HGA-TB-SÇ ile ÇSÜAYP-ÜRA'ya ait elde edilen ayrıntılı sonuçlar EK 4'te (Çizelge Ek 4.1'de %30 alan içi doluluk oranı için, Çizelge Ek 4.2'de %50 alan içi doluluk oranı için ve Çizelge Ek 4.3'te %70 alan için doluluk oranı için) verilmiştir. Oluşturulan problemler tablolarda $S/C/D/PR_{max}/PR_{div}$ parametreleri ile tanımlanmıştır. HGA-TB-SÇ ve kural tabanlı HGA-TB-SÇ ile 10 problem için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.22'de özetlenmiştir. Ayrıca her iki algoritma için ortalama değerlere ait maliyet ve işlem zamanları sırasıyla Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te grafiksel olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 5.22. ÇSÜAYP-ÜRA için elde edilen genel sonuçlar

Alan İçi Doluluk Oranı	HGA-TB-SÇ				Kural Tabanlı HGA-TB-SÇ			
	En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç	
	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS
0,30	10 503,74	2 588,15	10 757,43	2 533,81	10 429,59	249,26	10 653,25	247,92
0,50	10 648,32	2 169,72	10 816,97	2 146,66	10 577,05	229,84	10 766,07	230,15
0,70	10 737,81	1 971,52	10 870,16	1 956,62	10 662,62	199,24	10 908,60	200,30



Şekil 5.12. ÇSÜAYP-ÜRA için elde edilen ortalama maliyetler



Şekil 5.13. ÇSÜAYP-ÜRA için elde edilen ortalama işlem zamanları

Algoritmalar ile elde edilen değerler ve grafikler incelendiğinde ÇSÜAYP-ÜRA için algoritmaların işlem zamanları ve maliyetler açısından iki temel sonuç çıkmaktadır. Birincisi; kural tabanlı HGA-TB-SÇ, ÇSÜAYP için geliştirilen HGA-TB-SÇ'ye göre çok daha kısa işlem süreleri ile sonuca ulaşmaktadır. EK 4'te verilen tablolarda işlem süreleri incelendiğinde HGA-TB-SÇ ile elde edilen sonuçların işlem süreleri 22-55 dakika arasında değişirken, kural tabanlı HGA-TB-SÇ ile elde edilen sonuçlara ait bu

aralık 2-6 dakikadır. Özet tabloda yer alan ortalama sonuçlar da incelendiğinde kural tabanlı algoritmanın HGA-TB-SÇ'ye göre işlem zamanlarını yaklaşık %90 oranında kısalttığı görülmektedir. İşlem zamanları açısından çıkartılabilecek diğer bir sonuç ise, alan içi doluluk oranları arttıkça algoritma işlem sürelerinin kısalmasıdır. Bunun nedeni ise alan içi doluluk oranı arttıkça algoritmanın bir ürünü ÇSM alanında yerleştirilmesi için arayacağı boş hücre sayısının azalmasıdır. Tablolardan ve grafiklerden elde edilen ikinci temel sonuç ise alan içi doluluk oranının toplam maliyetlere olan etkisidir. Alan içi doluluk oranı arttıkça ÇSM alanında alternatif boş hücrelerin sayısı azalmakta ve dolayısıyla toplam taşıma maliyetleri artmaktadır. Maliyetler açısından çıkartılabilecek bir diğer sonuç ise, HGA-TB-SÇ ve kural tabanlı HGA-TB-SÇ'nin birbirlerine çok yakın sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Yani kural tabanlı arama yapısının algoritmaya entegrasyonu, algoritmanın çözüm kalitesini bozmamıştır.

5.3.3. ÇSÜAYP-ARP için elde edilen sonuçlar

Çapraz sevkiyat merkezlerinde araç rotalama stratejisi ile üretici ve müşteri noktalarına hizmet verilmesinin şebekede toplam taşıma maliyetlerine olan etkisini test edebilmek için rassal olarak oluşturulan 10 farklı problem hem ÇSÜAYP hem de ÇSÜAYP-ARP olarak çözülmüştür. HGA-TB-SÇ ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.23'de verilmiş olup iki problem tipi için elde edilen sonuçların farkı Eşitlik 5.5'te verilen $\%Fark_4$ formülü ile gösterilmiştir. Ortalama 85,22 ürün ve 24,10 lokasyon içeren örnek problemlerin çözümü sonucunda araç rotalama stratejisi ile toplam maliyetlerde ortalama %33,61 oranında bir tasarruf sağlanmıştır. Bu tasarruf oranı özellikle ürün sayısının az ve lokasyon sayısının fazla olduğu şebekelerde %40'ın üzerine çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlar algoritma işlem zamanı açısından kıyaslandığında ise ÇSÜAYP-ARP için harcanan sürenin ÇSÜAYP için harcanan süreye göre yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir. Fakat problem seti için en kötü durumda bile algoritma yaklaşık 10 dakikada çözüme ulaşmıştır. Klasik bir araç rotalama problemi için 38 noktaya sahip bir problemin çözümü için bu süre çok fazla olmasına rağmen; ÇSÜAYP-ARP'de araç rotalama, araç yükleme, araç-kapı atama ve ürün ayrıştırma işlemlerinin bir arada planlandığı düşünülürse elde edilen işlem süreleri kabul edilebilir sürelerdir. Sonuç olarak; çapraz sevkiyat merkezlerinde araç rotalama stratejisinin dikkate alınması ile

birlikte birden fazla üretici ve müşteri noktasına aynı araçla servis verilebileceği ve bu durumun araç doluluk oranlarını arttırması nedeniyle toplam taşıma maliyetlerini düşürebileceği tespit edilmiştir. Bu düşünün özellikle talep miktarının düşük ve lokasyon sayısının fazla olduğu şebekelerde kayda değer bir orana sahip olduğu görülmüştür.

$$\%Fark_4 = \frac{AFD_{\text{ÇSÜAYP-ARP}} - AFD_{\text{ÇSÜAYP}}}{AFD_{\text{ÇSÜAYP}}} \times 100\% \quad (5.5)$$

Çizelge 5.23. ÇSÜAYP-ARP için elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Ürün Sayısı	Lokasyon Sayısı	ÇSÜAYP Sonuçları				ÇSÜAYP-ARP Sonuçları					
			En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç		
			AFD	TS	AFD	TS	AFD	%Fark ₄	TS	AFD	%Fark ₄	TS
4/1/9/3/3	60	14	3 651,00	41,51	3 655,00	40,86	2 789,00	-23,61	99,37	2 834,26	-22,46	96,30
5/1/10/2/6	55	16	2 563,00	47,64	2 707,90	46,53	2 513,00	-1,95	93,64	2 614,90	-3,43	97,82
5/2/21/1/1	50	28	4 988,00	96,10	5 056,72	94,79	1 777,00	-64,37	118,99	1 836,72	-63,68	120,42
5/3/8/6/3	135	16	4 796,60	186,20	4 973,12	181,91	4 334,00	-9,64	486,45	4 413,86	-11,25	493,31
6/2/15/1/3	48	23	3 219,00	68,24	3 300,72	67,77	1 869,00	-41,94	110,93	1 891,02	-42,71	116,17
7/2/15/2/1	108	24	5 573,60	133,90	5 662,41	136,02	3 144,20	-43,59	437,44	3 210,69	-43,30	426,72
8/2/12/2/1	101	22	4 938,00	134,86	5 052,40	128,80	3 081,00	-37,61	251,57	3 131,58	-38,02	247,68
9/2/17/1/3	71	28	5 761,00	193,22	5 912,40	185,45	2 895,00	-49,75	189,46	2 949,04	-50,12	193,04
9/2/21/1/6	84	32	5 085,90	211,82	5 396,19	210,94	3 800,80	-25,27	488,88	3 986,52	-26,12	497,86
10/3/25/1/6	115	38	10 542,40	340,21	11 170,72	438,37	7 038,40	-33,24	594,13	7 259,90	-35,01	600,43
Ortalama	85,22	24,10	5 111,85	145,37	5 288,76	153,15	3 324,14	-33,10	287,09	3 412,85	-33,61	288,98

6. SONUÇ

Günümüzün küreselleşme ile birlikte artan rekabet koşullarında işletmelerin rakiplerine göre daha önde olabilmeleri için, maliyetlerini ve verimliliklerini daha iyi kontrol etmelerinin yanı sıra müşteri taleplerini de istekleri doğrultusunda karşılamaları gerekmektedir. Üretim maliyetlerinin yaklaşık değerler arz ettiği bir ortamda lojistik faaliyetler, rekabet için en önemli araç haline gelmektedir. Bu nedenle işletmeler rekabet gücünü arttırarak ön plana çıkabilmek amacıyla birçok lojistik stratejiyi kullanmaktadırlar. Bu stratejilerden birisi olan çapraz sevkiyat, taşıma maliyetlerini, stokta tutma maliyetlerini, sipariş verme maliyetlerini ve dağıtım zamanlarını düşürmek amacıyla geliştirilmiş bir dağıtım yöntemidir.

Bu tez çalışmasında, çapraz sevkiyat sisteminin daha etkin bir şekilde planlanarak toplam taşıma maliyetlerini düşürecek bir çözüm yaklaşımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çapraz sevkiyatta ürün akış ve yerleşim problemi bütünleşik olarak ele alınmıştır. Problemin karmaşık yapısından ve çözüm zorluğundan dolayı büyük boyutlu problemlerin çözümü için, beş farklı meta-sezgisel algoritmanın dikkate alındığı analizler sonucunda tavlama benzetimi ve genetik algoritmanın birleştirilmesi ile elde edilen hibrit algoritmanın kullanılmasına karar verilmiştir.

Yapılan kaynak araştırması ile çapraz sevkiyat konusunda yapılan çalışmalar özetlenmiş ve dikkate aldıkları probleme göre sınıflandırılmıştır. Bulunan çalışmaların yıllara göre dağılımı incelendiğinde, özellikle 2010 yılından itibaren çapraz sevkiyat konusuna olan ilginin bir hayli arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapılan tez çalışmasının dikkate alınan problem ve çözüm yaklaşımı ile literatüre olan katkısı mevcut çalışmalar üzerinden irdelenmiştir.

Çapraz sevkiyat konusunda yapılan kaynak araştırmasının ardından, tez çalışmasında dikkate alınan ürün akış ve yerleşim problemi tanımlanmış ve bu problem bütünleşik ve iki aşamalı olmak üzere matematiksel olarak formüle edilmiştir. Ayrıca, dikkate alınan temel probleme ek olarak farklı operasyonel varsayıma dayalı üç adet varyasyon oluşturulmuş ve matematiksel olarak ifade edilmiştir. Bu varsayımların ilkinde, çapraz sevkiyat merkezlerinde kapıların belirli bir düzen yerine karmaşık düzende olduğu

durum incelenmiştir. İkinci varsayımda, çapraz sevkiyat merkezlerinde ürünlerin bekleme alanlarının raf düzenine sahip hücrelerden oluştuğu varsayılmış ve bu varsayıma göre ürünlerin iki boyutlu alanlarda yerleşim problemi yerine iki boyutlu hücrelere atama problemi incelenmiştir. Üçüncü varsayımda ise araçların tek bir lokasyona hizmet vermesi yerine birden fazla lokasyona uğrayarak rota oluşturulmasına izin verilmiş ve bu durumun toplam maliyetlere olan etkisi analiz edilmiştir.

Bütünleşik ve iki aşamalı olarak matematiksel modeli oluşturulan ÇSÜAYP'nin problem boyutu arttığı zaman kesin çözüm veren yöntemlerden Gurobi çözücünün yetersiz kalması nedeniyle büyük boyutlu problemlerin çözümü için meta-sezgisel veya hibrit bir algoritmanın kullanılmasına karar verilmiştir. ÇSÜAYP ve varyasyonları için etkin bir çözüm elde edebilmek amacıyla ilk olarak TB, TA, GA, DGA ve PSO algoritması dikkate alınmış ve bu beş algoritmanın temel yapılarının yanı sıra GA, DGA ve PSO'nun TB ile hibrit yapıları oluşturulmuştur. Ayrıca, algoritmalar için amaç fonksiyonu hesaplamalarından dolayı oluşan işlem yükünü ve dolayısıyla algoritma işlem zamanlarını kısaltmak amacıyla bir hafıza yapısı ve ÇSÜAYP-ÜRA için bir kural tabanlı sistem geliştirilmiştir.

Tez çalışmasına ait yapılan sayısal uygulamalar üç ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda problem için geliştirilen matematiksel modellerin geçerlilikleri ve etkinlikleri test edilmiştir. İkinci kısımda, problemin çözümü için geliştirilen alternatif algoritmaların performans testleri yapılarak büyük boyutlu problemlerde kullanılacak algoritma seçilmiş ve parametrik analizleri yapılmıştır. Üçüncü ve son kısımda ise nihai olarak belirlenen algoritma, büyük boyutlu problemler üzerinde test edilmiştir.

Matematiksel model kullanılarak, Gurobi Optimizer 5.5.0 çözücüyle MPL programında yapılan sayısal analizler sonucunda geliştirilen matematiksel modellerin geçerliliği kanıtlanmış ve küçük boyutlu problemlerde dahi çapraz sevkiyat sisteminin araç doluluk oranlarında %15'in üzerinde artış sağladığı gösterilmiştir. Yine matematiksel modeller ile yapılan uygulamalarda; bütünleşik ve iki aşamalı model kullanılarak rassal olarak üretilmiş birçok küçük boyutlu problem çözülmüş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar toplam maliyet üzerinden değerlendirildiğinde bütünleşik modelin iki aşamalı modele göre bazı problemlerde daha iyi sonuçlar bulduğu görülmüştür. Fakat işlem zamanları açısından iki aşamalı model, bütünleşik modele göre çok daha

kısa sürelerde sonuca ulaşmaktadır. Büyük boyutlu problemlerde ise iki aşamalı model ve bütünleşik model kullanılarak yapılan sayısal uygulamalarda Gurobi çözücünün yetersiz kaldığı tespit edilmiştir.

MPL programı ile matematiksel modeller üzerinde yapılan sayısal çalışmaların neticesinde büyük boyutlu problemlerin çözümünde sezgisel bir algoritmanın kullanılmasına karar verilmiş ve bu aşamada ilk olarak TB, TA, GA, DGA ve PSO'nun temel yapıları geliştirilmiştir. Bu algoritmalarla yapılan testlerde GA, DGA ve PSO'nun TB ve TA algoritmalarına göre daha iyi sonuç verdiği, işlem zamanlarında ise TB'nin daha hızlı olduğu görülmüştür. ÇSÜAYP'de daha iyi bir çözümü daha kısa sürelerde elde etmek amacıyla TB algoritması ile bütünleştirilmiş hibrit GA, DGA ve PSO algoritmaları oluşturulmuş ve bu algoritmaların farklı çaprazlama teknikleri ile performansları analiz edilmiştir. Ayrıca bu kısımda, algoritmalar için geliştirilmiş olan hafıza yapısının işlem zamanları üzerindeki etkinliği gösterilmiştir. Hibrit algoritmalar için yapılan testlerde hem bütünleşik hem de iki aşamalı model yaklaşımı için en iyi performansı HGA-TB-SÇ algoritması göstermiş ve bu algoritmanın parametrik analizleri yapılarak büyük boyutlu problemlerde kullanılmasına karar verilmiştir. Parametrik analizlerde, hem TB hem de GA parametreleri dikkate alınmış ve ÇSÜAYP için en iyi değerleri tespit edilmiştir.

Uygulamanın son aşamasında, geliştirilen HGA-TB-SÇ'nin performansı büyük boyutlu problemlerde test edilmiştir. Algoritma, ilk olarak ÇSÜAYP için rassal olarak oluşturulmuş homojen ve heterojen filoya sahip iki farklı örnek seti üzerinde test edilmiştir. Bu analizler sonucunda; büyük boyutlu problemlerde bütünleşik modelin iki aşamalı modele göre daha etkin sonuçlar (~%10 daha düşük maliyet) bulduğu, geliştirilen hibrit algoritma ile sonuçlara ortalama 10 dakika gibi kabul edilebilir işlem zamanları içinde ulaştığı ve heterojen filoya sahip bir şebekede uygun araç seçimleri sayesinde daha düşük maliyetlerle taşımanın yapılabileceği tespit edilmiştir. ÇSÜAYP'ye ait yapılan analizlerin ardından farklı varsayımlara sahip problemler için uygulamalar gerçekleştirilmiştir. ÇSÜAYP ve ÇSÜAYP-KKD sonuçları karşılaştırıldığında, karışık kapı düzenine sahip bir çapraz sevkiyat alanında uygun bir araç-kapı atama planı ile daha az taşımanın gerçekleştirilebileceği görülmüştür. ÇSÜAYP-ÜRA için yapılan testlerde ise gerçek bir sistemden elde edilmiş veriler kullanılmış ve

sonuçlar analiz edilmiştir. Bu aşamada, ürünlerin raflara atanması için geliştirilmiş olan kural tabanlı sistemin algoritma işlem zamanlarını %75'in üzerinde azalttığı grlmştir. Ayrıca, problemde çapraz sevkiyat merkezlerinin doluluk oranlarının algoritma işlem zamanlarını ve toplam taşıma maliyetlerini etkilediği de tespit edilmiştir. Uygulamanın son aşamasında ise ÇSÜAYP-ARP dikkate alınmış ve oluşturulan örnek problemler ile araç rotalama stratejisinin toplam maliyetlere olan etkisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, lokasyon sayısının fazla ve talep miktarının az olduğu koşullarda araç rotalama stratejisinin ÇSÜAYP'ye göre ortalama %30'dan fazla maliyet tasarrufu sağladığı grlmştir.

Sonuç olarak; yapılan bu tez çalışmasının dikkate alınan problem yapısı ve üzüm yaklaşımı ile literatüre olan katkısının yanında gerçek hayata ait çapraz sevkiyat uygulamalarında, üreticilerden müşterilere olan ürün akışlarını ve yerleşimlerini etkin şekilde planlayabilecek bir zm yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yaklaşımın kısa vadeli karar alma süreçlerinde ürün akışlarının planlanması, araçların yükleme planlarının oluşturulması, çapraz sevkiyat merkezi alanlarındaki araç-kapı atama ve yerleşim planlarının oluşturulması aşamalarında işletmelere planlama konusunda katma değer sağlayacağı ve rekabet gücünü arttıracağı düşünülmektedir.

Tez kapsamında dikkate alınan problemler ve geliştirilen algoritmaların temelinde çapraz sevkiyat konusunda gelecekte yapılması planlanan çalışmalar kapsamında ilk olarak SM alanlarında araç boşaltma ve yükleme işlemlerinin zamana bağlı olduğu çizelgeleme probleminin incelenmesi planlanmaktadır. Dikkate alınması düşünülen diğer bir yaklaşım ise deterministik bir yapıya sahip olan ÇSÜAYP için stokastik verilerin dikkate alınmasıdır. Bunların yanı sıra, şebekede ürün akışları, araç filo yapısı ve yükleme kısıtları açısından farklı varsayımlar ile ÇSÜAYP'nin genişletilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abouee-Mehrzi, H., Berman, O., Baharnemati, M. R. 2013.** Designing production-inventory-transportation systems with capacitated cross-docks. *Transportation Science*, 48(1): 121-135.
- Agustina, D., Lee, C. K. M., Piplani, R. 2010.** A review: Mathematical models for cross docking planning. *International Journal of Engineering Business Management*, 2(2): 47-54.
- Agustina, D., Lee, C. K. M., Piplani, R. 2014.** Vehicle scheduling and routing at a cross docking center for food supply chains. *International Journal of Production Economics*, 152(1): 29-41.
- Ahn, C. W., Ramakrishna, R. S. 2003.** Elitism-based compact genetic algorithms. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7(4): 367-385.
- Ai, T. J., Kachitvichyanukul, V. 2009.** Particle swarm optimization and two solution representations for solving the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1): 380-387.
- Alpan, G., Ladier, A.-L., Larbi, R., Penz, B. 2011.** Heuristic solutions for transshipment problems in a multiple door cross docking warehouse. *Computers & Industrial Engineering*, 61(2): 402-408.
- Alvarez-Perez, G. A., González-Velarde, J. L., Fowler, J. W. 2009.** Crossdocking—just in time scheduling: an alternative solution approach. *Journal of the Operational Research Society*, 60(4): 554-564.
- Bachlaus, M., Pandey, M. K., Mahajan, C., Shankar, R., Tiwari, M. K. 2008.** Designing an integrated multi-echelon agile supply chain network: a hybrid taguchi-particle swarm optimization approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(6): 747-761.
- Bartholdi, J. J., Gue, K. R. 2000.** Reducing labor costs in an LTL crossdocking terminal. *Operations Research*, 48(6): 823-832.
- Bartholdi, J. J., Gue, K. R. 2004.** The best shape for a crossdock. *Transportation Science*, 38(2): 235-244.
- Bartz-Beielstein, T., Chmielewski, A., Janas, M., Naujoks, B., Scheffermann, R. 2006.** Optimizing door assignment in LTL-terminals by evolutionary multiobjective algorithms. IEEE Congress on Evolutionary Computation, 16-21 July, Canada.
- Beasley, D., Martin, R. R., Bull, D. R. 1993.** An overview of genetic algorithms: Part 1. Fundamentals. *University Computing*, 15(2): 58-69.

- Bermúdez, R., Cole, M. H. 2001.** A genetic algorithm approach to door assignments in breakbulk terminals. University of Arkansas, Mack-Blackwell National Rural Transportation Study Center, Arkansas, ABD.
- Boloori Arabani, A. R., Fatemi Ghomi, S. M. T., Zandieh, M. 2010.** A multi-criteria cross-docking scheduling with just-in-time approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(5-8): 741-756.
- Boloori Arabani, A. R., Fatemi Ghomi, S. M. T., Zandieh, M. 2011.** Meta-heuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage. *Expert Systems with Applications*, 38(3): 1964-1979.
- Boysen, N. 2010.** Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals. *Computers & Operations Research*, 37(1): 32-41.
- Boysen, N., Flidner, M. 2010.** Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. *Omega*, 38(6): 413-422.
- Boysen, N., Flidner, M., Scholl, A. 2010.** Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. *OR spectrum*, 32(1): 135-161.
- Bozer, Y. A., Carlo, H. J. 2008.** Optimizing inbound and outbound door assignments in less-than-truckload crossdocks. *IIE Transactions*, 40(11): 1007-1018.
- Buijs, P., Vis, I. F. A., Carlo, H. J. 2014.** Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework. *European Journal of Operational Research*, 239(3): 593-608.
- Cai, Q., Gong, M., Ma, L., Ruan, S., Yuan, F., Jiao, L. 2014.** Greedy discrete particle swarm optimization for large-scale social network clustering. *Information Sciences*, In Press.
- Ceschia, S., Schaerf, A., Stützle, T. 2013.** Local search techniques for a routing-packing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4): 1138-1149.
- Charkhgard, H., Tabar, A. A. Y. 2011.** Transportation problem of cross-docking network with three-dimensional trucks. *African Journal of Business Management*, 5(22): 9297-9303.
- Chazelle, B. 1983.** The bottomn-left bin-packing heuristic: An efficient implementation. *IEEE Transactions on Computers*, 100(8): 697-707.
- Chelouah, R., Siarry, P. 2000.** Tabu search applied to global optimization. *European Journal of Operational Research*, 123(2): 256-270.
- Chen, F., Lee, C.-Y. 2009.** Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem. *European Journal of Operational Research*, 193(1): 59-72.
- Chen, F., Song, K. 2009.** Minimizing makespan in two-stage hybrid cross docking scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 36(6): 2066-2073.

- Chen, P., Guo, Y., Lim, A., Rodrigues, B. 2006.** Multiple crossdocks with inventory and time windows. *Computers & Operations Research*, 33(1): 43-63.
- Chmielewski, A., Naujoks, B., Janas, M., Clausen, U. 2009.** Optimizing the door assignment in LTL-terminals. *Transportation Science*, 43(2): 198-210.
- Choy, K. L., Chow, H. K. H., Poon, T. C., Ho, G. T. S. 2012.** Cross-dock job assignment problem in space-constrained industrial logistics distribution hubs with a single docking zone. *International Journal of Production Research*, 50(9): 2439-2450.
- Cohen, Y., Keren, B. 2008.** A simple heuristic for assigning doors to trailers in cross-docks. International Conference on Industrial Logistics (ICIL 2008), 9-15 March, Tel Aviv, Israel.
- Coley, D. A. 1999.** An introduction to genetic algorithms for scientists and engineers. World Scientific, London, England, 211 pp.
- Deep, K., Mebrahtu, H. 2011.** New variations of order crossover for travelling salesman problem. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 2(1): 2-13.
- Donaldson, H., Johnson, E. L., Ratliff, H. D., Zhang, M. 1998.** Schedule-driven cross-docking networks. The Logistics Institute, Georgia Tech, Atlanta.
- Dondo, R., Cerdá, J. 2013.** A sweep-heuristic based formulation for the vehicle routing problem with cross-docking. *Computers & Chemical Engineering*, 48(1): 293-311.
- Dondo, R., Cerdá, J. 2014.** A monolithic approach to vehicle routing and operations scheduling of a cross-dock system with multiple dock doors. *Computers & Chemical Engineering*, 63(1): 184-205.
- Dondo, R., Méndez, C. A., Cerdá, J. 2011.** The multi-echelon vehicle routing problem with cross docking in supply chain management. *Computers & Chemical Engineering*, 35(12): 3002-3024.
- Dong, M.-G., Wang, N. 2012.** A novel hybrid differential evolution approach to scheduling of large-scale zero-wait batch processes with setup times. *Computers & Chemical Engineering*, 4572-83.
- Eberhart, R. C., Kennedy, J. 1995.** A new optimizer using particle swarm theory. Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, 4-6 October, Nagoya, Japan.
- Ertek, G. 2005.** A tutorial on crossdocking. 3rd International Logistics & Supply Chain Congress, Istanbul, Turkey.
- Forouharfard, S., Zandieh, M. 2010.** An imperialist competitive algorithm to schedule of receiving and shipping trucks in cross-docking systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(9-12): 1179-1193.

- Geetha, S., Poonthalir, G., Vanathi, P. T. 2010.** A hybrid particle swarm optimization with genetic operator for vehicle routing problem. *Journal of Advances in Information Technology*, 1(4): 181-188.
- Gen, M., Altiparmak, F., Lin, L. 2006.** A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding. *Or Spectrum*, 28(3): 337-354.
- Gen, M., Li, Y., Ida, K. 1999.** Solving multi-objective transportation problem by spanning tree-based genetic algorithm. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, 82(12): 2802-2810.
- Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G., Martello, S. 2006.** A tabu search algorithm for a routing and container loading problem. *Transportation Science*, 40(3): 342-350.
- Glover, F. 1989.** Tabu search-part I. *ORSA Journal on Computing*, 1(3): 190-206.
- Glover, F. 1990.** Tabu search-part II. *ORSA Journal on Computing*, 2(1): 4-32.
- Glover, F., Taillard, E., de Werra, D. 1993.** A user's guide to tabu search. *Annals of operations research*, 41(1): 1-28.
- Goksal, F. P., Karaoglan, I., Altiparmak, F. 2013.** A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1): 39-53.
- Goldbarg, E. F. G., de Souza, G. R., Goldbarg, M. C. 2006.** Particle swarm optimization for the bi-objective degree constrained minimum spanning tree. IEEE Congress on Evolutionary Computation, 16-21 July, Vancouver, Canada.
- Goldberg, D. E. 1989.** Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley, Boston, USA, 412 pp.
- Gue, K. R., Kang, K. 2001.** Staging queues in material handling and transportation systems. 33rd Conference on Winter Simulation, 9-12 December, Arlington, VA, USA.
- Guignard, M., Hahn, P. M., Pessoa, A. A., da Silva, D. C. 2012.** Algorithms for the cross-dock door assignment problem. Fourth International Workshop on Model-Based Metaheuristics, 17-20 September, Rio de Janeiro, Brazil.
- Gümüş, M., Bookbinder, J. H. 2004.** Cross-docking and its implications in location-distribution systems. *Journal of Business Logistics*, 25(2): 199-228.
- Haupt, R. L. 2000.** Optimum population size and mutation rate for a simple real genetic algorithm that optimizes array factors. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 16-21 July, Utah, USA.
- Haupt, R. L., Haupt, S. E. 2004.** Practical genetic algorithms. John Wiley & Sons, Canada, 253 pp.
- Holland, J. H. 1992.** Genetic algorithms. *Scientific American*, 267(1): 66-72.

- Hosseini, S. D., Shirazi, M. A., Karimi, B. 2014.** Cross-docking and milk run logistics in a consolidation network: A hybrid of harmony search and simulated annealing approach. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(4): 567-577.
- Javanmard, S., Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R. 2014.** Solving a multi-product distribution planning problem in cross docking networks: An imperialist competitive algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9-12): 1709-1720.
- Jayaraman, V., Ross, A. 2003.** A simulated annealing methodology to distribution network design and management. *European Journal of Operational Research*, 144(3): 629-645.
- Jebari, K., Madiafi, M. 2013.** Selection methods for genetic algorithms. *International Journal of Emerging Sciences*, 3(4): 333-344.
- Jones, D. T., Hines, P., Rich, N. 1997.** Lean logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 27(3/4): 153-173.
- Kang, K., Moon, I., Wang, H. 2012.** A hybrid genetic algorithm with a new packing strategy for the three-dimensional bin packing problem. *Applied Mathematics and Computation*, 219(3): 1287-1299.
- Karaboğa, D., Ökdem, S. 2004.** A simple and global optimization algorithm for engineering problems: Differential evolution algorithm. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 12(1): 53-60.
- Kennedy, J., Eberhart, R. C. 1995.** Particle swarm optimization. IEEE International Conference on Neural Networks, 27 November - 1 December, Perth, Western Australia.
- Kennedy, J., Eberhart, R. C. 1997.** A discrete binary version of the particle swarm algorithm. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics; Computational Cybernetics and Simulation, 12-15 October, Florida, USA.
- Keskintürk, T. 2006.** Diferansiyel gelişim algoritması. *İstanbul Ticaret Odası Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9): 85-99.
- Khebbache, S., Prins, C., Yalaoui, A., Reghioui, M. 2009.** Memetic algorithm for two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem with time windows. International Conference on Computers & Industrial Engineering, 6-8 July, France.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P. 1983.** Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598): 671-680.
- Konur, D., Golias, M. M. 2013.** Cost-stable truck scheduling at a cross-dock facility with unknown truck arrivals: A meta-heuristic approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1): 71-91.
- Kuo, Y. 2013.** Optimizing truck sequencing and truck dock assignment in a cross docking system. *Expert Systems with Applications*, 40(14): 5532-5541.

- Küçükkoğlu, İ., Ene, S., Aksoy, A., Öztürk, N. 2015.** A memory structure adapted simulated annealing algorithm for a green vehicle routing problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5): 3279-3297.
- Ladier, A.-L., Alpan, G. 2013.** Scheduling truck arrivals and departures in a crossdock: earliness, tardiness and storage policies. International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM), 28-30 October, Rabat, Morocco.
- Larbi, R., Alpan, G., Baptiste, P., Penz, B. 2011.** Scheduling cross docking operations under full, partial and no information on inbound arrivals. *Computers & Operations Research*, 38(6): 889-900.
- Larrañaga, P., Kuijpers, C. M. H., Murga, R. H., Inza, I., Dizdarevic, S. 1999.** Genetic algorithms for the travelling salesman problem: A review of representations and operators. *Artificial Intelligence Review*, 13(2): 129-170.
- Lee, Y. H., Jung, J. W., Lee, K. M. 2006.** Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 51(2): 247-256.
- LeMaster, R. 1990.** ALEX - An expert system for truck loading. 3rd International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, 15-18 July, Charleston, South Carolina, USA.
- Leung, S. C. H., Zhang, Z., Zhang, D., Hua, X., Lim, M. K. 2013.** A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 225(2): 199-210.
- Leung, S. C. H., Zhou, X., Zhang, D., Zheng, J. 2011.** Extended guided tabu search and a new packing algorithm for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 38(1): 205-215.
- Li, Y., Lim, A., Rodrigues, B. 2004.** Crossdocking—JIT scheduling with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 55(12): 1342-1351.
- Liang, Y., Leung, K.-S. 2011.** Genetic algorithm with adaptive elitist-population strategies for multimodal function optimization. *Applied Soft Computing*, 11(2): 2017-2034.
- Liao, C.-J., Lin, Y., Shih, S. C. 2010.** Vehicle routing with cross-docking in the supply chain. *Expert Systems with Applications*, 37(10): 6868-6873.
- Liao, T. W., Chang, P. C., Kuo, R. J., Liao, C.-J. 2014.** A comparison of five hybrid metaheuristic algorithms for unrelated parallel-machine scheduling and inbound trucks sequencing in multi-door cross docking systems. *Applied Soft Computing*, 21(1): 180-193.
- Liao, T. W., Egbelu, P. J., Chang, P.-C. 2012.** Two hybrid differential evolution algorithms for optimal inbound and outbound truck sequencing in cross docking operations. *Applied Soft Computing*, 12(11): 3683-3697.

- Liao, T. W., Egbelu, P. J., Chang, P.-C. 2013.** Simultaneous dock assignment and sequencing of inbound trucks under a fixed outbound truck schedule in multi-door cross docking operations. *International Journal of Production Economics*, 141(1): 212-229.
- Lim, A., Miao, Z., Rodrigues, B., Xu, Z. 2005.** Transshipment through crossdocks with inventory and time windows. *Naval Research Logistics (NRL)*, 52(8): 724-733.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., Lam, H. Y., Pang, G. K. H., Chin, K. S. 2014.** A decision support system for optimizing dynamic courier routing operations. *Expert Systems with Applications*, 41(15): 6917-6933.
- Liu, L., Yang, X., Mu, H., Jiao, Y. 2008.** The fuzzy fixed charge transportation problem and genetic algorithm. Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery: FSKD'08 18-20 October, Shandong, China.
- Lotfi, M. M., Tavakkoli-Moghaddam, R. 2013.** A genetic algorithm using priority-based encoding with new operators for fixed charge transportation problems. *Applied Soft Computing*, 13(5): 2711-2726.
- Luo, G., Noble, J. S. 2012.** An integrated model for crossdock operations including staging. *International Journal of Production Research*, 50(9): 2451-2464.
- Ma, H., Miao, Z., Lim, A., Rodrigues, B. 2011.** Crossdocking distribution networks with setup cost and time window constraint. *Omega*, 39(1): 64-72.
- Madani-Isfahani, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Naderi, B. 2014.** Multiple cross-docks scheduling using two meta-heuristic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 74(1): 129-138.
- Maknoon, M. Y., Koné, O., Baptiste, P. 2014.** A sequential priority-based heuristic for scheduling material handling in a satellite cross-dock. *Computers & Industrial Engineering*, 72(1): 43-49.
- Makui, A., Haerian, L., Eftekhar, M. 2006.** Designing a multi-objective nonlinear cross-docking location allocation model using genetic algorithm. *Journal of Industrial Engineering International*, 2(3): 27-42.
- Malhotra, R., Singh, N., Singh, Y. 2011.** Genetic algorithms: Concepts, design for optimization of process controllers. *Computer and Information Science*, 4(2): 39-54.
- Marinakis, Y., Marinaki, M., Dounias, G. 2010.** A hybrid particle swarm optimization algorithm for the vehicle routing problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(4): 463-472.
- Marjani, M. R., Hussein, S. M. M., Karimi, B. 2012.** Bi-objective heuristics for multi-item freights distribution planning problem in crossdocking networks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(9-12): 1201-1216.
- McWilliams, D. L. 2009.** Genetic-based scheduling to solve the parcel hub scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 56(4): 1607-1616.

- McWilliams, D. L. 2010.** Iterative improvement to solve the parcel hub scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1): 136-144.
- McWilliams, D. L., Stanfield, P. M., Geiger, C. D. 2005.** The parcel hub scheduling problem: A simulation-based solution approach. *Computers & Industrial Engineering*, 49(3): 393-412.
- McWilliams, D. L., Stanfield, P. M., Geiger, C. D. 2008.** Minimizing the completion time of the transfer operations in a central parcel consolidation terminal with unequal-batch-size inbound trailers. *Computers & Industrial Engineering*, 54(4): 709-720.
- Miao, Z., Lim, A., Ma, H. 2009.** Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks. *European Journal of Operational Research*, 192(1): 105-115.
- Miao, Z., Yang, F., Fu, K., Xu, D. 2012.** Transshipment service through crossdocks with both soft and hard time windows. *Annals of Operations Research*, 192(1): 21-47.
- Michalewicz, Z., Vignaux, G. A., Hobbs, M. 1991.** A nonstandard genetic algorithm for the nonlinear transportation problem. *ORSA Journal on Computing*, 3(4): 307-316.
- Mingyong, L., Erbao, C. 2010.** An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(2): 188-195.
- Mitchell, M. 1998.** An introduction to genetic algorithms. MIT press, London, England, 158 pp.
- Moghadam, S. S., Ghomi, S. F., Karimi, B. 2014.** Vehicle routing scheduling problem with cross docking and split deliveries. *Computers & Chemical Engineering*, 69(1): 98-107.
- Morais, V. W. C., Mateus, G. R., Noronha, T. F. 2014.** Iterated local search heuristics for the Vehicle Routing Problem with Cross-Docking. *Expert Systems with Applications*, 41(16): 7495-7506.
- Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R. 2013.** A hybrid simulated annealing algorithm for location and routing scheduling problems with cross-docking in the supply chain. *Journal of Manufacturing Systems*, 32(2): 335-347.
- Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Siadat, A. 2013.** Optimal design of the cross-docking in distribution networks: Heuristic solution approach. *International Journal of Engineering-Transactions A: Basics*, 27(4): 533.
- Mousavi, S. M., Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hashemi, H. 2014.** Location of cross-docking centers and vehicle routing scheduling under uncertainty: A fuzzy possibilistic–stochastic programming model. *Applied Mathematical Modelling*, 38(7): 2249-2264.

- Musa, R., Arnaout, J.-P., Jung, H. 2010.** Ant colony optimization algorithm to solve for the transportation problem of cross-docking network. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1): 85-92.
- Muthuswamy, S., Lam, S. 2011.** Discrete particle swarm optimization for the orienteering problem. *International Journal of Industrial Engineering*, 18(2): 92-102.
- Oh, Y., Hwang, H., Cha, C. N., Lee, S. 2006.** A dock-door assignment problem for the Korean mail distribution center. *Computers & Industrial Engineering*, 51(2): 288-296.
- Onwubolu, G. C. 2008.** Design of hybrid differential evolution and group method of data handling networks for modeling and prediction. *Information Sciences*, 178(18): 3616-3634.
- Osman, I. H. 1993.** Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 41(4): 421-451.
- Otten, R. H. J. M., Van Ginneken, L. P. P. P. 1988.** Stop criteria in simulated annealing. IEEE International Conference on Computer Design: VLSI in Computers and Processors, 3-5 October, New York, USA.
- Pishvaei, M. S., Kianfar, K., Karimi, B. 2010.** Reverse logistics network design using simulated annealing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(1-4): 269-281.
- Puljić, K., Manger, R. 2013.** Comparison of eight evolutionary crossover operators for the vehicle routing problem. *Mathematical Communications*, 18(2): 359-375.
- Qin, A. K., Huang, V. L., Suganthan, P. N. 2009.** Differential evolution algorithm with strategy adaptation for global numerical optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(2): 398-417.
- Raj, K. A. A. D., Rajendran, C. 2012.** A genetic algorithm for solving the fixed-charge transportation model: Two-stage problem. *Computers & Operations Research*, 39(9): 2016-2032.
- Reeves, C. R., Rowe, J. E. 2003.** Genetic algorithms: Principles and perspectives: A guide to GA theory. Springer Science & Business Media, London, 332 pp.
- Reeves, K. A. 2007.** Supply chain governance: A case of cross dock management in the automotive industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(3): 455-467.
- Roewa, O., Fidanova, S., Paprzycki, M. 2013.** Influence of the population size on the genetic algorithm performance in case of cultivation process modelling. Federated Conference on Computer Science and Information Systems, 8-11 September, Krakow, Poland.
- Romeo, F., Sangiovanni-Vincentelli, A. 1991.** A theoretical framework for simulated annealing. *Algorithmica*, 6(1-6): 302-345.

- Rosales, C. R., Fry, M. J., Radhakrishnan, R. 2009.** Transfreight reduces costs and balances workload at Georgetown crossdock. *Interfaces*, 39(4): 316-328.
- Ross, A., Jayaraman, V. 2008.** An evaluation of new heuristics for the location of cross-docks distribution centers in supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, 55(1): 64-79.
- Rutenbar, R. A. 1989.** Simulated annealing algorithms: An overview. *Circuits and Devices Magazine, IEEE*, 5(1): 19-26.
- Salhi, S. 2002.** Defining tabu list size and aspiration criterion within tabu search methods. *Computers & Operations Research*, 29(1): 67-86.
- Shah, R., Ward, P. T. 2003.** Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2): 129-149.
- Shakeri, M., Low, M. Y. H., Li, Z. 2008.** A generic model for crossdock truck scheduling and truck-to-door assignment problems. 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics, 13-16 July, Daejeon, Korea.
- Shiguemoto, A. L., Netto, U. S. C., Bauab, G. H. S. 2014.** An efficient hybrid meta-heuristic for a cross-docking system with temporary storage. *International Journal of Production Research*, 52(4): 1231-1239.
- Shuib, A., Fatthi, W. N. A. W. A. 2012.** A review on quantitative approaches for dock door assignment in cross-docking. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2(5): 30-34.
- Sivanandam, S. N., Deepa, S. N. 2007.** Introduction to genetic algorithms. Springer Science & Business Media, New York, USA, 81 pp.
- Soltani, R., Sadjadi, S. J. 2010.** Scheduling trucks in cross-docking systems: A robust meta-heuristics approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5): 650-666.
- Sprenger, R., Mönch, L. 2014.** A decision support system for cooperative transportation planning: Design, implementation, and performance assessment. *Expert Systems with Applications*, 41(11): 5125-5138.
- Stephan, K., Boysen, N. 2011.** Vis-à-vis vs. mixed dock door assignment: A comparison of different cross dock layouts. *Operations Management Research*, 4(3-4): 150-163.
- Storn, R., Price, K. 1997.** Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11(4): 341-359.
- Sung, C. S., Song, S. H. 2003.** Integrated service network design for a cross-docking supply chain network. *Journal of the Operational Research Society*, 54(12): 1283-1295.

- Sung, C. S., Yang, W. 2008.** An exact algorithm for a cross-docking supply chain network design problem. *Journal of the Operational Research Society*, 59(1): 119-136.
- Tang, S.-L., Yan, H. 2010.** Pre-distribution vs. post-distribution for cross-docking with transshipments. *Omega*, 38(3): 192-202.
- Tarantilis, C. D. 2013.** Adaptive multi-restart tabu search algorithm for the vehicle routing problem with cross-docking. *Optimization Letters*, 7(7): 1583-1596.
- Thesen, A. 1998.** Design and evaluation of tabu search algorithms for multiprocessor scheduling. *Journal of Heuristics*, 4(2): 141-160.
- Tsubakitani, S., Evans, J. R. 1998.** Optimizing tabu list size for the traveling salesman problem. *Computers & Operations Research*, 25(2): 91-97.
- Tsui, L. Y., Chang, C.-H. 1990.** A microcomputer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards. *Computers & Industrial Engineering*, 19(1): 309-312.
- Tsui, L. Y., Chang, C.-H. 1992.** An optimal solution to a dock door assignment problem. *Computers & Industrial Engineering*, 23(1): 283-286.
- Vahdani, B., Sadigh Behzadi, S. 2014.** A multi-product vehicle routing scheduling model with time window constraints for cross docking system under uncertainty: A fuzzy possibilistic-stochastic programming. *International Journal of Industrial Mathematics*, 6(3): 215-228.
- Vahdani, B., Soltani, R., Zandieh, M. 2010.** Scheduling the truck holdover recurrent dock cross-dock problem using robust meta-heuristics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46(5-8): 769-783.
- Vahdani, B., Zandieh, M. 2010.** Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 58(1): 12-24.
- Van Belle, J., Valckenaers, P., Cattrysse, D. 2012.** Cross-docking: State of the art. *Omega*, 40(6): 827-846.
- Vis, I. F. A., Roodbergen, K. J. 2008.** Positioning of goods in a cross-docking environment. *Computers & Industrial Engineering*, 54(3): 677-689.
- Vis, I. F. A., Roodbergen, K. J. 2011.** Layout and control policies for cross docking operations. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4): 911-919.
- Vogt, J. J. 2010.** The successful cross-dock based supply chain. *Journal of Business Logistics*, 31(1): 99-119.
- Waller, M. A., Cassady, C. R., Ozment, J. 2006.** Impact of cross-docking on inventory in a decentralized retail supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(5): 359-382.

- Wang, J.-F., Regan, A. 2008.** Real-time trailer scheduling for crossdock operations. *Transportation Journal*, 47(2): 5-20.
- Wang, L., Pan, Q.-K., Suganthan, P. N., Wang, W.-H., Wang, Y.-M. 2010.** A novel hybrid discrete differential evolution algorithm for blocking flow shop scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 37(3): 509-520.
- Wen, M., Larsen, J., Clausen, J., Cordeau, J.-F., Laporte, G. 2009.** Vehicle routing with cross-docking. *Journal of the Operational Research Society*, 60(12): 1708-1718.
- Werners, B., Wülfing, T. 2010.** Robust optimization of internal transports at a parcel sorting center operated by Deutsche Post World Net. *European Journal of Operational Research*, 201(2): 419-426.
- Yan, H., Tang, S.-l. 2009.** Pre-distribution and post-distribution cross-docking operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6): 843-859.
- Yang, K. K., Balakrishnan, J., Cheng, C. H. 2010.** An analysis of factors affecting cross docking operations. *Journal of Business Logistics*, 31(1): 121-148.
- Yu, C., Chen, J., Huang, Q., Wang, S., Zhao, X. 2012.** A new hybrid differential evolution algorithm with simulated annealing and adaptive gaussian immune. Eighth International Conference on Natural Computation, 29-31 May, Chongqing, China.
- Yu, V. F., Sharma, D., Murty, K. G. 2008.** Door allocations to origins and destinations at less-than-truckload trucking terminals. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2(1): 1-15.
- Yu, W., Egbelu, P. J. 2008.** Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. *European Journal of Operational Research*, 184(1): 377-396.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T. 2009.** A guided tabu search for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 195(3): 729-743.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T. 2013.** Integrated distribution and loading planning via a compact metaheuristic algorithm. *European Journal of Operational Research*, 228(1): 56-71.
- Zaharie, D. 2009.** Influence of crossover on the behavior of differential evolution algorithms. *Applied Soft Computing*, 9(3): 1126-1138.
- Zhong, W.-l., Zhang, J., Chen, W.-n. 2007.** A novel discrete particle swarm optimization to solve traveling salesman problem. IEEE Congress on Evolutionary Computation, 25-28 September, Singapore, Malaysia.

Zhu, Y.-R., Hahn, P. M., Liu, Y., Guignard-Spielberg, M. 2009. New approach for the cross-dock door assignment problem. XLI Brazilian Symposium on Operations Research, 1-4 September, Porto Seguro, Brazil.

EKLER

EK 1 Küçük Boyutlu Problemlerde Algoritmaların Temel Yapılarına Ait Sonuçlar

EK 2 ÇSÜAYP İçin Geliştirilmiş Olan Alternatif Algoritmalara Ait Sonuçlar

EK 3 HGA-TB-SÇ'nin Parametrik Analizlerine Ait Sonuçlar

EK 4 ÇSÜAYP-ÜRA İçin HGA-TB-SÇ İle Elde Edilen Sonuçlar

EK 1 Küçük Boyutlu Problemlerde Algoritmaların Temel Yapılarına Ait Sonuçlar

Çizelge Ek 1.1. Küçük boyutlu problemler için TB algoritmasının temel yapısı ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model							İki Aşamalı Model													
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç				Aşama 1				Aşama 2									
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	1,12	967,24	2,09	0,21	0,96	875,00	0,00	0,37	875,00	0,00	0,00	0,41	965,20	0,00	0,06	967,75	3,03	0,26	0,10
2/1/3/4/3	930,90	0,00	1,12	931,75	1,44	0,09	1,07	823,00	0,00	0,37	823,00	0,00	0,00	0,39	930,90	0,00	0,06	931,75	2,16	0,09	0,13
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,25	978,38	0,88	0,07	2,07	823,00	0,00	0,81	823,00	0,00	0,00	0,94	977,70	0,00	0,12	978,04	1,08	0,03	0,21
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	1,25	1 252,51	1,97	0,18	0,86	1 139,00	0,00	0,31	1 139,00	0,00	0,00	0,39	1 250,30	0,00	0,04	1 251,49	1,15	0,10	0,07
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	1,50	1 279,23	3,15	0,25	1,27	1 139,00	0,00	0,56	1 139,00	0,00	0,00	0,57	1 276,00	0,00	0,12	1 278,21	2,54	0,17	0,15
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,56	1 336,75	5,51	0,45	2,65	1 139,00	0,00	1,18	1 139,00	0,00	0,00	1,45	1 330,80	0,00	0,25	1 333,86	3,99	0,23	0,34
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	1,00	1 461,24	1,08	0,02	1,30	1 304,00	0,00	0,56	1 304,00	0,00	0,00	0,66	1 460,90	0,00	0,06	1 461,24	1,08	0,02	0,11
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,87	1 214,39	4,06	0,46	0,77	1 122,00	0,00	0,19	1 125,00	4,83	0,27	0,26	1 208,80	0,00	0,12	1 212,71	3,59	0,32	0,09
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	1,25	1 233,79	7,15	0,73	1,12	1 122,00	0,00	0,37	1 127,00	5,27	0,45	0,52	1 224,80	0,00	0,12	1 230,41	4,88	0,46	0,14
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	2,06	1 280,91	7,42	1,00	1,44	1 122,00	0,00	0,62	1 125,00	4,83	0,27	0,74	1 268,20	0,00	0,12	1 272,45	3,61	0,34	0,19
2/2/4/3/6	1 368,20	0,12	0,87	1 375,17	8,65	0,63	0,88	1 262,00	0,00	0,25	1 281,20	41,78	1,52	0,39	1 366,50	0,00	0,12	1 371,43	3,62	0,36	0,11
2/2/4/4/6	1 395,60	0,12	1,68	1 409,92	21,85	1,15	1,46	1 262,00	0,00	1,06	1 330,30	30,96	5,41	0,64	1 395,60	0,12	0,31	1 399,51	2,41	0,40	0,23
2/2/5/4/6	1 566,00	6,99	4,36	1 658,60	76,96	13,32	3,90	1 372,00	8,89	3,06	1 593,00	162,73	26,43	2,12	1 574,00	7,54	0,25	1 575,36	2,24	7,63	0,38
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,74	1 504,68	2,68	0,27	2,35	1 286,00	0,00	1,06	1 286,00	0,00	0,00	1,24	1 500,60	0,00	0,25	1 505,53	3,71	0,33	0,26
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	5,86	1 658,80	5,32	0,31	5,05	1 329,00	0,00	2,00	1 329,00	0,00	0,00	2,45	1 653,70	0,00	0,50	1 658,29	5,20	0,28	0,41
4/2/3/3/6	1 790,10	8,64	1,93	1 847,16	56,37	12,11	1,85	1 632,00	9,31	1,37	1 748,00	102,85	17,08	0,97	1 788,40	8,54	0,19	1 793,33	4,35	8,84	0,20
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	4,30	1 801,30	3,67	0,28	4,25	1 471,00	0,00	1,68	1 471,00	0,00	0,00	2,13	1 796,20	0,00	0,38	1 801,98	3,60	0,32	0,31
4/2/4/5/3	1 951,90	0,61	10,67	2 120,37	103,11	9,30	8,66	1 504,00	0,00	3,74	1 705,11	194,45	13,37	5,17	1 940,00	0,00	0,87	1 952,41	9,10	0,64	0,63
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	5,74	1 581,09	4,54	0,40	4,04	1 286,00	0,00	1,94	1 286,00	0,00	0,00	2,41	1 574,80	0,00	0,44	1 578,20	4,16	0,22	0,40
4/2/5/3/1	2 142,20	0,64	4,70	2 250,29	78,65	5,72	4,20	1 817,00	0,00	2,93	2 069,33	195,36	13,89	2,80	2 130,30	0,08	0,35	2 136,93	5,16	0,39	0,31
Ortalama	1 431,65	0,86	2,74	1 457,18	19,83	2,35	2,51	1 241,45	0,91	1,22	1 285,90	37,15	3,93	1,33	1 430,69	0,81	0,24	1 434,54	3,53	1,07	0,24

Çizelge Ek 1.2. Küçük boyutlu problemler için TA algoritmasının temel yapısı ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model							İki Aşamalı Model													
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç				Aşama 1				Aşama 2									
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	4,37	969,11	1,97	0,41	4,04	875,00	0,00	1,03	875,00	0,00	0,00	1,40	966,90	0,18	0,38	968,94	2,24	0,39	0,46
2/1/3/4/3	930,90	0,00	2,78	934,13	3,05	0,35	3,94	823,00	0,00	0,69	823,00	0,00	0,00	1,29	930,90	0,00	0,59	933,45	2,16	0,27	0,51
2/1/3/5/3	977,70	0,00	11,60	981,95	3,69	0,43	9,15	823,00	0,00	2,65	823,00	0,00	0,00	3,33	977,70	0,00	0,66	979,23	2,19	0,16	0,90
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	4,53	1 253,36	1,93	0,24	3,98	1 139,00	0,00	0,79	1 142,00	0,95	0,26	1,09	1 250,30	0,00	0,31	1 252,17	2,04	0,15	0,37
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	4,47	1 280,25	3,69	0,33	4,96	1 139,00	0,00	1,21	1 145,00	1,90	0,53	1,47	1 276,00	0,00	0,66	1 279,23	2,83	0,25	0,68
2/1/4/5/3	1 339,30	0,64	9,71	1 341,51	1,80	0,80	11,65	1 139,00	0,00	3,87	1 139,00	0,00	0,00	5,32	1 330,80	0,00	1,04	1 335,39	2,89	0,34	1,42
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	8,55	1 461,75	0,90	0,06	5,94	1 304,00	0,00	1,59	1 304,00	0,00	0,00	2,18	1 460,90	0,00	0,35	1 461,75	1,20	0,06	0,48
2/2/3/3/6	1 212,20	0,28	2,65	1 219,00	4,74	0,84	2,99	1 122,00	0,00	0,84	1 124,00	4,22	0,18	1,14	1 208,80	0,00	0,41	1 212,88	2,91	0,34	0,37
2/2/3/4/6	1 226,50	0,14	3,09	1 239,57	5,94	1,21	4,45	1 122,00	0,00	1,13	1 156,80	38,84	3,10	1,63	1 224,80	0,00	0,59	1 230,07	3,53	0,43	0,56
2/2/3/5/3	1 275,00	0,54	4,56	1 289,15	11,20	1,65	7,23	1 122,00	0,00	2,16	1 133,80	22,56	1,05	3,00	1 268,20	0,00	0,94	1 277,55	3,95	0,74	0,65
2/2/4/3/6	1 369,90	0,25	3,31	1 381,63	5,58	1,11	3,16	1 262,00	0,00	0,78	1 286,50	30,03	1,94	1,09	1 366,50	0,00	0,69	1 372,62	3,02	0,45	0,47
2/2/4/4/6	1 405,80	0,85	4,81	1 488,73	49,31	6,80	5,21	1 410,00	11,73	2,59	1 430,00	17,43	13,31	2,07	1 460,00	4,74	0,44	1 490,00	3,40	6,89	0,70
2/2/5/4/6	1 594,40	8,93	18,90	1 861,88	125,78	27,20	12,45	1 372,00	8,89	7,52	1 810,10	233,82	43,66	8,89	1 574,00	7,54	2,22	1 578,59	2,78	7,85	1,88
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	13,67	1 506,55	3,61	0,40	13,63	1 286,00	0,00	2,31	1 310,50	77,48	1,91	3,94	1 500,60	0,00	0,81	1 505,36	3,47	0,32	1,31
4/1/4/4/1	1 658,80	0,31	32,90	1 665,60	3,21	0,72	23,86	1 329,00	0,00	4,69	1 335,00	3,10	0,45	7,13	1 660,50	0,41	1,15	1 662,88	2,56	0,56	1,46
4/2/3/3/6	1 836,70	11,47	4,59	1 891,08	40,19	14,77	7,03	1 648,00	10,38	5,40	1 856,44	132,31	24,34	3,34	1 806,10	9,61	1,01	1 810,86	2,98	9,90	1,07
4/1/5/3/1	1 801,30	0,28	14,44	1 804,02	2,15	0,44	16,92	1 471,00	0,00	5,01	1 480,00	4,74	0,61	6,09	1 799,60	0,19	1,53	1 802,66	1,76	0,36	1,55
4/2/4/5/3	1 977,40	1,93	28,17	2 223,41	123,63	14,61	30,15	1 719,00	14,30	14,14	1 732,00	4,11	15,16	13,68	2 161,80	11,43	3,32	2 170,13	6,63	11,86	3,57
4/1/3/5/1	1 578,20	0,22	23,99	1 584,32	4,33	0,60	19,46	1 286,00	0,00	4,37	1 310,50	77,48	1,91	6,88	1 576,50	0,11	1,03	1 581,60	3,10	0,43	1,46
4/2/5/3/1	2 160,90	1,52	15,04	2 315,34	77,33	8,77	13,76	2 311,00	27,19	10,27	2 529,38	138,56	39,21	6,82	2 629,40	23,53	1,87	2 637,39	4,32	23,90	1,15
Ortalama	1 439,90	1,37	10,80	1 484,62	23,70	4,09	10,20	1 285,10	3,62	3,65	1 337,30	39,38	7,38	4,09	1 471,52	2,89	1,00	1 477,14	3,00	3,28	1,05

Çizelge Ek 1.3. Küçük boyutlu problemler için GA'nın temel yapısı ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model								İki Aşamalı Model												
	En İyi Sonuç				Ortalama Sonuç				Aşama 1				Aşama 2								
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	5,74	965,20	0,00	0,00	7,54	875,00	0,00	2,90	875,00	0,00	0,00	3,01	965,20	0,00	0,47	965,20	0,00	0,00	0,62
2/1/3/4/3	930,90	0,00	5,20	930,90	0,00	0,00	6,49	823,00	0,00	3,09	823,00	0,00	0,00	3,19	930,90	0,00	0,47	930,90	0,00	0,00	0,53
2/1/3/5/3	977,70	0,00	11,88	977,70	0,00	0,00	15,14	823,00	0,00	6,46	823,00	0,00	0,00	6,64	977,70	0,00	0,75	977,70	0,00	0,00	0,90
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	5,24	1 250,64	0,72	0,03	6,45	1 139,00	0,00	2,99	1 139,00	0,00	0,00	3,07	1 250,30	0,00	0,28	1 250,30	0,00	0,00	0,44
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	12,10	1 276,00	0,00	0,00	10,96	1 139,00	0,00	4,40	1 139,00	0,00	0,00	4,43	1 276,00	0,00	0,65	1 276,51	0,82	0,04	0,86
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	15,10	1 332,33	2,83	0,11	22,61	1 139,00	0,00	9,17	1 139,00	0,00	0,00	9,35	1 330,80	0,00	1,31	1 330,80	0,00	0,00	1,61
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	7,24	1 460,90	0,00	0,00	9,34	1 304,00	0,00	4,77	1 304,00	0,00	0,00	4,92	1 460,90	0,00	0,47	1 460,90	0,00	0,00	0,57
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	5,12	1 211,16	3,27	0,20	5,74	1 122,00	0,00	1,78	1 122,00	0,00	0,00	1,85	1 208,80	0,00	0,47	1 208,80	0,00	0,00	0,64
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	9,73	1 227,99	4,13	0,26	8,82	1 122,00	0,00	2,62	1 122,00	0,00	0,00	2,79	1 224,80	0,00	0,56	1 224,97	0,54	0,01	0,71
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	8,24	1 270,54	5,00	0,18	12,55	1 122,00	0,00	4,68	1 122,00	0,00	0,00	4,90	1 268,20	0,00	0,75	1 268,20	0,00	0,00	0,88
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	6,99	1 368,71	2,54	0,16	7,49	1 262,00	0,00	2,06	1 262,00	0,00	0,00	2,24	1 366,50	0,00	0,47	1 366,50	0,00	0,00	0,72
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	10,23	1 448,46	41,12	3,91	12,11	1 262,00	0,00	3,65	1 305,67	35,65	3,46	3,96	1 393,90	0,00	0,94	1 393,90	0,00	0,00	1,12
2/2/5/4/6	1 573,20	7,48	54,04	1 636,41	73,24	11,80	38,45	1 364,00	8,25	15,35	1 459,80	64,40	15,86	15,92	1 566,00	6,99	1,59	1 566,51	0,82	7,02	2,35
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	22,37	1 501,62	1,64	0,07	22,00	1 286,00	0,00	8,15	1 286,00	0,00	0,00	8,33	1 500,60	0,00	1,22	1 500,60	0,00	0,00	1,82
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	27,09	1 654,89	1,97	0,07	40,17	1 329,00	0,00	16,66	1 329,00	0,00	0,00	16,83	1 653,70	0,00	1,78	1 653,70	0,00	0,00	2,53
4/2/3/3/6	1 750,50	6,24	16,47	1 797,08	19,94	9,07	16,00	1 599,00	7,10	13,39	1 630,30	12,09	9,20	7,70	1 753,70	6,43	1,50	1 755,06	1,08	6,52	1,44
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	27,58	1 798,24	2,24	0,11	33,17	1 471,00	0,00	13,01	1 471,00	0,00	0,00	13,20	1 796,20	0,00	1,50	1 797,39	1,61	0,07	2,10
4/2/4/5/3	1 943,40	0,18	105,70	2 000,97	43,76	3,14	80,81	1 504,00	0,00	27,67	1 541,70	79,58	2,51	42,32	1 940,00	0,00	5,39	1 941,36	1,34	0,07	6,71
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	38,19	1 575,31	1,15	0,03	32,92	1 286,00	0,00	14,60	1 286,00	0,00	0,00	14,76	1 574,80	0,00	1,68	1 575,65	1,84	0,05	2,06
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	39,31	2 158,97	29,92	1,43	42,78	1 817,00	0,00	11,05	1 840,40	49,33	1,29	13,08	2 130,30	0,08	2,24	2 133,02	2,68	0,21	2,17
Ortalama	1 428,75	0,69	21,68	1 442,20	11,67	1,53	21,58	1 239,40	0,77	8,42	1 250,99	12,05	1,62	9,12	1 428,47	0,68	1,22	1 428,90	0,54	0,70	1,54

Çizelge Ek 1.4. Küçük boyutlu problemler için DGA'nın temel yapısı ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model								İki Aşamalı Model												
	En İyi Sonuç				Ortalama Sonuç				Aşama 1				Aşama 2								
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	12,11	965,37	0,54	0,02	9,54	875,00	0,00	4,58	875,00	0,00	0,00	4,86	965,20	0,00	0,75	965,20	0,00	0,00	0,90
2/1/3/4/3	930,90	0,00	7,72	930,90	0,00	0,00	9,42	823,00	0,00	4,94	823,00	0,00	0,00	5,09	930,90	0,00	0,67	930,90	0,00	0,00	0,79
2/1/3/5/3	977,70	0,00	15,40	977,70	0,00	0,00	18,07	823,00	0,00	10,47	823,00	0,00	0,00	10,74	977,70	0,00	1,12	977,70	0,00	0,00	1,22
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	6,61	1 250,30	0,00	0,00	8,72	1 139,00	0,00	4,72	1 139,00	0,00	0,00	4,82	1 250,30	0,00	0,49	1 250,30	0,00	0,00	0,58
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	9,44	1 276,00	0,00	0,00	12,47	1 139,00	0,00	6,79	1 139,00	0,00	0,00	7,10	1 276,00	0,00	0,97	1 276,00	0,00	0,00	1,11
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	19,00	1 330,80	0,00	0,00	24,04	1 139,00	0,00	14,23	1 139,00	0,00	0,00	14,85	1 330,80	0,00	1,59	1 330,80	0,00	0,00	2,04
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	8,42	1 460,90	0,00	0,00	12,19	1 304,00	0,00	7,21	1 304,00	0,00	0,00	7,33	1 460,90	0,00	0,65	1 460,90	0,00	0,00	0,68
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	5,34	1 208,97	0,54	0,01	7,20	1 122,00	0,00	2,71	1 122,00	0,00	0,00	2,72	1 208,80	0,00	0,56	1 208,80	0,00	0,00	0,69
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	8,89	1 225,14	1,08	0,03	11,00	1 122,00	0,00	3,93	1 122,00	0,00	0,00	4,23	1 224,80	0,00	0,75	1 224,80	0,00	0,00	1,00
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	10,67	1 268,37	0,54	0,01	17,08	1 122,00	0,00	7,21	1 122,00	0,00	0,00	7,29	1 268,20	0,00	0,94	1 268,20	0,00	0,00	1,12
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	10,30	1 367,69	1,15	0,09	9,17	1 262,00	0,00	3,28	1 262,00	0,00	0,00	3,35	1 366,50	0,00	0,75	1 366,50	0,00	0,00	0,96
2/2/4/4/6	1 395,60	0,12	17,60	1 435,15	51,43	2,96	15,25	1 262,00	0,00	5,99	1 311,33	20,33	3,91	5,75	1 393,90	0,00	1,22	1 393,90	0,00	0,00	1,46
2/2/5/4/6	1 487,30	1,61	32,02	1 561,11	93,44	6,66	44,81	1 364,00	8,25	18,63	1 445,20	70,75	14,70	27,94	1 560,90	6,64	2,44	1 561,58	0,88	6,69	3,56
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	19,66	1 500,94	1,08	0,02	24,37	1 286,00	0,00	12,35	1 286,00	0,00	0,00	12,47	1 500,60	0,00	1,59	1 500,60	0,00	0,00	2,28
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	49,79	1 653,70	0,00	0,00	64,23	1 329,00	0,00	24,99	1 329,00	0,00	0,00	25,13	1 653,70	0,00	2,81	1 654,04	0,72	0,02	3,45
4/2/3/3/6	1 711,30	3,86	27,14	1 789,06	50,44	8,58	24,53	1 493,00	0,00	7,49	1 619,60	46,18	8,48	8,41	1 651,10	0,21	1,97	1 651,27	0,54	0,22	2,34
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	56,16	1 797,73	1,25	0,09	44,00	1 471,00	0,00	19,75	1 471,00	0,00	0,00	20,36	1 796,20	0,00	2,34	1 797,05	1,20	0,05	3,29
4/2/4/5/3	1 941,70	0,09	79,47	1 957,85	12,40	0,92	97,34	1 504,00	0,00	37,16	1 561,40	92,54	3,82	41,88	1 940,00	0,00	6,27	1 942,04	2,38	0,11	7,87
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	39,59	1 575,65	1,44	0,05	47,66	1 286,00	0,00	22,46	1 286,00	0,00	0,00	22,75	1 574,80	0,00	2,15	1 574,80	0,00	0,00	3,27
4/2/5/3/1	2 142,00	0,63	65,52	2 147,27	3,44	0,88	44,64	1 817,00	0,00	16,57	1 817,00	0,00	0,00	19,67	2 128,60	0,00	2,99	2 130,30	2,66	0,08	2,95
Ortalama	1 423,17	0,32	25,04	1 434,03	10,94	1,02	27,29	1 234,10	0,41	11,77	1 249,83	11,49	1,55	12,84	1 423,00	0,34	1,65	1 423,28	0,42	0,36	2,08

Çizelge Ek 1.5. Küçük boyutlu problemler için PSO algoritmasının temel yapısı ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model								İki Aşamalı Model												
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç					Aşama 1				Aşama 2								
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	SS	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	8,00	965,20	0,00	0,00	10,70	875,00	0,00	6,38	875,00	0,00	0,00	6,61	966,90	0,18	0,50	966,90	0,00	0,18	0,74
2/1/3/4/3	930,90	0,00	9,42	930,90	0,00	0,00	8,55	823,00	0,00	6,58	823,00	0,00	0,00	6,67	930,90	0,00	0,62	930,90	0,00	0,00	0,81
2/1/3/5/3	977,70	0,00	12,21	977,70	0,00	0,00	17,52	823,00	0,00	15,07	823,00	0,00	0,00	16,42	977,70	0,00	1,06	977,70	0,00	0,00	1,44
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	8,99	1 250,30	0,00	0,00	8,12	1 139,00	0,00	6,77	1 139,00	0,00	0,00	6,93	1 250,30	0,00	0,42	1 250,64	0,72	0,03	0,62
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	7,73	1 276,17	0,54	0,01	11,97	1 139,00	0,00	9,57	1 139,00	0,00	0,00	9,97	1 276,00	0,00	0,87	1 276,17	0,54	0,01	1,00
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	22,74	1 330,80	0,00	0,00	27,62	1 139,00	0,00	19,55	1 139,00	0,00	0,00	19,90	1 330,80	0,00	1,62	1 331,14	1,08	0,03	2,05
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	15,72	1 460,90	0,00	0,00	12,32	1 304,00	0,00	10,19	1 304,00	0,00	0,00	10,53	1 460,90	0,00	0,62	1 460,90	0,00	0,00	0,74
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	4,07	1 209,14	1,08	0,03	6,96	1 122,00	0,00	3,79	1 122,00	0,00	0,00	3,92	1 208,80	0,00	0,50	1 208,80	0,00	0,00	0,67
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	7,02	1 227,67	3,97	0,23	11,91	1 122,00	0,00	5,79	1 123,00	3,16	0,09	5,98	1 224,80	0,00	1,00	1 225,31	1,61	0,04	1,17
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	21,77	1 269,22	2,29	0,08	17,46	1 122,00	0,00	10,62	1 122,00	0,00	0,00	10,94	1 268,20	0,00	1,00	1 268,54	1,08	0,03	1,34
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	8,85	1 368,88	2,68	0,17	9,54	1 262,00	0,00	4,59	1 262,00	0,00	0,00	4,85	1 366,50	0,00	0,87	1 366,67	0,54	0,01	1,12
2/2/4/4/6	1 395,60	0,12	19,52	1 442,00	59,16	3,45	17,19	1 262,00	0,00	8,38	1 327,50	53,48	5,19	9,55	1 393,90	0,00	1,12	1 393,90	0,00	0,00	1,76
2/2/5/4/6	1 475,60	0,81	23,45	1 583,25	106,05	8,17	32,45	1 361,00	8,02	32,35	1 446,90	67,80	14,83	32,26	1 557,90	6,44	2,39	1 558,24	1,08	6,46	3,24
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	17,42	1 501,45	1,20	0,06	29,13	1 286,00	0,00	18,80	1 286,00	0,00	0,00	19,20	1 500,60	0,00	1,93	1 501,62	1,64	0,07	2,24
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	51,39	1 654,55	1,65	0,05	64,05	1 329,00	0,00	37,34	1 329,00	0,00	0,00	38,78	1 653,70	0,00	2,67	1 655,74	2,98	0,12	3,28
4/2/3/3/6	1 755,60	6,55	27,80	1 783,82	15,58	8,26	17,75	1 589,00	6,43	21,57	1 620,80	22,38	8,56	14,56	1 747,10	6,03	2,00	1 747,95	0,90	6,08	2,10
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	61,91	1 797,56	1,76	0,08	45,03	1 471,00	0,00	27,95	1 471,00	0,00	0,00	28,18	1 796,20	0,00	2,62	1 798,07	1,49	0,10	2,67
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	183,36	1 960,06	13,07	1,03	114,62	1 504,00	0,00	50,34	1 531,50	64,40	1,83	68,30	1 940,00	0,00	6,62	1 942,04	2,24	0,11	8,44
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	51,95	1 575,99	1,40	0,08	51,21	1 286,00	0,00	31,95	1 286,00	0,00	0,00	32,11	1 574,80	0,00	2,00	1 577,69	4,09	0,18	2,23
4/2/5/3/1	2 133,70	0,24	45,35	2 141,52	6,52	0,61	46,94	1 817,00	0,00	23,15	1 828,70	37,00	0,64	24,45	2 128,60	0,00	2,99	2 131,32	1,83	0,13	2,86
Ortalama	1 424,30	0,39	30,43	1 435,35	10,85	1,12	28,05	1 238,75	0,72	17,54	1 249,92	12,41	1,56	18,51	1 427,73	0,63	1,67	1 428,51	1,09	0,68	2,03

EK 2 ÇSÜAYP İçin Geliştirilmiş Olan Alternatif Algoritmalara Ait Sonuçlar

Çizelge Ek 2.1. Küçük boyutlu problemler için hafıza yapısıyla bütünleştirilmiş GA ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,45	965,71	0,05	0,59	875,00	0,00	0,12	875,00	0,00	0,13	965,20	0,00	0,23	965,20	0,00	0,27
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,40	930,90	0,00	0,51	823,00	0,00	0,14	823,00	0,00	0,15	930,90	0,00	0,22	930,90	0,00	0,26
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,67	977,70	0,00	1,01	823,00	0,00	0,45	823,00	0,00	0,56	977,70	0,00	0,36	977,70	0,00	0,42
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,28	1 251,15	0,07	0,36	1 139,00	0,00	0,13	1 139,00	0,00	0,14	1 250,30	0,00	0,14	1 250,30	0,00	0,17
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,48	1 276,00	0,00	0,60	1 139,00	0,00	0,23	1 139,00	0,00	0,25	1 276,00	0,00	0,27	1 276,00	0,00	0,29
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,20	1 332,50	0,13	1,62	1 139,00	0,00	0,55	1 139,00	0,00	0,83	1 330,80	0,00	0,56	1 330,80	0,00	0,63
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,52	1 460,90	0,00	0,69	1 304,00	0,00	0,28	1 304,00	0,00	0,32	1 460,90	0,00	0,20	1 460,90	0,00	0,23
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,89	1 209,48	0,06	0,63	1 122,00	0,00	0,11	1 122,00	0,00	0,11	1 433,30	18,57	3,01	1 435,00	18,71	3,67
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,77	1 229,20	0,36	0,88	1 122,00	0,00	0,14	1 122,00	0,00	0,16	1 224,80	0,00	0,27	1 225,48	0,06	0,32
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,31	1 272,60	0,35	1,27	1 122,00	0,00	0,31	1 122,00	0,00	0,35	1 268,20	0,00	0,33	1 268,88	0,05	0,37
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,78	1 367,01	0,04	0,76	1 262,00	0,00	0,12	1 262,00	0,00	0,14	1 366,50	0,00	0,23	1 367,35	0,06	0,27
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	1,11	1 417,40	1,69	1,19	1 262,00	0,00	0,25	1 323,70	4,89	0,25	1 393,90	0,00	0,46	1 394,07	0,01	0,57
2/2/5/4/6	1 557,90	6,44	2,37	1 577,65	7,79	2,75	1 307,00	3,73	1,26	1 387,10	10,09	0,92	1 510,70	3,21	0,83	1 510,70	3,21	0,94
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,36	1 501,28	0,05	1,48	1 286,00	0,00	0,58	1 286,00	0,00	0,66	1 500,60	0,00	0,52	1 500,94	0,02	0,59
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,50	1 655,74	0,12	2,58	1 329,00	0,00	1,50	1 329,00	0,00	1,83	1 653,70	0,00	0,72	1 653,70	0,00	0,90
4/2/3/3/6	1 786,70	8,44	2,03	1 804,10	9,49	1,88	1 493,00	0,00	0,36	1 630,50	9,21	0,34	1 651,10	0,21	0,47	1 651,27	0,22	0,62
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	1,48	1 797,56	0,08	2,22	1 471,00	0,00	1,01	1 471,00	0,00	1,16	1 796,20	0,00	0,72	1 797,05	0,05	0,81
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	4,74	1 998,59	3,02	6,90	1 504,00	0,00	1,95	1 549,10	3,00	2,73	1 940,00	0,00	1,69	1 940,34	0,02	2,01
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	1,94	1 576,84	0,13	2,37	1 286,00	0,00	1,39	1 286,00	0,00	1,61	1 574,80	0,00	0,67	1 575,48	0,04	0,85
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	5,80	2 177,78	2,31	3,73	1 817,00	0,00	1,08	1 840,40	1,29	1,12	2 128,60	0,00	0,59	2 129,28	0,03	0,74
Ortalama	1 429,63	0,74	1,55	1 439,00	1,29	1,70	1 231,25	0,19	0,60	1 248,64	1,42	0,69	1 431,71	1,10	0,62	1 432,07	1,12	0,75

Çizelge Ek 2.2. Küçük boyutlu problemler için hafıza yapısıyla bütünleştirilmiş DGA ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,25	965,20	0,00	0,32	875,00	0,00	0,18	875,00	0,00	0,30	965,20	0,00	0,24	965,20	0,00	0,27
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,31	930,90	0,00	0,37	823,00	0,00	0,18	823,00	0,00	0,21	930,90	0,00	0,24	930,90	0,00	0,26
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,09	977,70	0,00	1,12	823,00	0,00	0,42	823,00	0,00	0,51	977,70	0,00	0,42	977,70	0,00	0,44
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,23	1 250,30	0,00	0,26	1 139,00	0,00	0,18	1 139,00	0,00	0,24	1 250,30	0,00	0,17	1 250,30	0,00	0,20
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,47	1 276,00	0,00	0,60	1 139,00	0,00	0,27	1 139,00	0,00	0,30	1 276,00	0,00	0,30	1 276,00	0,00	0,36
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,31	1 330,80	0,00	1,61	1 139,00	0,00	0,66	1 139,00	0,00	0,72	1 330,80	0,00	0,59	1 330,80	0,00	0,69
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,52	1 460,90	0,00	0,58	1 304,00	0,00	0,33	1 304,00	0,00	0,36	1 460,90	0,00	0,21	1 460,90	0,00	0,24
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,42	1 208,80	0,00	0,52	1 122,00	0,00	0,18	1 122,00	0,00	0,21	1 208,80	0,00	0,21	1 208,80	0,00	0,24
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,44	1 225,48	0,06	0,74	1 122,00	0,00	0,24	1 122,00	0,00	0,30	1 224,80	0,00	0,26	1 224,80	0,00	0,30
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	0,83	1 268,20	0,00	1,08	1 122,00	0,00	0,42	1 122,00	0,00	0,45	1 268,20	0,00	0,33	1 268,20	0,00	0,39
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,42	1 366,50	0,00	0,55	1 262,00	0,00	0,24	1 262,00	0,00	0,27	1 366,50	0,00	0,26	1 366,50	0,00	0,30
2/2/4/4/6	1 395,60	0,12	0,73	1 450,64	4,07	0,95	1 262,00	0,00	0,42	1 331,80	5,53	0,45	1 393,90	0,00	0,41	1 393,90	0,00	0,45
2/2/5/4/6	1 563,00	6,78	4,51	1 585,50	8,32	3,03	1 361,00	8,02	1,77	1 400,80	11,17	2,04	1 557,90	6,44	0,83	1 557,90	6,44	0,93
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	0,95	1 500,94	0,02	1,25	1 286,00	0,00	0,60	1 286,00	0,00	0,63	1 500,60	0,00	0,59	1 501,28	0,05	0,68
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,67	1 653,70	0,00	3,06	1 329,00	0,00	1,08	1 329,00	0,00	1,11	1 653,70	0,00	0,83	1 654,04	0,02	0,96
4/2/3/3/6	1 752,20	6,34	2,12	1 782,18	8,16	1,45	1 632,00	9,31	0,69	1 635,30	9,53	0,78	1 786,70	8,44	0,56	1 787,04	8,46	0,65
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	1,73	1 797,39	0,07	2,07	1 471,00	0,00	1,11	1 471,00	0,00	1,17	1 796,20	0,00	0,72	1 797,56	0,08	0,86
4/2/4/5/3	1 946,80	0,35	8,58	1 963,44	1,21	9,72	1 504,00	0,00	3,24	1 617,10	7,52	3,72	1 940,00	0,00	3,96	1 944,42	0,23	2,82
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	2,22	1 574,80	0,00	2,52	1 286,00	0,00	0,99	1 286,00	0,00	1,02	1 574,80	0,00	0,75	1 574,80	0,00	1,05
4/2/5/3/1	2 133,70	0,24	2,71	2 138,80	0,48	2,53	1 817,00	0,00	1,68	1 817,00	0,00	1,92	2 130,30	0,08	0,93	2 133,19	0,22	1,04
Ortalama	1 428,84	0,69	1,63	1 435,41	1,12	1,72	1 240,90	0,87	0,74	1 252,20	1,69	0,84	1 429,71	0,75	0,64	1 430,21	0,77	0,65

Çizelge Ek 2.3. Küçük boyutlu problemler için hafıza yapısıyla bütünleştirilmiş PSO ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,31	965,54	0,04	0,31	875,00	0,00	0,09	875,00	0,00	0,10	965,20	0,00	0,16	965,20	0,00	0,19
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,28	930,90	0,00	0,30	823,00	0,00	0,11	823,00	0,00	0,12	930,90	0,00	0,12	930,90	0,00	0,15
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,61	977,70	0,00	0,80	823,00	0,00	0,56	823,00	0,00	0,60	977,70	0,00	0,22	977,87	0,02	0,26
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,20	1 250,64	0,03	0,25	1 139,00	0,00	0,09	1 139,00	0,00	0,11	1 250,30	0,00	0,08	1 250,30	0,00	0,12
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,37	1 276,00	0,00	0,48	1 139,00	0,00	0,20	1 139,00	0,00	0,20	1 276,00	0,00	0,17	1 276,51	0,04	0,21
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	0,95	1 331,48	0,05	1,32	1 139,00	0,00	1,00	1 139,00	0,00	1,08	1 430,70	7,51	1,03	1 430,70	7,51	1,23
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,39	1 460,90	0,00	0,47	1 304,00	0,00	0,27	1 304,00	0,00	0,28	1 460,90	0,00	0,12	1 460,90	0,00	0,15
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,44	1 208,97	0,01	0,45	1 122,00	0,00	0,06	1 122,00	0,00	0,07	1 297,30	7,32	4,07	1 297,30	7,32	3,92
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,48	1 224,80	0,00	0,55	1 122,00	0,00	0,09	1 122,00	0,00	0,11	1 224,80	0,00	0,17	1 224,80	0,00	0,22
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	0,77	1 268,37	0,01	0,90	1 122,00	0,00	0,25	1 122,00	0,00	0,30	1 268,20	0,00	0,23	1 268,20	0,00	0,31
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,48	1 367,01	0,04	0,59	1 262,00	0,00	0,09	1 262,00	0,00	0,11	1 366,50	0,00	0,17	1 366,50	0,00	0,24
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	0,81	1 428,35	2,47	0,78	1 336,00	5,86	0,17	1 336,00	5,86	0,20	1 462,80	4,94	0,28	1 463,14	4,97	0,36
2/2/5/4/6	1 561,30	6,67	2,81	1 643,87	12,31	2,42	1 260,00	0,00	1,06	1 440,80	14,35	1,21	1 463,70	0,00	0,55	1 463,70	0,00	0,67
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	0,98	1 501,62	0,07	1,11	1 286,00	0,00	0,89	1 286,00	0,00	0,91	1 500,60	0,00	0,37	1 501,11	0,03	0,45
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,09	1 654,21	0,03	3,32	1 329,00	0,00	2,81	1 329,00	0,00	2,88	1 653,70	0,00	0,48	1 654,55	0,05	0,66
4/2/3/3/6	1 753,70	6,43	1,16	1 795,14	8,95	1,19	1 632,00	9,31	0,33	1 641,10	9,92	0,32	1 785,00	8,33	0,39	1 785,17	8,34	0,48
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	1,98	1 797,39	0,07	2,07	1 471,00	0,00	1,37	1 471,00	0,00	1,41	1 796,20	0,00	0,50	1 797,73	0,09	0,61
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	8,56	2 005,73	3,39	7,91	1 504,00	0,00	3,79	1 522,00	1,20	5,17	1 940,00	0,00	1,28	1 941,53	0,08	1,64
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	2,40	1 575,14	0,02	2,69	1 286,00	0,00	1,98	1 286,00	0,00	2,10	1 856,80	17,91	0,50	1 858,16	17,99	0,54
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	2,26	2 172,20	2,05	2,69	1 817,00	0,00	0,86	1 875,50	3,22	1,30	2 128,60	0,00	0,53	2 130,13	0,07	0,61
Ortalama	1 428,15	0,66	1,42	1 441,80	1,48	1,53	1 239,55	0,76	0,80	1 252,87	1,73	0,93	1 451,80	2,30	0,57	1 452,22	2,33	0,65

Çizelge Ek 2.4. Küçük boyutlu problemler için HGA-TB ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,37	965,54	0,04	0,44	875,00	0,00	0,11	875,00	0,00	0,13	966,90	0,18	0,22	966,90	0,18	0,26
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,48	930,90	0,00	0,54	823,00	0,00	0,14	823,00	0,00	0,14	930,90	0,00	0,23	930,90	0,00	0,26
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,91	977,70	0,00	1,03	823,00	0,00	0,42	823,00	0,00	0,51	977,70	0,00	0,37	977,70	0,00	0,40
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,31	1 250,30	0,00	0,34	1 139,00	0,00	0,12	1 139,00	0,00	0,14	1 250,30	0,00	0,16	1 250,30	0,00	0,22
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,48	1 276,00	0,00	0,58	1 139,00	0,00	0,19	1 139,00	0,00	0,22	1 276,00	0,00	0,30	1 276,00	0,00	0,38
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,12	1 332,16	0,10	1,27	1 139,00	0,00	0,56	1 139,00	0,00	0,76	1 330,80	0,00	0,58	1 331,14	0,03	0,83
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,52	1 460,90	0,00	0,65	1 304,00	0,00	0,27	1 304,00	0,00	0,30	1 460,90	0,00	0,22	1 460,90	0,00	0,24
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,66	1 209,14	0,03	0,78	1 122,00	0,00	0,09	1 122,00	0,00	0,10	1 208,80	0,00	0,17	1 208,80	0,00	0,23
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,63	1 225,31	0,04	0,98	1 122,00	0,00	0,15	1 122,00	0,00	0,15	1 224,80	0,00	0,25	1 224,80	0,00	0,34
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	0,97	1 272,05	0,30	1,02	1 122,00	0,00	0,27	1 122,00	0,00	0,32	1 268,20	0,00	0,30	1 268,20	0,00	0,42
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,73	1 368,88	0,17	0,88	1 262,00	0,00	0,13	1 262,00	0,00	0,14	1 366,50	0,00	0,23	1 367,52	0,07	0,32
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	1,01	1 442,10	3,46	1,10	1 262,00	0,00	0,20	1 299,00	2,93	0,22	1 393,90	0,00	0,42	1 393,90	0,00	0,57
2/2/5/4/6	1 512,40	3,33	3,09	1 610,65	10,04	3,04	1 260,00	0,00	0,78	1 385,30	9,94	0,88	1 463,70	0,00	0,84	1 463,70	0,00	0,90
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,24	1 500,94	0,02	1,52	1 286,00	0,00	0,70	1 286,00	0,00	0,77	1 500,60	0,00	0,56	1 500,94	0,02	0,93
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	3,64	1 654,38	0,04	2,87	1 329,00	0,00	1,72	1 329,00	0,00	1,92	1 653,70	0,00	0,80	1 654,21	0,03	1,25
4/2/3/3/6	1 649,40	0,10	1,86	1 746,96	6,02	1,96	1 493,00	0,00	0,44	1 620,20	8,52	0,39	1 748,80	6,14	0,52	1 749,14	6,16	0,81
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	1,68	1 797,73	0,09	2,16	1 471,00	0,00	1,12	1 471,00	0,00	1,26	1 796,20	0,00	0,72	1 797,56	0,08	0,95
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	5,35	1 963,61	1,22	8,02	1 504,00	0,00	2,39	1 504,00	0,00	3,58	1 940,00	0,00	2,62	1 941,70	0,09	3,00
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	1,90	1 575,48	0,04	2,46	1 286,00	0,00	1,39	1 286,00	0,00	1,78	1 574,80	0,00	0,75	1 575,14	0,02	1,06
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	3,70	2 155,74	1,28	3,10	1 817,00	0,00	1,03	1 828,70	0,64	1,16	2 128,60	0,00	1,64	2 131,15	0,12	1,12
Ortalama	1 420,49	0,17	1,53	1 435,82	1,14	1,74	1 228,90	0,00	0,61	1 243,96	1,10	0,74	1 423,11	0,32	0,60	1 423,53	0,34	0,72

Çizelge Ek 2.5. Küçük boyutlu problemler için HGA-TB (Rulet Çemberi) ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,34	965,37	0,02	0,54	875,00	0,00	0,11	875,00	0,00	0,12	966,90	0,18	0,25	967,07	0,19	0,27
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,39	930,90	0,00	0,56	823,00	0,00	0,14	823,00	0,00	0,14	930,90	0,00	0,23	930,90	0,00	0,26
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,14	977,70	0,00	1,47	823,00	0,00	0,53	823,00	0,00	0,55	977,70	0,00	0,33	977,70	0,00	0,39
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,41	1 250,47	0,01	0,50	1 139,00	0,00	0,12	1 139,00	0,00	0,13	1 250,30	0,00	0,14	1 250,30	0,00	0,15
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,66	1 276,17	0,01	0,80	1 139,00	0,00	0,22	1 139,00	0,00	0,23	1 276,00	0,00	0,27	1 276,34	0,03	0,31
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,89	1 331,14	0,03	2,39	1 139,00	0,00	0,87	1 139,00	0,00	0,98	1 330,80	0,00	0,52	1 330,80	0,00	0,60
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,64	1 460,90	0,00	0,73	1 304,00	0,00	0,30	1 304,00	0,00	0,31	1 460,90	0,00	0,19	1 460,90	0,00	0,21
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	1,28	1 209,65	0,07	0,81	1 122,00	0,00	0,09	1 122,00	0,00	0,10	1 552,60	28,44	3,70	1 553,62	28,53	5,58
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	1,06	1 225,48	0,06	1,12	1 122,00	0,00	0,14	1 122,00	0,00	0,15	1 224,80	0,00	0,29	1 224,80	0,00	0,35
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	0,98	1 270,07	0,15	1,39	1 122,00	0,00	0,36	1 122,00	0,00	0,37	1 860,50	46,70	9,66	1 860,50	46,70	12,92
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,55	1 368,03	0,11	0,86	1 262,00	0,00	0,12	1 262,00	0,00	0,13	1 366,50	0,00	0,22	1 366,67	0,01	0,30
2/2/4/4/6	1 462,80	4,94	1,54	1 474,70	5,80	1,51	1 262,00	0,00	0,22	1 325,40	5,02	0,23	1 393,90	0,00	0,41	1 394,41	0,04	0,46
2/2/5/4/6	1 473,90	0,70	2,54	1 551,25	5,98	3,85	1 260,00	0,00	2,17	1 375,90	9,20	2,05	1 463,70	0,00	0,75	1 463,70	0,00	0,84
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	2,36	1 500,77	0,01	2,16	1 286,00	0,00	0,69	1 286,00	0,00	0,73	1 500,60	0,00	0,54	1 500,94	0,02	0,69
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	3,98	1 654,21	0,03	4,60	1 329,00	0,00	1,90	1 329,00	0,00	1,98	1 653,70	0,00	0,86	1 653,70	0,00	1,04
4/2/3/3/6	1 676,60	1,75	1,45	1 776,37	7,81	2,12	1 589,00	6,43	0,72	1 627,70	9,02	0,53	1 647,70	0,00	0,47	1 648,72	0,06	0,58
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	2,34	1 797,05	0,05	3,75	1 471,00	0,00	1,20	1 471,00	0,00	1,25	1 796,20	0,00	0,83	1 797,22	0,06	0,91
4/2/4/5/3	1 941,70	0,09	25,18	1 956,32	0,84	13,21	1 504,00	0,00	5,13	1 504,00	0,00	6,34	1 940,00	0,00	1,73	1 941,53	0,08	2,30
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	3,71	1 575,65	0,05	4,39	1 286,00	0,00	1,79	1 286,00	0,00	1,89	1 574,80	0,00	0,66	1 575,48	0,04	0,81
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	5,97	2 139,65	0,52	4,66	1 817,00	0,00	1,58	1 817,00	0,00	1,84	2 128,60	0,00	0,58	2 130,13	0,07	0,66
Ortalama	1 423,45	0,37	2,92	1 434,59	1,08	2,57	1 233,70	0,32	0,92	1 244,60	1,16	1,00	1 464,86	3,77	1,13	1 465,27	3,79	1,48

Çizelge Ek 2.6. Küçük boyutlu problemler için HGA-TB-STÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,48	965,71	0,05	0,47	875,00	0,00	0,11	875,00	0,00	0,12	966,90	0,18	0,19	966,90	0,18	0,27
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,48	930,90	0,00	0,49	823,00	0,00	0,16	823,00	0,00	0,17	930,90	0,00	0,18	930,90	0,00	0,23
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,98	978,04	0,03	1,27	823,00	0,00	0,47	823,00	0,00	0,56	977,70	0,00	0,42	977,70	0,00	0,50
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,33	1 250,30	0,00	0,37	1 139,00	0,00	0,14	1 139,00	0,00	0,15	1 250,30	0,00	0,16	1 250,30	0,00	0,17
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,72	1 276,00	0,00	0,73	1 139,00	0,00	0,23	1 139,00	0,00	0,25	1 276,00	0,00	0,26	1 276,34	0,03	0,30
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,62	1 331,48	0,05	1,69	1 139,00	0,00	0,63	1 139,00	0,00	0,82	1 330,80	0,00	0,53	1 330,80	0,00	0,61
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,52	1 460,90	0,00	0,65	1 304,00	0,00	0,29	1 304,00	0,00	0,32	1 460,90	0,00	0,21	1 460,90	0,00	0,22
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,48	1 210,48	0,14	0,64	1 122,00	0,00	0,11	1 122,00	0,00	0,11	1 208,80	0,00	0,16	1 209,31	0,04	0,18
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,70	1 227,48	0,22	0,72	1 122,00	0,00	0,14	1 124,00	0,18	0,15	1 224,80	0,00	0,27	1 224,80	0,00	0,30
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,01	1 269,88	0,13	1,08	1 122,00	0,00	0,25	1 123,00	0,09	0,28	1 268,20	0,00	0,33	1 268,88	0,05	0,36
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,64	1 367,52	0,07	0,90	1 262,00	0,00	0,12	1 262,00	0,00	0,13	1 366,50	0,00	0,25	1 367,01	0,04	0,29
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	1,41	1 418,80	1,79	1,26	1 262,00	0,00	0,20	1 311,30	3,91	0,23	1 393,90	0,00	0,42	1 393,90	0,00	0,52
2/2/5/4/6	1 473,90	0,70	3,93	1 583,96	8,22	3,47	1 260,00	0,00	1,22	1 398,70	11,01	1,01	1 463,70	0,00	0,76	1 463,70	0,00	0,86
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,17	1 501,62	0,07	1,46	1 286,00	0,00	0,58	1 286,00	0,00	0,71	1 500,60	0,00	0,52	1 501,79	0,08	0,64
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,03	1 656,42	0,16	2,48	1 329,00	0,00	1,79	1 329,00	0,00	1,94	1 653,70	0,00	0,81	1 654,89	0,07	0,97
4/2/3/3/6	1 647,70	0,00	1,53	1 760,69	6,86	1,81	1 493,00	0,00	0,35	1 606,30	7,59	0,38	1 651,10	0,21	0,51	1 651,10	0,21	0,58
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	1,93	1 797,05	0,05	2,58	1 471,00	0,00	1,07	1 471,00	0,00	1,23	1 796,20	0,00	0,63	1 797,05	0,05	0,78
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	5,06	1 945,10	0,26	7,72	1 504,00	0,00	2,82	1 504,00	0,00	3,75	1 940,00	0,00	2,01	1 940,34	0,02	2,23
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	1,86	1 575,65	0,05	2,57	1 286,00	0,00	1,29	1 286,00	0,00	1,65	1 574,80	0,00	0,61	1 574,97	0,01	0,80
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	4,84	2 171,52	2,02	4,05	1 817,00	0,00	1,05	1 863,80	2,58	1,20	2 128,60	0,00	0,63	2 130,13	0,07	0,70
Ortalama	1 418,48	0,03	1,59	1 433,98	1,01	1,82	1 228,90	0,00	0,65	1 246,46	1,27	0,76	1 418,22	0,02	0,49	1 418,59	0,04	0,58

Çizelge Ek 2.7. Küçük boyutlu problemler için HGA-TB-SÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,43	965,20	0,00	0,35	875,00	0,00	0,07	875,00	0,00	0,08	966,90	0,18	0,14	966,90	0,18	0,17
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,27	930,90	0,00	0,32	823,00	0,00	0,08	823,00	0,00	0,09	930,90	0,00	0,14	930,90	0,00	0,15
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,80	977,70	0,00	1,01	823,00	0,00	0,44	823,00	0,00	0,45	977,70	0,00	0,23	977,70	0,00	0,27
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,20	1 250,30	0,00	0,25	1 139,00	0,00	0,08	1 139,00	0,00	0,08	1 250,30	0,00	0,11	1 250,30	0,00	0,12
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,35	1 276,00	0,00	0,50	1 139,00	0,00	0,15	1 139,00	0,00	0,15	1 276,00	0,00	0,16	1 276,00	0,00	0,21
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,19	1 330,80	0,00	1,63	1 139,00	0,00	0,80	1 139,00	0,00	0,84	1 330,80	0,00	0,34	1 330,80	0,00	0,45
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,45	1 460,90	0,00	0,47	1 304,00	0,00	0,20	1 304,00	0,00	0,22	1 460,90	0,00	0,12	1 460,90	0,00	0,14
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,47	1 208,80	0,00	0,47	1 122,00	0,00	0,07	1 122,00	0,00	0,07	1 208,80	0,00	0,09	1 208,80	0,00	0,12
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,50	1 224,80	0,00	0,70	1 122,00	0,00	0,10	1 122,00	0,00	0,10	1 224,80	0,00	0,16	1 224,80	0,00	0,19
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,13	1 268,20	0,00	1,05	1 122,00	0,00	0,26	1 122,00	0,00	0,28	1 268,20	0,00	0,20	1 268,20	0,00	0,25
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,45	1 366,50	0,00	0,65	1 262,00	0,00	0,08	1 262,00	0,00	0,09	1 366,50	0,00	0,17	1 366,50	0,00	0,20
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	0,67	1 435,90	3,01	0,94	1 262,00	0,00	0,14	1 304,30	3,35	0,15	1 393,90	0,00	0,27	1 393,90	0,00	0,32
2/2/5/4/6	1 463,70	0,00	3,62	1 541,86	5,34	3,56	1 260,00	0,00	1,30	1 312,70	4,18	1,40	1 463,70	0,00	0,50	1 463,70	0,00	0,59
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,20	1 500,60	0,00	1,54	1 286,00	0,00	0,64	1 286,00	0,00	0,67	1 500,60	0,00	0,36	1 500,60	0,00	0,48
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	4,45	1 653,70	0,00	4,04	1 329,00	0,00	2,02	1 329,00	0,00	2,09	1 653,70	0,00	0,56	1 653,70	0,00	0,73
4/2/3/3/6	1 651,10	0,21	1,73	1 744,08	5,85	1,91	1 493,00	0,00	0,32	1 586,00	6,23	0,34	1 651,10	0,21	0,33	1 651,10	0,21	0,40
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	1,82	1 797,22	0,06	1,96	1 471,00	0,00	1,06	1 471,00	0,00	1,09	1 796,20	0,00	0,47	1 796,71	0,03	0,61
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	16,58	1 947,99	0,41	11,14	1 504,00	0,00	3,91	1 504,00	0,00	4,49	1 940,00	0,00	1,26	1 940,00	0,00	1,66
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	2,82	1 574,80	0,00	3,06	1 286,00	0,00	1,66	1 286,00	0,00	1,73	1 574,80	0,00	0,53	1 574,80	0,00	0,73
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	5,30	2 131,32	0,13	3,59	1 817,00	0,00	1,22	1 817,00	0,00	1,27	2 128,60	0,00	0,67	2 129,11	0,02	0,73
Ortalama	1 418,14	0,01	2,22	1 429,38	0,74	1,96	1 228,90	0,00	0,73	1 238,30	0,69	0,78	1 418,22	0,02	0,34	1 418,27	0,02	0,43

Çizelge Ek 2.8. Küçük boyutlu problemler için HGA-TB-KEÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,46	966,05	0,09	0,55	875,00	0,00	0,13	875,00	0,00	0,14	966,90	0,18	0,23	966,90	0,18	0,26
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,55	930,90	0,00	0,58	823,00	0,00	0,16	823,00	0,00	0,16	930,90	0,00	0,21	930,90	0,00	0,24
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,96	977,70	0,00	0,99	823,00	0,00	0,51	823,00	0,00	0,62	977,70	0,00	0,37	977,70	0,00	0,43
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,31	1 250,64	0,03	0,38	1 139,00	0,00	0,15	1 139,00	0,00	0,15	1 250,30	0,00	0,14	1 250,30	0,00	0,16
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,54	1 276,17	0,01	0,63	1 139,00	0,00	0,25	1 139,00	0,00	0,27	1 276,00	0,00	0,27	1 276,00	0,00	0,30
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,26	1 330,80	0,00	1,57	1 139,00	0,00	0,79	1 139,00	0,00	0,96	1 330,80	0,00	0,52	1 330,80	0,00	0,60
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,54	1 460,90	0,00	0,60	1 304,00	0,00	0,34	1 304,00	0,00	0,36	1 460,90	0,00	0,21	1 460,90	0,00	0,24
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,55	1 210,82	0,17	0,76	1 122,00	0,00	0,11	1 122,00	0,00	0,11	1 208,80	0,00	0,18	1 209,31	0,04	0,20
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,83	1 229,18	0,36	0,95	1 122,00	0,00	0,14	1 122,00	0,00	0,15	1 224,80	0,00	0,28	1 225,48	0,06	0,32
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	0,96	1 269,71	0,12	1,39	1 122,00	0,00	0,28	1 122,00	0,00	0,32	1 268,20	0,00	0,34	1 269,56	0,11	0,37
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,68	1 367,69	0,09	0,89	1 262,00	0,00	0,14	1 262,00	0,00	0,15	1 366,50	0,00	0,26	1 367,52	0,07	0,30
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	1,41	1 429,62	2,56	1,45	1 262,00	0,00	0,22	1 317,50	4,40	0,23	1 393,90	0,00	0,48	1 393,90	0,00	0,59
2/2/5/4/6	1 463,70	0,00	3,02	1 594,42	8,93	3,06	1 361,00	8,02	1,03	1 418,00	12,54	1,06	1 557,90	6,44	0,76	1 557,90	6,44	1,01
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,09	1 501,62	0,07	1,38	1 286,00	0,00	0,71	1 286,00	0,00	0,81	1 500,60	0,00	0,58	1 500,60	0,00	0,79
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,22	1 655,23	0,09	2,80	1 329,00	0,00	2,08	1 329,00	0,00	2,26	1 653,70	0,00	0,78	1 653,70	0,00	0,97
4/2/3/3/6	1 647,70	0,00	2,95	1 775,76	7,77	2,05	1 493,00	0,00	0,41	1 575,30	5,51	0,44	1 651,10	0,21	0,61	1 651,61	0,24	0,65
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	2,36	1 797,90	0,09	2,19	1 471,00	0,00	1,20	1 471,00	0,00	1,35	1 796,20	0,00	0,66	1 797,22	0,06	0,81
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	6,74	1 965,31	1,30	7,76	1 504,00	0,00	2,73	1 504,00	0,00	3,63	1 940,00	0,00	1,76	1 940,17	0,01	2,30
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	1,67	1 575,99	0,08	2,16	1 286,00	0,00	1,69	1 286,00	0,00	1,86	1 574,80	0,00	0,69	1 575,14	0,02	0,78
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	3,09	2 142,85	0,67	3,53	1 817,00	0,00	1,01	1 863,80	2,58	1,21	2 128,60	0,00	0,61	2 129,45	0,04	0,64
Ortalama	1 417,97	0,00	1,61	1 435,46	1,12	1,78	1 233,95	0,40	0,70	1 246,03	1,25	0,81	1 422,93	0,34	0,50	1 423,25	0,36	0,60

Çizelge Ek 2.9. Küçük boyutlu problemler için HGA-TB-PTÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,39	965,54	0,04	0,42	875,00	0,00	0,11	875,00	0,00	0,13	966,90	0,18	0,20	966,90	0,18	0,27
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,52	930,90	0,00	0,43	823,00	0,00	0,14	823,00	0,00	0,14	930,90	0,00	0,19	930,90	0,00	0,22
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,40	977,70	0,00	1,00	823,00	0,00	0,41	823,00	0,00	0,52	977,70	0,00	0,34	977,70	0,00	0,38
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,33	1 251,15	0,07	0,34	1 139,00	0,00	0,12	1 139,00	0,00	0,14	1 250,30	0,00	0,14	1 250,30	0,00	0,15
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,50	1 276,00	0,00	0,67	1 139,00	0,00	0,20	1 139,00	0,00	0,23	1 276,00	0,00	0,27	1 276,00	0,00	0,30
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,17	1 331,48	0,05	1,50	1 139,00	0,00	0,62	1 139,00	0,00	0,75	1 330,80	0,00	0,53	1 330,80	0,00	0,59
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,52	1 460,90	0,00	0,60	1 304,00	0,00	0,28	1 304,00	0,00	0,30	1 460,90	0,00	0,20	1 460,90	0,00	0,22
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,96	1 209,14	0,03	0,67	1 122,00	0,00	0,09	1 122,00	0,00	0,11	1 208,80	0,00	0,19	1 208,80	0,00	0,21
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,72	1 228,84	0,33	0,89	1 122,00	0,00	0,14	1 122,00	0,00	0,16	1 224,80	0,00	0,29	1 224,97	0,01	0,30
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,00	1 271,05	0,22	1,42	1 122,00	0,00	0,30	1 122,00	0,00	0,35	1 268,20	0,00	0,37	1 268,54	0,03	0,39
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,71	1 367,52	0,07	0,84	1 262,00	0,00	0,14	1 262,00	0,00	0,15	1 366,50	0,00	0,27	1 366,50	0,00	0,32
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	1,06	1 412,82	1,36	1,24	1 262,00	0,00	0,23	1 321,20	4,69	0,25	1 393,90	0,00	0,44	1 393,90	0,00	0,49
2/2/5/4/6	1 560,90	6,64	2,97	1 599,22	9,26	3,34	1 361,00	8,02	0,82	1 377,90	9,36	0,96	1 557,90	6,44	0,83	1 558,24	6,46	0,93
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	2,02	1 502,64	0,14	1,75	1 286,00	0,00	0,69	1 286,00	0,00	0,76	1 500,60	0,00	0,57	1 500,94	0,02	0,78
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,76	1 654,72	0,06	2,64	1 329,00	0,00	1,71	1 329,00	0,00	1,99	1 653,70	0,00	0,90	1 654,72	0,06	1,12
4/2/3/3/6	1 647,70	0,00	2,24	1 758,16	6,70	2,12	1 493,00	0,00	0,41	1 604,20	7,45	0,42	1 647,70	0,00	0,60	1 647,70	0,00	0,71
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	2,31	1 797,56	0,08	2,40	1 471,00	0,00	1,21	1 471,00	0,00	1,30	1 796,20	0,00	0,77	1 797,05	0,05	0,95
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	8,43	1 961,57	1,11	9,32	1 504,00	0,00	2,62	1 504,00	0,00	3,48	1 940,00	0,00	1,88	1 940,00	0,00	2,44
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	1,90	1 575,48	0,04	2,66	1 286,00	0,00	1,64	1 286,00	0,00	1,91	1 574,80	0,00	0,71	1 575,48	0,04	0,88
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	3,12	2 154,38	1,21	3,50	1 817,00	0,00	1,12	1 863,80	2,58	1,25	2 128,60	0,00	0,71	2 129,62	0,05	0,83
Ortalama	1 422,83	0,33	1,75	1 434,34	1,04	1,89	1 233,95	0,40	0,65	1 245,66	1,20	0,77	1 422,76	0,33	0,52	1 423,00	0,34	0,62

Çizelge Ek 2.10. Küçük boyutlu problemler için KDGA ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,28	965,20	0,00	0,37	875,00	0,00	0,09	875,00	0,00	0,10	966,90	0,18	0,17	966,90	0,18	0,20
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,45	930,90	0,00	0,41	823,00	0,00	0,11	823,00	0,00	0,12	930,90	0,00	0,14	930,90	0,00	0,18
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,89	977,70	0,00	1,25	823,00	0,00	0,53	823,00	0,00	0,54	977,70	0,00	0,23	977,70	0,00	0,25
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,27	1 250,64	0,03	0,34	1 139,00	0,00	0,09	1 139,00	0,00	0,11	1 250,30	0,00	0,11	1 250,47	0,01	0,14
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,69	1 276,17	0,01	0,64	1 139,00	0,00	0,20	1 139,00	0,00	0,21	1 276,00	0,00	0,19	1 276,17	0,01	0,31
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,65	1 330,80	0,00	2,36	1 139,00	0,00	0,95	1 139,00	0,00	1,00	1 330,80	0,00	0,36	1 331,14	0,03	0,58
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,77	1 460,90	0,00	0,56	1 304,00	0,00	0,27	1 304,00	0,00	0,28	1 460,90	0,00	0,14	1 460,90	0,00	0,16
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,61	1 209,31	0,04	0,58	1 122,00	0,00	0,06	1 122,00	0,00	0,07	1 208,80	0,00	0,09	1 208,80	0,00	0,17
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,44	1 224,80	0,00	0,79	1 122,00	0,00	0,11	1 122,00	0,00	0,12	1 224,80	0,00	0,16	1 224,80	0,00	0,26
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,70	1 268,20	0,00	1,38	1 122,00	0,00	0,33	1 122,00	0,00	0,34	1 268,20	0,00	0,19	1 268,37	0,01	0,27
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,70	1 366,67	0,01	0,77	1 262,00	0,00	0,09	1 262,00	0,00	0,10	1 366,50	0,00	0,12	1 366,84	0,02	0,23
2/2/4/4/6	1 395,60	0,12	0,75	1 454,40	4,34	0,96	1 262,00	0,00	0,20	1 306,40	3,52	0,19	1 393,90	0,00	0,27	1 393,90	0,00	0,38
2/2/5/4/6	1 557,90	6,44	4,74	1 563,76	6,84	4,37	1 361,00	8,02	1,28	1 363,50	8,21	1,81	1 557,90	6,44	0,48	1 558,07	6,45	0,75
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,22	1 501,28	0,05	1,87	1 286,00	0,00	0,69	1 286,00	0,00	0,71	1 500,60	0,00	0,55	1 501,28	0,05	0,60
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	3,92	1 654,04	0,02	4,63	1 329,00	0,00	2,07	1 329,00	0,00	2,13	1 653,70	0,00	0,81	1 654,21	0,03	0,97
4/2/3/3/6	1 651,10	0,21	2,09	1 717,83	4,26	1,95	1 493,00	0,00	0,45	1 592,90	6,69	0,46	1 651,10	0,21	0,48	1 651,61	0,24	0,57
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	3,48	1 797,05	0,05	2,97	1 471,00	0,00	1,28	1 471,00	0,00	1,30	1 796,20	0,00	0,41	1 797,39	0,07	0,65
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	15,48	1 944,59	0,24	14,31	1 504,00	0,00	4,60	1 504,00	0,00	5,64	1 940,00	0,00	2,31	1 941,19	0,06	2,15
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	4,12	1 574,97	0,01	4,25	1 286,00	0,00	1,83	1 286,00	0,00	1,86	1 574,80	0,00	0,47	1 575,31	0,03	0,60
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	5,23	2 137,44	0,42	3,83	1 817,00	0,00	1,40	1 817,00	0,00	1,58	2 128,60	0,00	0,83	2 131,83	0,15	0,70
Ortalama	1 422,93	0,34	2,47	1 430,33	0,82	2,43	1 233,95	0,40	0,83	1 241,29	0,92	0,93	1 422,93	0,34	0,43	1 423,39	0,37	0,51

Çizelge Ek 2.11. Küçük boyutlu problemler için HKDGA-TB ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,33	965,20	0,00	0,41	875,00	0,00	0,08	875,00	0,00	0,09	966,90	0,18	0,20	966,90	0,18	0,25
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,27	930,90	0,00	0,43	823,00	0,00	0,11	823,00	0,00	0,11	930,90	0,00	0,20	930,90	0,00	0,24
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,76	977,70	0,00	1,12	823,00	0,00	0,44	823,00	0,00	0,46	977,70	0,00	0,36	977,70	0,00	0,40
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,22	1 250,30	0,00	0,27	1 139,00	0,00	0,09	1 139,00	0,00	0,10	1 250,30	0,00	0,14	1 250,30	0,00	0,18
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,45	1 276,00	0,00	0,51	1 139,00	0,00	0,19	1 139,00	0,00	0,19	1 276,00	0,00	0,28	1 276,00	0,00	0,31
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,20	1 330,80	0,00	1,62	1 139,00	0,00	0,84	1 139,00	0,00	0,88	1 330,80	0,00	0,53	1 330,80	0,00	0,69
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,53	1 460,90	0,00	0,55	1 304,00	0,00	0,25	1 304,00	0,00	0,26	1 460,90	0,00	0,22	1 460,90	0,00	0,23
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,66	1 208,80	0,00	0,49	1 122,00	0,00	0,06	1 122,00	0,00	0,07	1 208,80	0,00	0,18	1 208,80	0,00	0,21
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,47	1 224,80	0,00	0,63	1 122,00	0,00	0,11	1 122,00	0,00	0,11	1 224,80	0,00	0,27	1 224,80	0,00	0,32
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,31	1 268,20	0,00	1,04	1 122,00	0,00	0,28	1 122,00	0,00	0,30	1 268,20	0,00	0,33	1 268,20	0,00	0,37
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,42	1 366,50	0,00	0,59	1 262,00	0,00	0,08	1 262,00	0,00	0,09	1 366,50	0,00	0,24	1 366,50	0,00	0,30
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	1,23	1 440,40	3,34	1,24	1 262,00	0,00	0,16	1 321,20	4,69	0,17	1 393,90	0,00	0,45	1 393,90	0,00	0,50
2/2/5/4/6	1 557,90	6,44	3,54	1 561,56	6,69	3,72	1 260,00	0,00	1,33	1 331,00	5,63	1,51	1 463,70	0,00	0,90	1 463,70	0,00	0,96
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,36	1 500,60	0,00	1,50	1 286,00	0,00	0,61	1 286,00	0,00	0,63	1 500,60	0,00	0,58	1 500,60	0,00	0,75
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,92	1 653,70	0,00	4,01	1 329,00	0,00	1,76	1 329,00	0,00	1,84	1 653,70	0,00	0,79	1 654,21	0,03	1,29
4/2/3/3/6	1 649,40	0,10	1,79	1 735,76	5,34	1,57	1 493,00	0,00	0,37	1 570,30	5,18	0,42	1 651,10	0,21	0,59	1 651,27	0,22	0,73
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	2,51	1 796,54	0,02	2,50	1 471,00	0,00	1,11	1 471,00	0,00	1,16	1 796,20	0,00	0,72	1 797,05	0,05	0,96
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	10,66	1 941,19	0,06	15,95	1 504,00	0,00	4,48	1 504,00	0,00	5,27	1 940,00	0,00	1,76	1 940,17	0,01	2,83
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	3,59	1 574,80	0,00	3,90	1 286,00	0,00	1,68	1 286,00	0,00	1,78	1 574,80	0,00	0,64	1 575,14	0,02	0,95
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	3,01	2 130,13	0,07	4,36	1 817,00	0,00	1,34	1 817,00	0,00	1,50	2 128,60	0,00	0,98	2 129,28	0,03	1,25
Ortalama	1 422,76	0,33	1,86	1 429,74	0,78	2,32	1 228,90	0,00	0,77	1 239,28	0,78	0,85	1 418,22	0,02	0,52	1 418,36	0,03	0,69

Çizelge Ek 2.12. Küçük boyutlu problemler için HKDGA-TB-STÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,44	968,26	0,32	0,61	875,00	0,00	0,14	875,00	0,00	0,16	965,20	0,00	0,28	967,92	0,28	0,30
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,56	934,30	0,37	0,60	823,00	0,00	0,17	823,00	0,00	0,18	930,90	0,00	0,28	937,19	0,68	0,28
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,75	983,14	0,56	1,54	823,00	0,00	0,89	823,00	0,00	0,98	977,70	0,00	0,41	984,67	0,71	0,45
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,53	1 252,34	0,16	0,45	1 139,00	0,00	0,17	1 139,00	0,00	0,17	1 250,30	0,00	0,17	1 253,02	0,22	0,21
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,73	1 279,40	0,27	0,99	1 139,00	0,00	0,30	1 139,00	0,00	0,30	1 276,00	0,00	0,31	1 278,89	0,23	0,44
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	3,10	1 336,58	0,43	2,94	1 139,00	0,00	1,89	1 139,00	0,00	1,97	1 330,80	0,00	0,76	1 334,54	0,28	0,80
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	1,00	1 460,90	0,00	0,89	1 304,00	0,00	0,39	1 304,00	0,00	0,41	1 460,90	0,00	0,27	1 461,58	0,05	0,30
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,95	1 215,43	0,55	0,83	1 122,00	0,00	0,12	1 122,00	0,00	0,13	1 208,80	0,00	0,19	1 215,94	0,59	0,20
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,69	1 233,47	0,71	0,95	1 122,00	0,00	0,19	1 122,00	0,00	0,19	1 228,20	0,28	0,28	1 233,98	0,75	0,30
2/2/3/5/3	1 275,00	0,54	1,17	1 279,57	0,90	1,49	1 122,00	0,00	0,48	1 122,00	0,00	0,50	1 276,70	0,67	0,34	1 282,48	1,13	0,37
2/2/4/3/6	1 371,60	0,37	1,16	1 376,87	0,76	0,95	1 262,00	0,00	0,16	1 262,00	0,00	0,18	1 366,50	0,00	0,28	1 377,04	0,77	0,27
2/2/4/4/6	1 402,40	0,61	1,53	1 431,60	2,70	1,44	1 262,00	0,00	0,28	1 314,90	4,19	0,28	1 399,00	0,37	0,48	1 402,74	0,63	0,47
2/2/5/4/6	1 463,70	0,00	11,42	1 528,67	4,44	7,63	1 361,00	8,02	2,90	1 444,60	14,65	3,01	1 561,30	6,67	0,95	1 564,02	6,85	1,06
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,84	1 504,17	0,24	2,77	1 286,00	0,00	1,31	1 286,00	0,00	1,38	1 500,60	0,00	0,62	1 502,30	0,11	0,78
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	5,87	1 658,80	0,31	6,87	1 329,00	0,00	4,32	1 329,00	0,00	4,36	1 653,70	0,00	0,89	1 657,27	0,22	1,38
4/2/3/3/6	1 661,30	0,83	3,84	1 769,73	7,41	2,58	1 493,00	0,00	0,73	1 604,00	7,43	0,67	1 651,10	0,21	0,69	1 653,31	0,34	0,77
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	4,02	1 797,90	0,09	4,47	1 471,00	0,00	2,28	1 471,00	0,00	2,37	1 796,20	0,00	1,18	1 797,22	0,06	1,26
4/2/4/5/3	1 950,20	0,53	35,34	1 965,84	1,33	20,62	1 504,00	0,00	10,41	1 551,20	3,14	11,95	1 940,00	0,00	3,86	1 951,90	0,61	3,30
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	4,74	1 578,71	0,25	6,42	1 286,00	0,00	4,12	1 286,00	0,00	4,15	1 574,80	0,00	0,87	1 580,41	0,36	1,18
4/2/5/3/1	2 133,70	0,24	5,91	2 141,69	0,61	5,85	1 817,00	0,00	2,49	1 852,10	1,93	2,66	2 128,60	0,00	1,28	2 138,63	0,47	1,19
Ortalama	1 420,43	0,16	4,33	1 434,87	1,12	3,54	1 233,95	0,40	1,69	1 250,44	1,57	1,80	1 423,87	0,41	0,72	1 428,75	0,77	0,77

Çizelge Ek 2.13. Küçük boyutlu problemler için HKDGA-TB-SÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,47	968,26	0,32	0,57	875,00	0,00	0,14	875,00	0,00	0,16	966,90	0,18	0,47	968,09	0,30	0,55
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,55	934,47	0,38	0,64	823,00	0,00	0,19	823,00	0,00	0,19	930,90	0,00	0,34	933,45	0,27	0,42
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,53	983,31	0,57	1,63	823,00	0,00	0,97	823,00	0,00	1,06	977,70	0,00	0,76	982,80	0,52	0,79
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,45	1 251,66	0,11	0,56	1 139,00	0,00	0,18	1 139,00	0,00	0,19	1 250,30	0,00	0,32	1 253,02	0,22	0,30
2/1/4/4/3	1 277,70	0,13	0,84	1 280,42	0,35	0,88	1 139,00	0,00	0,33	1 139,00	0,00	0,34	1 276,00	0,00	0,50	1 278,72	0,21	0,63
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	2,70	1 335,39	0,34	3,26	1 139,00	0,00	2,12	1 139,00	0,00	2,20	1 330,80	0,00	1,05	1 334,88	0,31	1,33
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,72	1 461,58	0,05	0,91	1 304,00	0,00	0,42	1 304,00	0,00	0,43	1 460,90	0,00	0,38	1 460,90	0,00	0,43
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,78	1 216,94	0,67	0,73	1 122,00	0,00	0,13	1 122,00	0,00	0,13	1 208,80	0,00	0,28	1 215,43	0,55	0,32
2/2/3/4/6	1 226,50	0,14	0,79	1 234,15	0,76	0,90	1 122,00	0,00	0,19	1 122,00	0,00	0,20	1 226,50	0,14	0,45	1 232,62	0,64	0,50
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,36	1 277,55	0,74	1,74	1 122,00	0,00	0,51	1 122,00	0,00	0,52	1 271,60	0,27	0,56	1 279,08	0,86	0,54
2/2/4/3/6	1 371,60	0,37	0,87	1 375,34	0,65	0,93	1 262,00	0,00	0,17	1 262,00	0,00	0,18	1 368,20	0,12	0,53	1 375,34	0,65	0,49
2/2/4/4/6	1 404,10	0,73	1,23	1 440,70	3,36	1,25	1 262,00	0,00	0,32	1 317,50	4,40	0,30	1 397,30	0,24	0,86	1 399,68	0,41	0,86
2/2/5/4/6	1 473,90	0,70	9,76	1 564,80	6,91	6,97	1 361,00	8,02	2,65	1 438,60	14,17	3,08	1 557,90	6,44	1,86	1 564,53	6,89	1,93
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	2,23	1 502,81	0,15	2,96	1 286,00	0,00	1,40	1 286,00	0,00	1,44	1 500,60	0,00	1,24	1 503,49	0,19	1,40
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	7,02	1 659,48	0,35	7,36	1 329,00	0,00	4,62	1 329,00	0,00	4,76	1 653,70	0,00	1,43	1 658,97	0,32	1,88
4/2/3/3/6	1 661,30	0,83	3,53	1 723,36	4,59	2,49	1 493,00	0,00	0,61	1 606,30	7,59	0,63	1 651,10	0,21	1,11	1 654,33	0,40	1,61
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	6,33	1 799,09	0,16	3,51	1 471,00	0,00	2,15	1 471,00	0,00	2,31	1 796,20	0,00	1,47	1 797,39	0,07	1,65
4/2/4/5/3	1 951,90	0,61	23,20	1 968,39	1,46	17,55	1 504,00	0,00	9,92	1 537,60	2,23	11,98	1 943,40	0,18	4,88	1 953,26	0,68	3,90
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	5,69	1 581,09	0,40	5,78	1 286,00	0,00	3,90	1 286,00	0,00	3,94	1 574,80	0,00	1,37	1 579,22	0,28	1,52
4/2/5/3/1	2 133,70	0,24	4,42	2 144,75	0,76	5,30	1 817,00	0,00	2,48	1 828,70	0,64	2,68	2 128,60	0,00	1,71	2 139,48	0,51	1,51
Ortalama	1 420,94	0,19	3,72	1 435,18	1,15	3,30	1 233,95	0,40	1,67	1 248,54	1,45	1,84	1 423,61	0,39	1,08	1 428,23	0,71	1,13

Çizelge Ek 2.14. Küçük boyutlu problemler için HKDGA-TB-KEÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,75	968,43	0,33	0,63	875,00	0,00	0,16	875,00	0,00	0,16	966,90	0,18	0,28	968,94	0,39	0,31
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,51	933,62	0,29	0,63	823,00	0,00	0,20	823,00	0,00	0,21	930,90	0,00	0,30	934,13	0,35	0,33
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,56	983,48	0,59	1,59	823,00	0,00	1,05	823,00	0,00	1,08	977,70	0,00	0,44	980,42	0,28	0,52
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,70	1 253,87	0,29	0,60	1 139,00	0,00	0,18	1 139,00	0,00	0,19	1 250,30	0,00	0,19	1 252,68	0,19	0,22
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,78	1 278,55	0,20	0,94	1 139,00	0,00	0,33	1 139,00	0,00	0,33	1 276,00	0,00	0,37	1 278,72	0,21	0,45
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	3,17	1 336,41	0,42	3,58	1 139,00	0,00	1,92	1 139,00	0,00	2,14	1 330,80	0,00	0,84	1 333,01	0,17	0,87
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,75	1 461,58	0,05	0,89	1 304,00	0,00	0,43	1 304,00	0,00	0,45	1 460,90	0,00	0,26	1 460,90	0,00	0,31
2/2/3/3/6	1 213,90	0,42	0,63	1 215,77	0,58	0,75	1 122,00	0,00	0,13	1 122,00	0,00	0,13	1 212,20	0,28	0,23	1 215,09	0,52	0,22
2/2/3/4/6	1 229,90	0,42	0,73	1 234,15	0,76	1,04	1 122,00	0,00	0,20	1 122,00	0,00	0,21	1 224,80	0,00	0,28	1 231,43	0,54	0,32
2/2/3/5/3	1 271,60	0,27	1,24	1 278,36	0,80	1,61	1 122,00	0,00	0,52	1 122,00	0,00	0,54	1 275,00	0,54	0,38	1 280,78	0,99	0,39
2/2/4/3/6	1 369,90	0,25	1,09	1 373,47	0,51	0,98	1 262,00	0,00	0,18	1 262,00	0,00	0,19	1 369,90	0,25	0,28	1 374,83	0,61	0,29
2/2/4/4/6	1 469,60	5,43	1,76	1 482,10	6,33	1,57	1 262,00	0,00	0,31	1 323,70	4,89	0,31	1 397,30	0,24	0,50	1 401,55	0,55	0,51
2/2/5/4/6	1 561,30	6,67	5,10	1 571,12	7,34	6,67	1 361,00	8,02	3,27	1 483,60	17,75	3,58	1 557,90	6,44	1,02	1 564,19	6,87	1,07
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	2,21	1 504,68	0,27	2,92	1 286,00	0,00	1,41	1 286,00	0,00	1,44	1 500,60	0,00	0,71	1 503,49	0,19	0,91
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	5,82	1 659,65	0,36	7,08	1 329,00	0,00	4,50	1 329,00	0,00	4,70	1 653,70	0,00	1,15	1 661,69	0,48	1,47
4/2/3/3/6	1 652,80	0,31	3,04	1 744,36	5,87	3,38	1 493,00	0,00	0,70	1 589,30	6,45	0,73	1 651,10	0,21	1,05	1 654,33	0,40	0,83
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	2,98	1 797,90	0,09	5,03	1 471,00	0,00	2,09	1 471,00	0,00	2,12	1 796,20	0,00	0,83	1 797,22	0,06	1,28
4/2/4/5/3	1 955,30	0,79	22,77	1 967,54	1,42	19,09	1 504,00	0,00	9,36	1 504,00	0,00	10,47	1 940,00	0,00	2,14	1 952,92	0,67	2,32
4/1/3/5/1	1 576,50	0,11	3,95	1 579,73	0,31	5,34	1 286,00	0,00	4,07	1 286,00	0,00	4,11	1 574,80	0,00	0,84	1 578,71	0,25	1,16
4/2/5/3/1	2 137,10	0,40	7,00	2 143,56	0,70	6,33	1 817,00	0,00	2,34	1 863,80	2,58	2,49	2 132,00	0,16	0,78	2 138,29	0,46	1,08
Ortalama	1 429,01	0,75	3,33	1 438,42	1,38	3,53	1 233,95	0,40	1,67	1 250,32	1,58	1,78	1 423,95	0,41	0,64	1 428,17	0,71	0,74

Çizelge Ek 2.15. Küçük boyutlu problemler için HKDGA-TB-PTÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,48	968,60	0,35	0,57	875,00	0,00	0,14	875,00	0,00	0,15	965,20	0,00	0,30	969,11	0,41	0,30
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,50	934,13	0,35	0,56	823,00	0,00	0,17	823,00	0,00	0,18	930,90	0,00	0,27	934,98	0,44	0,28
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,30	980,42	0,28	1,52	823,00	0,00	0,91	823,00	0,00	0,96	977,70	0,00	0,47	981,10	0,35	0,50
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,59	1 252,17	0,15	0,52	1 139,00	0,00	0,16	1 139,00	0,00	0,17	1 250,30	0,00	0,22	1 253,02	0,22	0,21
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,90	1 278,55	0,20	1,16	1 139,00	0,00	0,28	1 139,00	0,00	0,30	1 276,00	0,00	0,33	1 278,21	0,17	0,39
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	2,47	1 334,03	0,24	2,76	1 139,00	0,00	1,90	1 139,00	0,00	2,03	1 330,80	0,00	0,70	1 334,71	0,29	0,87
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,69	1 461,92	0,07	0,81	1 304,00	0,00	0,39	1 304,00	0,00	0,41	1 460,90	0,00	0,25	1 460,90	0,00	0,29
2/2/3/3/6	1 213,90	0,42	0,78	1 217,30	0,70	0,75	1 122,00	0,00	0,11	1 122,00	0,00	0,12	1 208,80	0,00	0,17	1 213,73	0,41	0,21
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	1,31	1 231,41	0,54	0,96	1 122,00	0,00	0,17	1 122,00	0,00	0,19	1 224,80	0,00	0,31	1 232,28	0,61	0,30
2/2/3/5/3	1 276,70	0,67	1,59	1 281,59	1,06	1,68	1 122,00	0,00	0,47	1 122,00	0,00	0,49	1 271,60	0,27	0,36	1 280,44	0,97	0,36
2/2/4/3/6	1 368,20	0,12	1,20	1 375,34	0,65	0,84	1 262,00	0,00	0,16	1 262,00	0,00	0,16	1 368,20	0,12	0,27	1 374,49	0,58	0,28
2/2/4/4/6	1 399,00	0,37	1,33	1 453,80	4,30	1,54	1 262,00	0,00	0,28	1 323,70	4,89	0,28	1 393,90	0,00	0,53	1 403,93	0,72	0,47
2/2/5/4/6	1 468,80	0,35	8,75	1 553,42	6,13	6,80	1 260,00	0,00	2,76	1 432,10	13,66	2,84	1 463,70	0,00	1,06	1 463,70	0,00	1,21
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	3,12	1 504,17	0,24	2,72	1 286,00	0,00	1,28	1 286,00	0,00	1,32	1 500,60	0,00	1,00	1 503,83	0,22	1,12
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	7,99	1 659,14	0,33	7,53	1 329,00	0,00	4,32	1 329,00	0,00	4,36	1 653,70	0,00	1,22	1 658,46	0,29	1,13
4/2/3/3/6	1 652,80	0,31	3,92	1 692,67	2,73	2,44	1 493,00	0,00	0,62	1 618,70	8,42	0,60	1 651,10	0,21	0,59	1 652,29	0,28	0,75
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	3,17	1 798,41	0,12	4,08	1 471,00	0,00	2,06	1 471,00	0,00	2,09	1 796,20	0,00	1,22	1 796,88	0,04	1,32
4/2/4/5/3	1 945,10	0,26	25,48	1 957,17	0,89	20,55	1 504,00	0,00	9,47	1 504,00	0,00	11,37	1 948,50	0,44	2,12	1 958,53	0,96	2,69
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	5,87	1 580,92	0,39	5,76	1 286,00	0,00	3,84	1 286,00	0,00	3,89	1 574,80	0,00	0,80	1 575,99	0,08	1,11
4/2/5/3/1	2 137,10	0,40	4,48	2 145,26	0,78	6,30	1 817,00	0,00	2,17	1 828,70	0,64	2,62	2 132,00	0,16	0,95	2 140,33	0,55	0,93
Ortalama	1 420,18	0,15	3,80	1 433,02	1,02	3,49	1 228,90	0,00	1,58	1 247,46	1,38	1,73	1 418,99	0,06	0,66	1 423,35	0,38	0,74

Çizelge Ek 2.16. Küçük boyutlu problemler için HPSO-TB ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,30	965,37	0,02	0,31	875,00	0,00	0,09	875,00	0,00	0,10	965,20	0,00	0,17	965,20	0,00	0,18
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,28	930,90	0,00	0,33	823,00	0,00	0,11	823,00	0,00	0,12	930,90	0,00	0,13	930,90	0,00	0,16
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,95	977,70	0,00	0,86	823,00	0,00	0,58	823,00	0,00	0,61	977,70	0,00	0,23	977,70	0,00	0,28
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,22	1 250,30	0,00	0,24	1 139,00	0,00	0,11	1 139,00	0,00	0,11	1 250,30	0,00	0,09	1 250,81	0,04	0,11
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,39	1 276,68	0,05	0,44	1 139,00	0,00	0,19	1 139,00	0,00	0,21	1 276,00	0,00	0,17	1 276,34	0,03	0,20
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,06	1 330,80	0,00	1,38	1 139,00	0,00	0,92	1 139,00	0,00	1,06	1 417,10	6,48	0,91	1 417,10	6,48	1,03
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,39	1 460,90	0,00	0,52	1 304,00	0,00	0,27	1 304,00	0,00	0,28	1 460,90	0,00	0,13	1 460,90	0,00	0,15
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,38	1 209,48	0,06	0,44	1 122,00	0,00	0,06	1 122,00	0,00	0,07	1 545,80	27,88	0,36	1 548,32	28,09	0,44
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,53	1 225,31	0,04	0,54	1 122,00	0,00	0,11	1 122,00	0,00	0,11	1 224,80	0,00	0,16	1 224,80	0,00	0,21
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	0,67	1 268,37	0,01	0,83	1 122,00	0,00	0,23	1 122,00	0,00	0,27	1 268,20	0,00	0,25	1 268,20	0,00	0,27
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,42	1 367,86	0,10	0,51	1 262,00	0,00	0,09	1 262,00	0,00	0,10	1 366,50	0,00	0,17	1 366,84	0,02	0,21
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	0,78	1 419,40	1,83	0,77	1 336,00	5,86	0,17	1 336,00	5,86	0,17	1 462,80	4,94	0,27	1 463,14	4,97	0,34
2/2/5/4/6	1 465,40	0,12	2,47	1 612,85	10,19	2,45	1 361,00	8,02	0,97	1 409,50	11,87	0,92	1 557,90	6,44	0,52	1 557,90	6,44	0,67
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	0,83	1 500,94	0,02	1,12	1 286,00	0,00	0,76	1 286,00	0,00	0,79	1 500,60	0,00	0,31	1 501,96	0,09	0,40
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	1,64	1 654,72	0,06	2,49	1 329,00	0,00	2,45	1 329,00	0,00	2,49	1 653,70	0,00	0,47	1 654,21	0,03	0,56
4/2/3/3/6	1 651,10	0,21	1,11	1 777,83	7,90	1,12	1 493,00	0,00	0,30	1 613,90	8,10	0,32	1 651,10	0,21	0,30	1 651,44	0,23	0,40
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	1,67	1 797,39	0,07	2,17	1 471,00	0,00	1,36	1 471,00	0,00	1,39	1 796,20	0,00	0,41	1 797,39	0,07	0,47
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	5,77	1 952,92	0,67	8,32	1 504,00	0,00	4,40	1 529,80	1,72	5,27	1 940,00	0,00	1,23	1 940,51	0,03	1,56
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	2,04	1 577,86	0,19	2,40	1 286,00	0,00	2,04	1 286,00	0,00	2,15	1 574,80	0,00	1,90	1 576,67	0,12	2,69
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	2,23	2 203,90	3,54	2,66	1 817,00	0,00	1,08	1 817,00	0,00	1,21	2 128,60	0,00	0,44	2 131,49	0,14	0,52
Ortalama	1 418,22	0,02	1,21	1 438,07	1,24	1,50	1 237,65	0,69	0,81	1 247,41	1,38	0,89	1 447,46	2,30	0,43	1 448,09	2,34	0,54

Çizelge Ek 2.17. Küçük boyutlu problemler için HPSO-TB-STÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,48	966,05	0,09	0,55	875,00	0,00	0,14	875,00	0,00	0,16	966,90	0,18	0,27	966,90	0,18	0,32
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,44	930,90	0,00	0,54	823,00	0,00	0,17	823,00	0,00	0,18	930,90	0,00	0,25	930,90	0,00	0,26
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,94	977,70	0,00	1,34	823,00	0,00	0,48	823,00	0,00	0,53	977,70	0,00	0,47	977,70	0,00	0,51
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,39	1 250,81	0,04	0,41	1 139,00	0,00	0,16	1 139,00	0,00	0,17	1 250,30	0,00	0,19	1 250,30	0,00	0,21
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,59	1 276,34	0,03	0,72	1 139,00	0,00	0,25	1 139,00	0,00	0,26	1 276,00	0,00	0,37	1 276,00	0,00	0,44
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,51	1 330,80	0,00	1,60	1 139,00	0,00	0,76	1 139,00	0,00	0,82	1 330,80	0,00	0,69	1 330,80	0,00	0,82
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,61	1 460,90	0,00	0,71	1 304,00	0,00	0,33	1 304,00	0,00	0,35	1 460,90	0,00	0,25	1 460,90	0,00	0,27
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,61	1 208,97	0,01	0,74	1 122,00	0,00	0,12	1 122,00	0,00	0,13	1 208,80	0,00	0,20	1 208,80	0,00	0,23
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,78	1 226,67	0,15	0,94	1 122,00	0,00	0,17	1 122,00	0,00	0,18	1 224,80	0,00	0,31	1 224,80	0,00	0,33
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,03	1 269,73	0,12	1,15	1 122,00	0,00	0,34	1 122,00	0,00	0,37	1 268,20	0,00	0,36	1 268,20	0,00	0,42
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,86	1 367,01	0,04	0,99	1 262,00	0,00	0,16	1 262,00	0,00	0,17	1 366,50	0,00	0,30	1 366,50	0,00	0,34
2/2/4/4/6	1 399,00	0,37	1,17	1 422,82	2,07	1,47	1 262,00	0,00	0,27	1 311,30	3,91	0,27	1 462,80	4,94	0,44	1 463,82	5,02	0,58
2/2/5/4/6	1 559,60	6,55	2,67	1 585,03	8,29	2,77	1 260,00	0,00	1,00	1 374,10	9,06	1,05	1 557,90	6,44	1,00	1 557,90	6,44	1,05
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,11	1 501,62	0,07	1,46	1 286,00	0,00	0,69	1 286,00	0,00	0,72	1 500,60	0,00	0,66	1 500,60	0,00	0,92
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,76	1 655,40	0,10	2,84	1 329,00	0,00	1,78	1 329,00	0,00	1,85	1 653,70	0,00	1,01	1 653,87	0,01	1,46
4/2/3/3/6	1 652,80	0,31	1,58	1 774,61	7,70	1,76	1 493,00	0,00	0,45	1 621,30	8,59	0,46	1 651,10	0,21	0,66	1 651,44	0,23	0,82
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	2,00	1 797,73	0,09	2,16	1 471,00	0,00	1,20	1 471,00	0,00	1,28	1 796,20	0,00	1,00	1 797,56	0,08	1,14
4/2/4/5/3	1 941,70	0,09	7,80	1 985,18	2,33	6,67	1 504,00	0,00	2,89	1 504,00	0,00	3,52	1 940,00	0,00	2,54	1 940,51	0,03	3,30
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	2,29	1 576,16	0,09	2,41	1 286,00	0,00	1,54	1 286,00	0,00	1,65	1 574,80	0,00	0,91	1 574,80	0,00	1,15
4/2/5/3/1	2 132,00	0,16	3,04	2 163,05	1,62	3,34	1 817,00	0,00	1,25	1 817,00	0,00	1,35	2 128,60	0,00	1,61	2 130,64	0,10	1,06
Ortalama	1 423,53	0,37	1,63	1 436,37	1,14	1,73	1 228,90	0,00	0,71	1 243,49	1,08	0,77	1 426,38	0,59	0,67	1 426,65	0,60	0,78

Çizelge Ek 2.18. Küçük boyutlu problemler için HPSO-TB-SÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,47	965,20	0,00	0,59	875,00	0,00	0,14	875,00	0,00	0,15	966,90	0,18	0,28	966,90	0,18	0,32
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,52	930,90	0,00	0,59	823,00	0,00	0,17	823,00	0,00	0,18	930,90	0,00	0,25	930,90	0,00	0,30
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,15	977,70	0,00	1,48	823,00	0,00	0,67	823,00	0,00	0,69	977,70	0,00	0,44	977,70	0,00	0,52
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,44	1 250,47	0,01	0,51	1 139,00	0,00	0,16	1 139,00	0,00	0,17	1 250,30	0,00	0,17	1 250,30	0,00	0,20
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,64	1 276,00	0,00	0,83	1 139,00	0,00	0,28	1 139,00	0,00	0,28	1 276,00	0,00	0,33	1 276,17	0,01	0,36
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,86	1 330,80	0,00	2,53	1 139,00	0,00	1,15	1 139,00	0,00	1,20	1 330,80	0,00	0,66	1 331,31	0,04	0,73
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,64	1 460,90	0,00	0,74	1 304,00	0,00	0,36	1 304,00	0,00	0,37	1 460,90	0,00	0,23	1 460,90	0,00	0,27
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,69	1 209,14	0,03	0,80	1 122,00	0,00	0,12	1 122,00	0,00	0,13	1 208,80	0,00	0,23	1 208,80	0,00	0,24
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,89	1 225,31	0,04	1,18	1 122,00	0,00	0,17	1 122,00	0,00	0,19	1 224,80	0,00	0,36	1 224,80	0,00	0,38
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,06	1 268,88	0,05	1,68	1 122,00	0,00	0,42	1 122,00	0,00	0,44	1 268,20	0,00	0,41	1 268,20	0,00	0,44
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,92	1 368,03	0,11	1,07	1 262,00	0,00	0,16	1 262,00	0,00	0,17	1 366,50	0,00	0,31	1 366,50	0,00	0,36
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	1,14	1 421,40	1,98	1,56	1 336,00	5,86	0,27	1 336,00	5,86	0,27	1 393,90	0,00	0,51	1 393,90	0,00	0,58
2/2/5/4/6	1 559,60	6,55	6,52	1 580,36	7,97	5,34	1 361,00	8,02	1,73	1 366,30	8,44	1,86	1 463,70	0,00	0,94	1 463,70	0,00	1,06
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,79	1 500,77	0,01	2,12	1 286,00	0,00	0,90	1 286,00	0,00	0,95	1 500,60	0,00	0,66	1 500,94	0,02	0,82
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	3,26	1 654,55	0,05	4,25	1 329,00	0,00	2,57	1 329,00	0,00	2,61	1 653,70	0,00	0,98	1 653,70	0,00	1,19
4/2/3/3/6	1 652,80	0,31	3,08	1 731,58	5,09	2,84	1 493,00	0,00	0,48	1 587,00	6,30	0,56	1 651,10	0,21	0,64	1 651,10	0,21	0,74
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	5,58	1 797,73	0,09	3,49	1 471,00	0,00	1,73	1 471,00	0,00	1,82	1 796,20	0,00	0,83	1 797,22	0,06	0,91
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	10,61	1 947,48	0,39	12,33	1 504,00	0,00	6,48	1 504,00	0,00	6,98	1 940,00	0,00	2,22	1 940,68	0,04	2,82
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	4,21	1 575,48	0,04	4,07	1 286,00	0,00	2,36	1 286,00	0,00	2,40	1 574,80	0,00	0,89	1 575,31	0,03	1,06
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	7,18	2 132,34	0,18	6,01	1 817,00	0,00	1,76	1 817,00	0,00	1,86	2 128,60	0,00	0,72	2 129,45	0,04	0,92
Ortalama	1 423,02	0,34	2,63	1 430,25	0,80	2,70	1 237,65	0,69	1,10	1 242,62	1,03	1,16	1 418,22	0,02	0,60	1 418,42	0,03	0,71

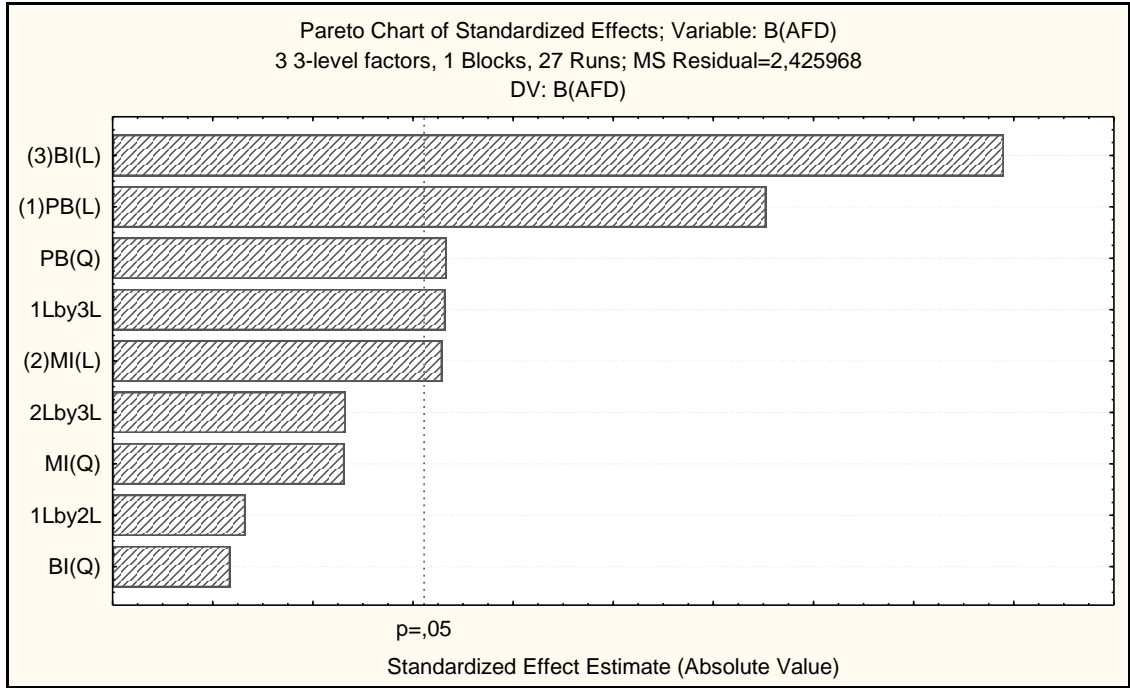
Çizelge Ek 2.19. Küçük boyutlu problemler için HPSO-TB-KEÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,58	965,37	0,02	0,61	875,00	0,00	0,14	875,00	0,00	0,16	965,20	0,00	0,27	965,20	0,00	0,31
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,53	931,58	0,07	0,51	823,00	0,00	0,17	823,00	0,00	0,18	930,90	0,00	0,25	930,90	0,00	0,29
2/1/3/5/3	977,70	0,00	1,25	978,04	0,03	1,13	823,00	0,00	0,48	823,00	0,00	0,52	977,70	0,00	0,44	977,70	0,00	0,51
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,39	1 250,81	0,04	0,44	1 139,00	0,00	0,17	1 139,00	0,00	0,17	1 250,30	0,00	0,17	1 250,30	0,00	0,19
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,56	1 276,85	0,07	0,70	1 139,00	0,00	0,27	1 139,00	0,00	0,27	1 276,00	0,00	0,31	1 276,00	0,00	0,37
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,65	1 332,67	0,14	1,61	1 139,00	0,00	0,75	1 139,00	0,00	0,82	1 330,80	0,00	0,64	1 330,80	0,00	0,71
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,69	1 460,90	0,00	0,67	1 304,00	0,00	0,33	1 304,00	0,00	0,36	1 460,90	0,00	0,23	1 460,90	0,00	0,25
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,62	1 210,16	0,11	0,72	1 122,00	0,00	0,13	1 122,00	0,00	0,13	1 208,80	0,00	0,23	1 208,80	0,00	0,29
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,86	1 226,16	0,11	0,90	1 122,00	0,00	0,17	1 122,00	0,00	0,19	1 224,80	0,00	0,33	1 225,99	0,10	0,34
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,11	1 272,60	0,35	1,26	1 122,00	0,00	0,34	1 122,00	0,00	0,36	1 268,20	0,00	0,39	1 268,37	0,01	0,48
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,97	1 370,07	0,26	0,88	1 262,00	0,00	0,16	1 262,00	0,00	0,17	1 366,50	0,00	0,33	1 366,67	0,01	0,36
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	1,33	1 419,98	1,87	1,46	1 262,00	0,00	0,25	1 311,30	3,91	0,28	1 393,90	0,00	0,52	1 394,24	0,02	0,57
2/2/5/4/6	1 564,70	6,90	5,29	1 603,00	9,52	3,23	1 361,00	8,02	0,91	1 401,80	11,25	1,00	1 557,90	6,44	0,89	1 557,90	6,44	1,01
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,26	1 501,45	0,06	1,50	1 286,00	0,00	0,66	1 286,00	0,00	0,70	1 500,60	0,00	0,61	1 501,45	0,06	0,74
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,34	1 655,91	0,13	2,58	1 329,00	0,00	1,64	1 329,00	0,00	1,76	1 653,70	0,00	1,01	1 654,21	0,03	1,50
4/2/3/3/6	1 649,40	0,10	1,67	1 744,06	5,85	1,75	1 589,00	6,43	0,50	1 628,20	9,06	0,47	1 747,10	6,03	0,70	1 747,44	6,05	0,83
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	1,76	1 797,90	0,09	2,32	1 471,00	0,00	1,22	1 471,00	0,00	1,25	1 796,20	0,00	0,87	1 797,56	0,08	0,99
4/2/4/5/3	1 941,70	0,09	9,38	2 007,60	3,48	7,43	1 504,00	0,00	2,22	1 504,00	0,00	3,36	1 940,00	0,00	1,95	1 940,68	0,04	2,74
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	2,23	1 575,99	0,08	2,40	1 286,00	0,00	1,34	1 286,00	0,00	1,55	1 574,80	0,00	0,75	1 575,31	0,03	0,86
4/2/5/3/1	2 132,00	0,16	2,98	2 137,95	0,44	3,44	1 817,00	0,00	1,20	1 840,40	1,29	1,30	2 128,60	0,00	0,77	2 131,49	0,14	0,90
Ortalama	1 423,36	0,36	1,87	1 435,95	1,14	1,78	1 238,75	0,72	0,65	1 246,39	1,28	0,75	1 427,65	0,62	0,58	1 428,10	0,65	0,71

Çizelge Ek 2.20. Küçük boyutlu problemler için HPSO-TB-PTÇ ile elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Bütünleşik Model						İki Aşamalı Model											
	En İyi Sonuç			Ortalama Sonuç			Aşama 1						Aşama 2					
	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS	AFD	%Fark ₂	TS
2/1/3/3/6	965,20	0,00	0,51	965,71	0,05	0,54	875,00	0,00	0,14	875,00	0,00	0,15	966,90	0,18	0,28	966,90	0,18	0,30
2/1/3/4/3	930,90	0,00	0,48	930,90	0,00	0,54	823,00	0,00	0,17	823,00	0,00	0,17	930,90	0,00	0,25	930,90	0,00	0,28
2/1/3/5/3	977,70	0,00	0,92	977,70	0,00	1,11	823,00	0,00	0,48	823,00	0,00	0,52	977,70	0,00	0,44	977,70	0,00	0,52
2/1/4/3/1	1 250,30	0,00	0,33	1 250,64	0,03	0,40	1 139,00	0,00	0,16	1 139,00	0,00	0,17	1 250,30	0,00	0,19	1 250,30	0,00	0,21
2/1/4/4/3	1 276,00	0,00	0,95	1 277,02	0,08	0,69	1 139,00	0,00	0,25	1 139,00	0,00	0,26	1 276,00	0,00	0,33	1 276,00	0,00	0,36
2/1/4/5/3	1 330,80	0,00	1,20	1 332,16	0,10	1,60	1 139,00	0,00	0,77	1 139,00	0,00	0,82	1 330,80	0,00	0,64	1 331,14	0,03	0,70
2/1/5/3/1	1 460,90	0,00	0,69	1 460,90	0,00	0,71	1 304,00	0,00	0,33	1 304,00	0,00	0,35	1 460,90	0,00	0,23	1 460,90	0,00	0,27
2/2/3/3/6	1 208,80	0,00	0,62	1 209,82	0,08	0,74	1 122,00	0,00	0,12	1 122,00	0,00	0,13	1 208,80	0,00	0,22	1 208,80	0,00	0,24
2/2/3/4/6	1 224,80	0,00	0,75	1 226,82	0,16	0,90	1 122,00	0,00	0,17	1 122,00	0,00	0,19	1 224,80	0,00	0,33	1 225,65	0,07	0,35
2/2/3/5/3	1 268,20	0,00	1,19	1 271,05	0,22	1,19	1 122,00	0,00	0,31	1 122,00	0,00	0,35	1 268,20	0,00	0,39	1 268,20	0,00	0,43
2/2/4/3/6	1 366,50	0,00	0,86	1 367,69	0,09	0,95	1 262,00	0,00	0,16	1 262,00	0,00	0,17	1 366,50	0,00	0,30	1 366,84	0,02	0,33
2/2/4/4/6	1 393,90	0,00	1,14	1 418,80	1,79	1,36	1 262,00	0,00	0,25	1 286,67	1,95	0,25	1 393,90	0,00	0,50	1 393,90	0,00	0,57
2/2/5/4/6	1 564,30	6,87	2,98	1 603,32	9,54	3,18	1 260,00	0,00	1,01	1 352,60	7,35	1,10	1 463,70	0,00	0,86	1 463,70	0,00	0,96
4/1/3/4/3	1 500,60	0,00	1,28	1 503,15	0,17	1,53	1 286,00	0,00	0,67	1 286,00	0,00	0,70	1 500,60	0,00	0,66	1 500,94	0,02	0,76
4/1/4/4/1	1 653,70	0,00	2,43	1 654,89	0,07	2,64	1 329,00	0,00	1,81	1 329,00	0,00	1,86	1 653,70	0,00	1,01	1 653,70	0,00	1,23
4/2/3/3/6	1 785,00	8,33	1,79	1 796,60	9,04	1,73	1 493,00	0,00	0,41	1 622,90	8,70	0,44	1 651,10	0,21	0,62	1 651,27	0,22	0,72
4/1/5/3/1	1 796,20	0,00	2,00	1 798,07	0,10	2,33	1 471,00	0,00	1,20	1 471,00	0,00	1,26	1 796,20	0,00	0,83	1 797,39	0,07	0,93
4/2/4/5/3	1 940,00	0,00	8,67	1 949,01	0,46	7,44	1 504,00	0,00	3,06	1 523,70	1,31	3,34	1 940,00	0,00	2,17	1 940,34	0,02	2,42
4/1/3/5/1	1 574,80	0,00	2,56	1 576,67	0,12	2,49	1 286,00	0,00	1,50	1 286,00	0,00	1,62	1 574,80	0,00	0,76	1 574,80	0,00	0,88
4/2/5/3/1	2 128,60	0,00	2,78	2 136,93	0,39	3,24	1 817,00	0,00	1,23	1 852,10	1,93	1,34	2 128,60	0,00	0,73	2 130,13	0,07	0,83
Ortalama	1 429,86	0,76	1,71	1 435,39	1,13	1,77	1 228,90	0,00	0,71	1 244,00	1,06	0,76	1 418,22	0,02	0,59	1 418,48	0,03	0,66

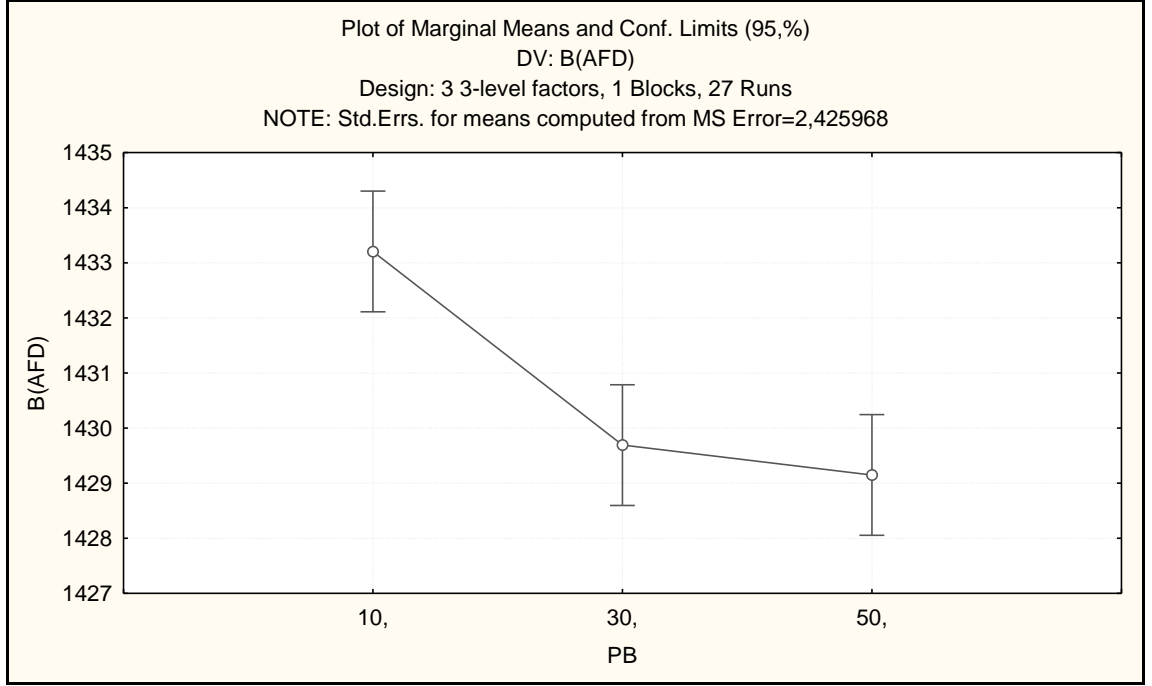
EK 3 HGA-TB-SÇ'nin Parametrik Analizlerine Ait Sonuçlar



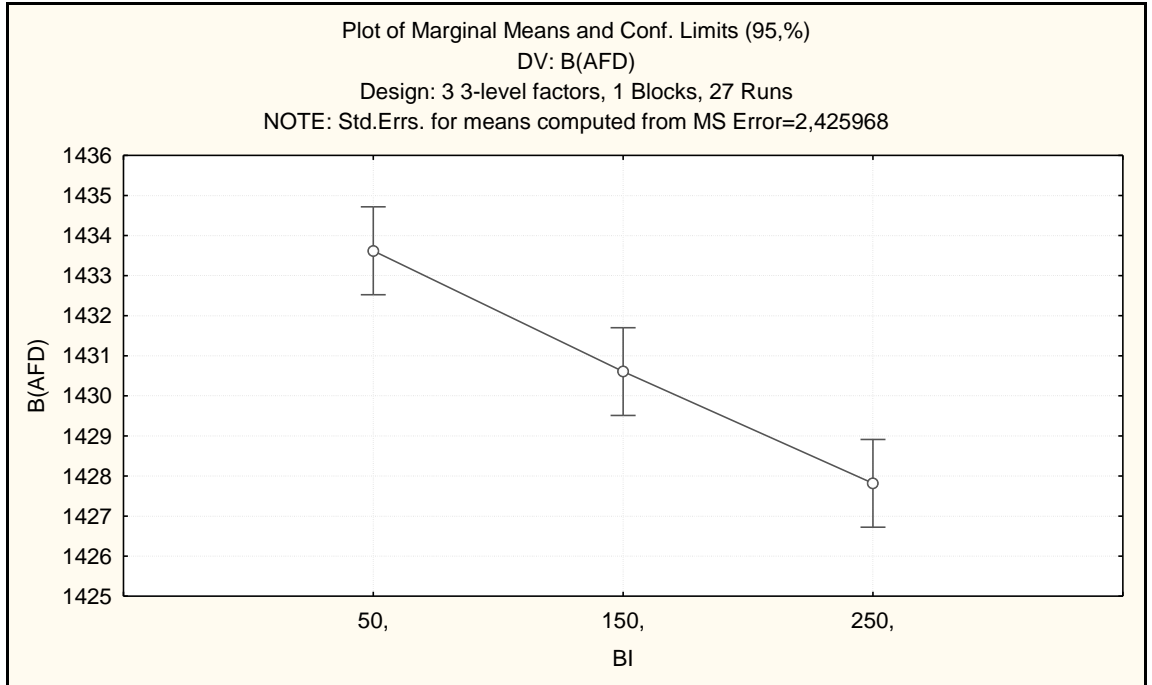
Şekil Ek 3.1. Bütünleşik modelin ortalama sonuçlarına ait pareto diyagramı

ANOVA; Var.:B(AFD); R-sqr=,86893; Adj:,79954 (deneysel) 3 3-level factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=2,425968 DV: B(AFD)					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)PB (L)	74,0869	1	74,0869	30,53911	0,000037
PB (Q)	13,2383	1	13,2383	5,45691	0,031997
(2)MI (L)	12,7302	1	12,7302	5,24748	0,035028
MI (Q)	4,2048	1	4,2048	1,73325	0,205471
(3)BI (L)	151,4409	1	151,4409	62,42495	0,000000
BI (Q)	0,0746	1	0,0746	0,03073	0,862909
1L by 2L	0,2597	1	0,2597	0,10707	0,747499
1L by 3L	13,0865	1	13,0865	5,39436	0,032869
2L by 3L	4,2811	1	4,2811	1,76469	0,201599
Error	41,2415	17	2,4260		
Total SS	314,6445	26			

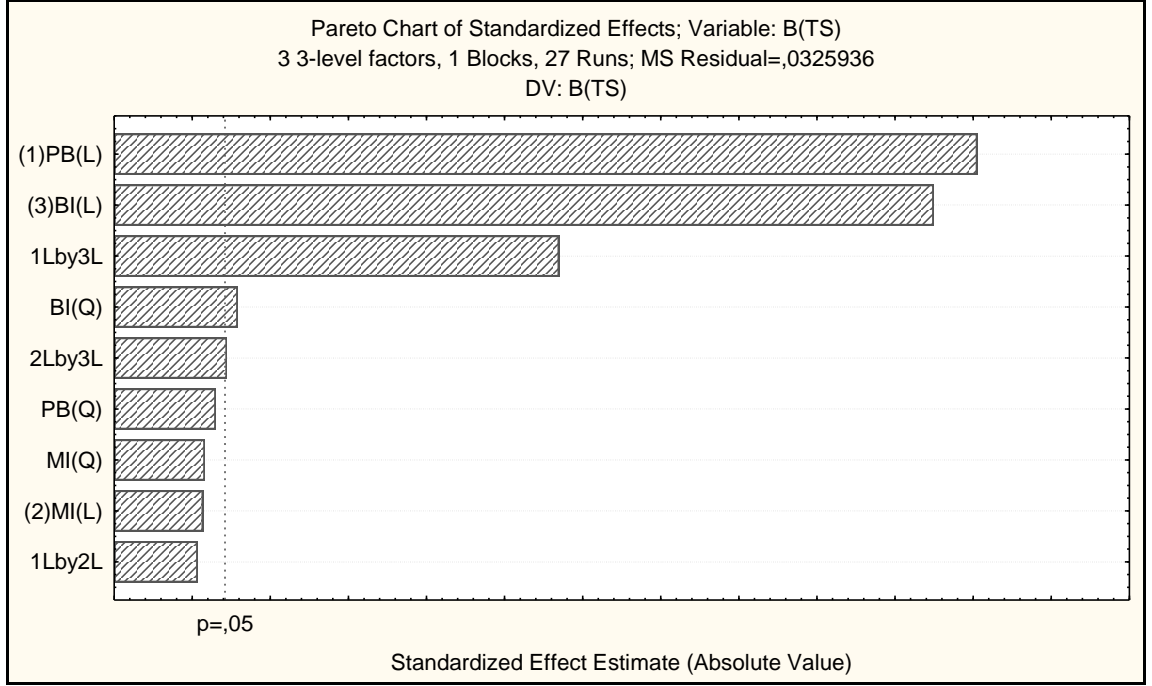
Şekil Ek 3.2. Bütünleşik modelin ortalama sonuçlarına ait anova tablosu



Şekil Ek 3.3. Bütünleşik modelde *PB* parametresinin sonuçlar üzerindeki ortalama etki grafiği



Şekil Ek 3.4. Bütünleşik modelde *BI* parametresinin sonuçlar üzerindeki ortalama etki grafiği

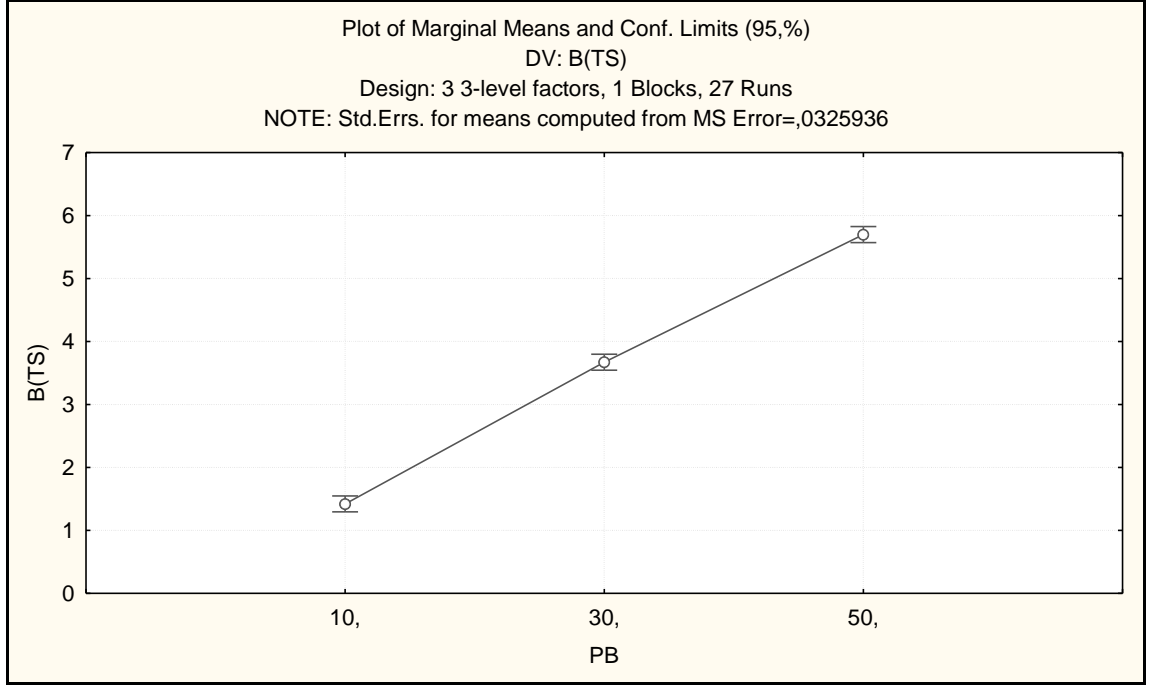


Şekil Ek 3.5. Bütünleşik modelin ortalama zamanlarına ait pareto diyagramı

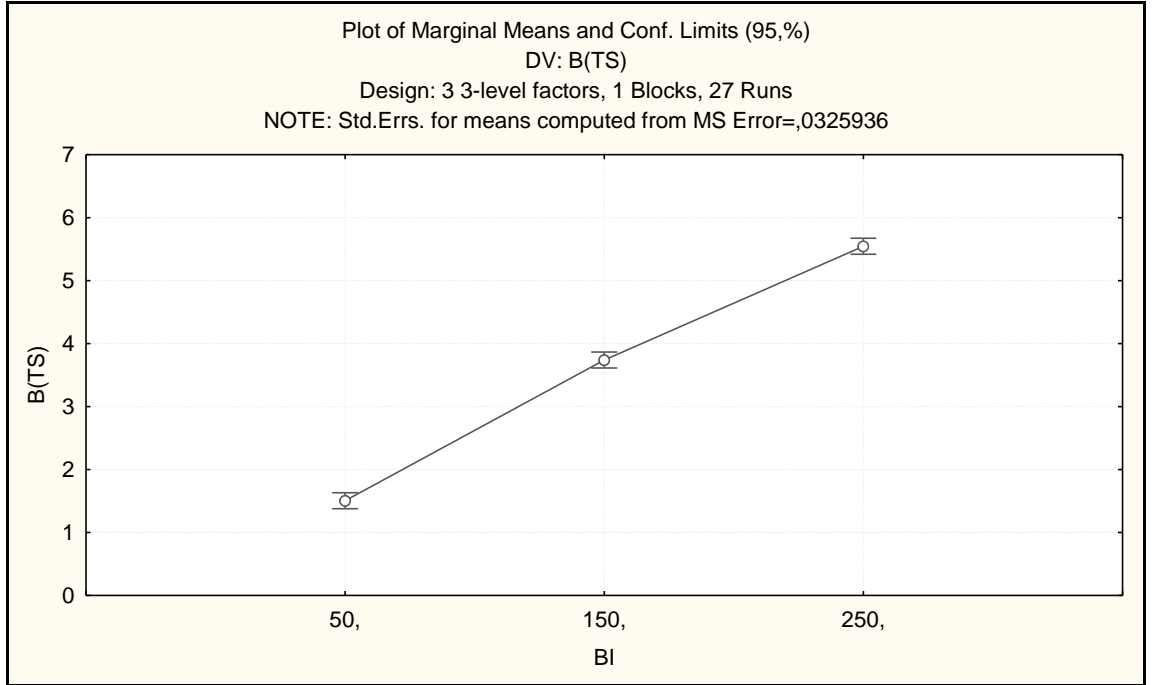
ANOVA; Var.:B(TS); R-sqr=,99683; Adj.:,99515 (deneysel)
3 3-level factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=,0325936
DV: B(TS)

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)PB (L)	82,3472	1	82,3472	2526,487	0,000000
PB (Q)	0,0741	1	0,07407	2,273	0,150032
(2)MI (L)	0,0156	1	0,01561	0,479	0,498312
MI (Q)	0,0212	1	0,02120	0,650	0,431076
(3)BI (L)	73,4472	1	73,44720	2253,426	0,000000
BI (Q)	0,2759	1	0,27592	8,465	0,009763
1L by 2L	0,0040	1	0,00403	0,124	0,729329
1L by 3L	17,9830	1	17,98301	551,735	0,000000
2L by 3L	0,1610	1	0,16101	4,940	0,040100
Error	0,5541	17	0,03259		
Total SS	174,8832	26			

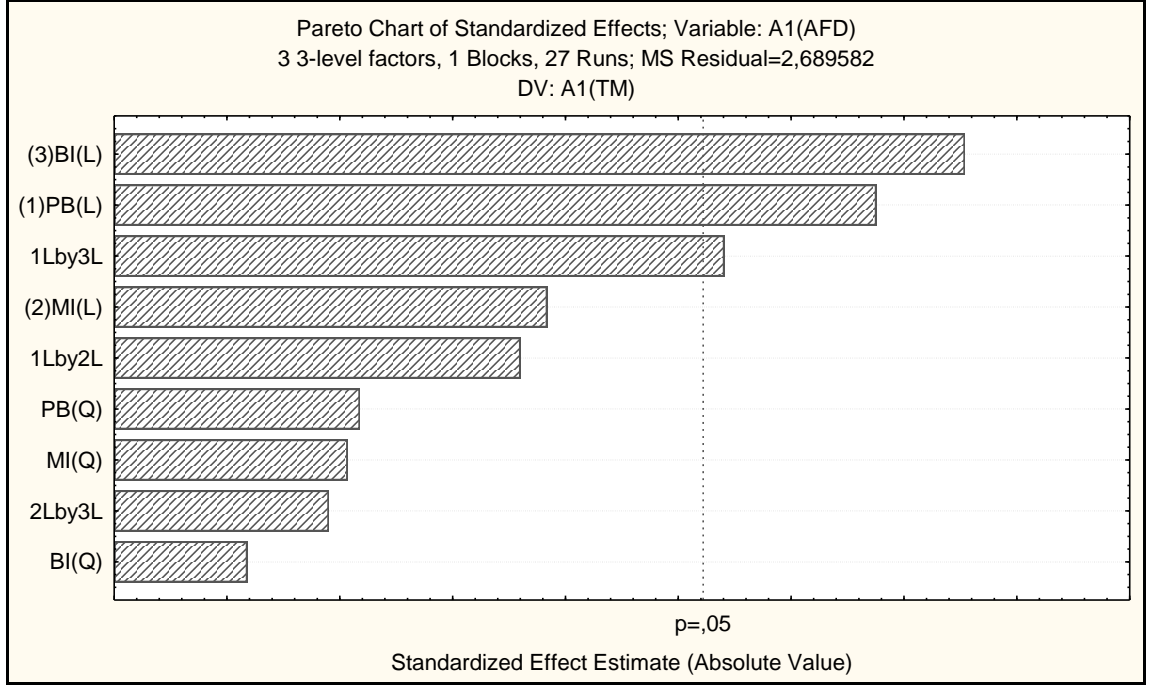
Şekil Ek 3.6. Bütünleşik modelin ortalama zamanlarına ait anova tablosu



Şekil Ek 3.7. Bütünleşik modelde *PB* parametresinin işlem zamanları üzerindeki ortalama etki grafiği



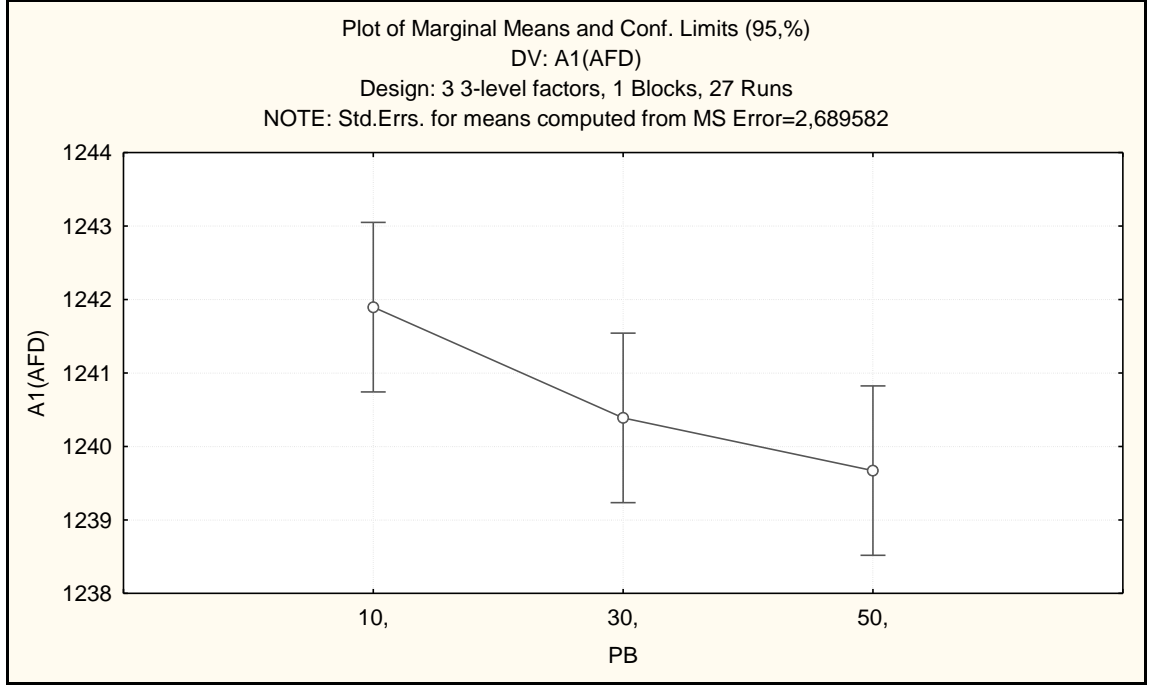
Şekil Ek 3.8. Bütünleşik modelde *BI* parametresinin işlem zamanları üzerindeki ortalama etki grafiği



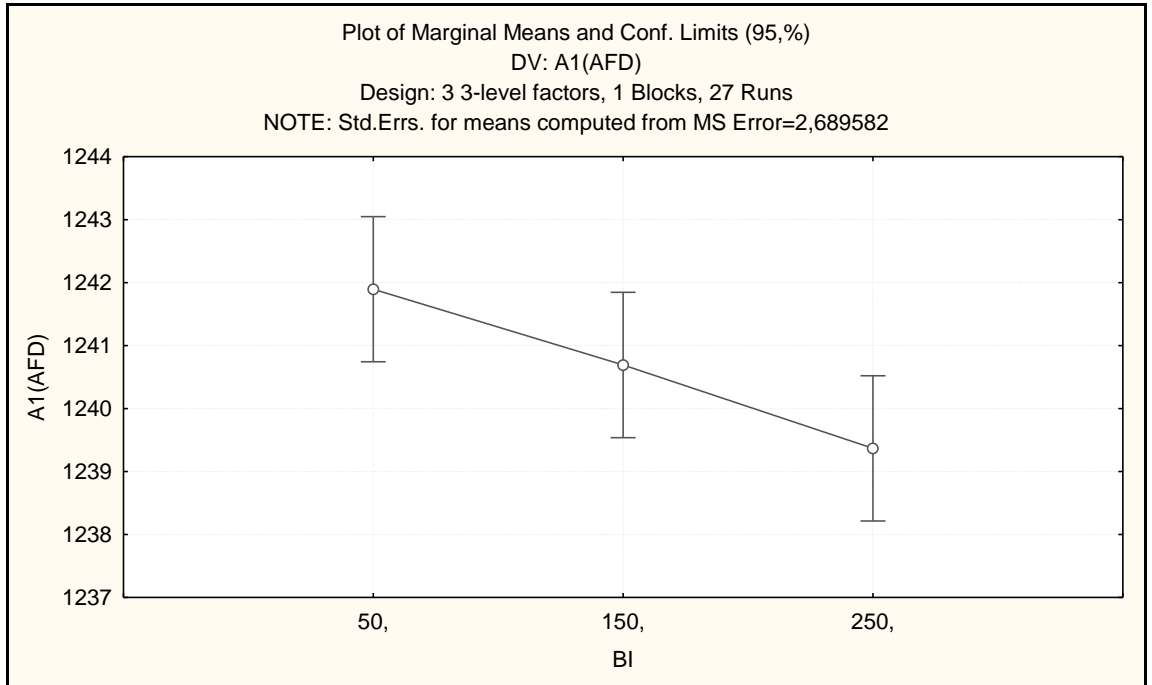
Şekil Ek 3.9. İki aşamalı modelde ilk aşamanın ortalama sonuçlarına ait pareto diyagramı

ANOVA; Var.:A1(AFD); R-sqr=,62544; Adj:,42715 (deneysel) 3 3-level factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=2,689582 DV: A1(AFD)					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)PB (L)	22,2745	1	22,27448	8,28176	0,010442
PB (Q)	0,9344	1	0,93444	0,34743	0,563324
(2)MI (L)	5,4181	1	5,41808	2,01447	0,173882
MI (Q)	0,7696	1	0,76958	0,28613	0,599636
(3)BI (L)	28,7623	1	28,76232	10,69398	0,004511
BI (Q)	0,0219	1	0,02186	0,00813	0,929218
1L by 2L	4,5504	1	4,55039	1,69186	0,210712
1L by 3L	13,0698	1	13,06984	4,85943	0,041562
2L by 3L	0,5481	1	0,54806	0,20377	0,657401
Error	45,7229	17	2,68958		
Total SS	122,0719	26			

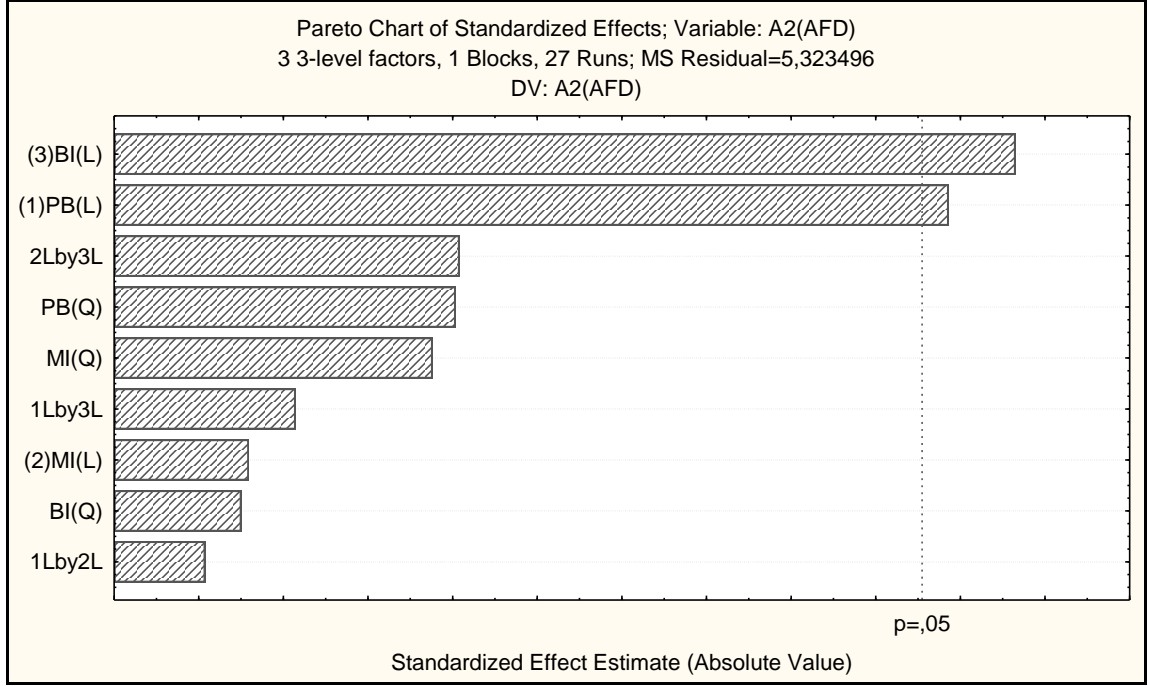
Şekil Ek 3.10. İki aşamalı modelde ilk aşamanın ortalama sonuçlarına ait anova tablosu



Şekil Ek 3.11. İki aşamalı modelin ilk aşamasında *PB* parametresinin sonuçlar üzerindeki ortalama etki grafiği



Şekil Ek 3.12. İki aşamalı modelin ilk aşamasında *BI* parametresinin sonuçlar üzerindeki ortalama etki grafiği

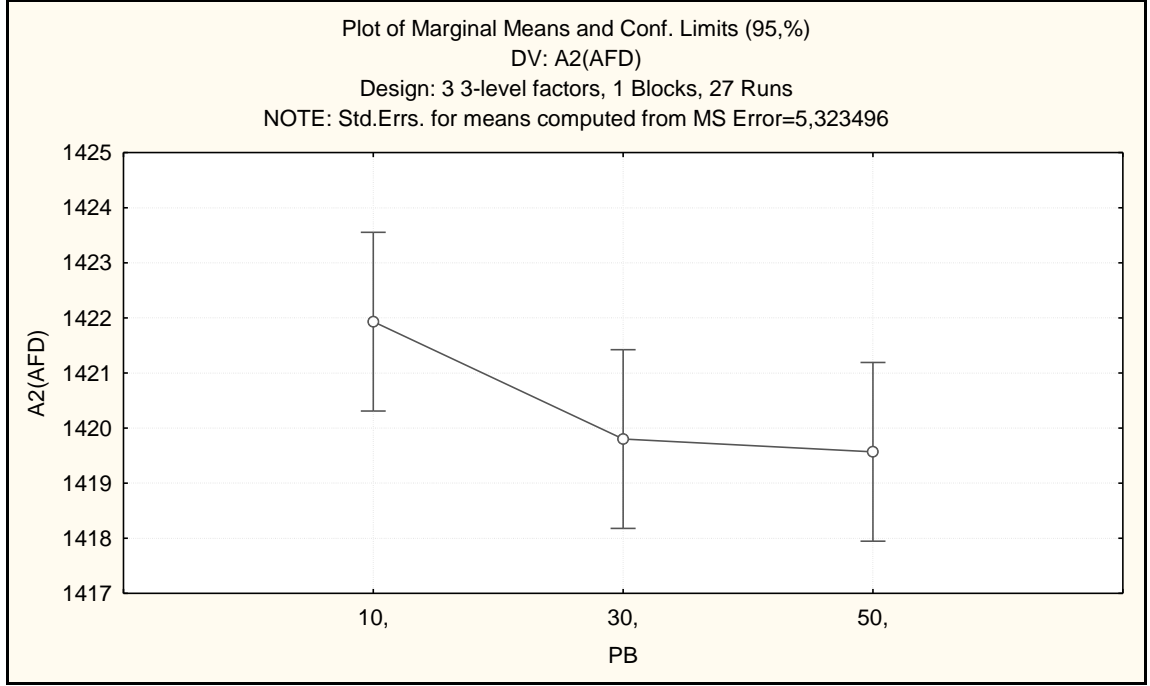


Şekil Ek 3.13. İki aşamalı modelde ikinci aşamanın ortalama sonuçlarına ait pareto diyagramı

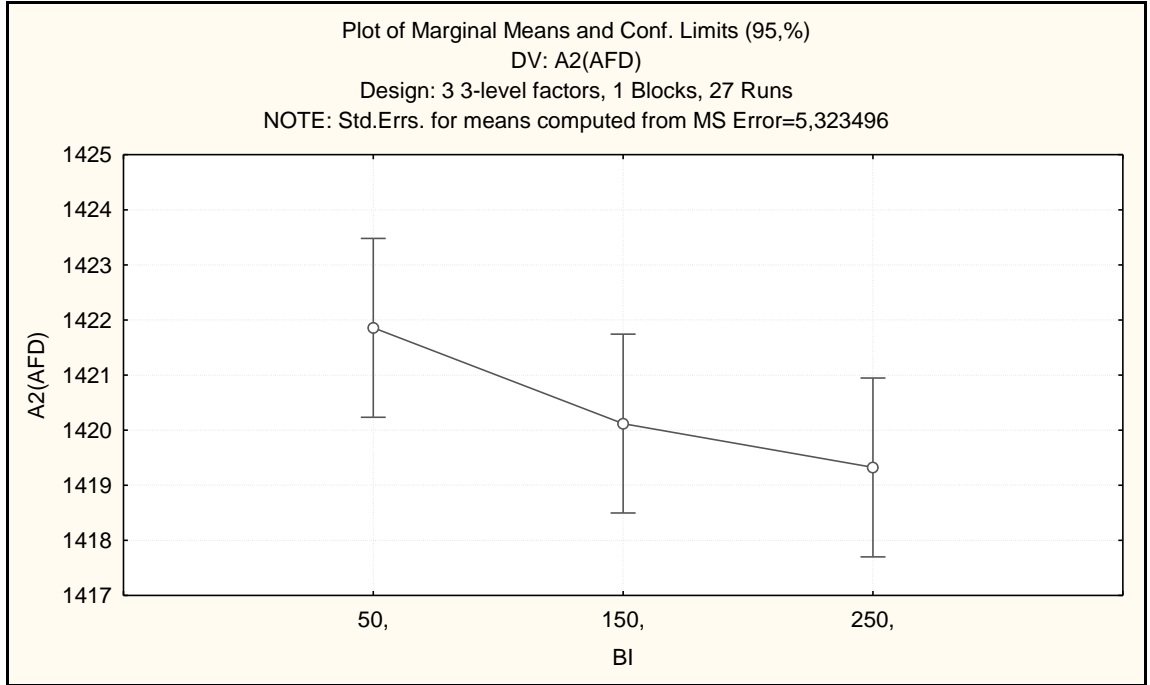
ANOVA; Var.:A2(AFD); R-sqr=,45496; Adj:.,16641 (deneysel)
3 3-level factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=5,323496
DV: A2(AFD)

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)PB (L)	25,1163	1	25,1163	4,71801	0,044285
PB (Q)	5,4001	1	5,4001	1,01439	0,327974
(2)MI (L)	1,4295	1	1,4295	0,26851	0,611006
MI (Q)	4,8309	1	4,8309	0,90747	0,354134
(3)BI (L)	28,9129	1	28,9129	5,43119	0,032352
BI (Q)	1,3336	1	1,3336	0,25050	0,623138
1L by 2L	0,9172	1	0,9171	0,17228	0,683282
1L by 3L	2,1051	1	2,1050	0,39542	0,537819
2L by 3L	5,4979	1	5,4979	1,03276	0,323756
Error	90,4994	17	5,3235		
Total SS	166,042	26			

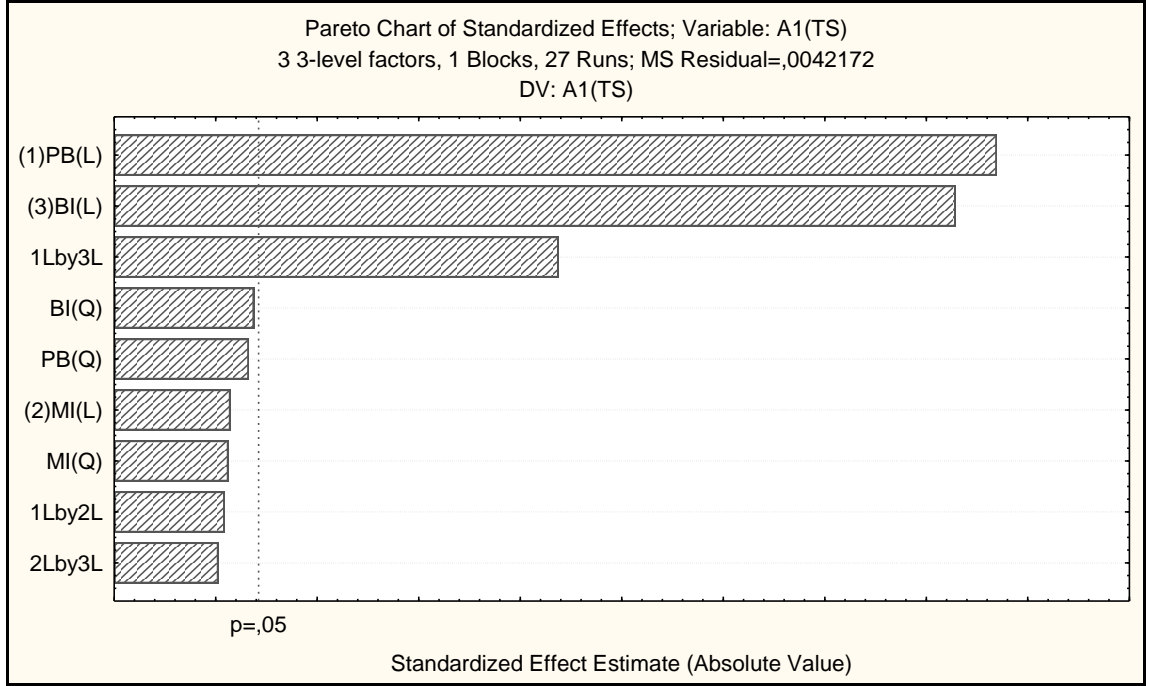
Şekil Ek 3.14. İki aşamalı modelde ikinci aşamanın ortalama sonuçlarına ait anova tablosu



Şekil Ek 3.15. İki aşamalı modelin ikinci aşamasında *PB* parametresinin sonuçlar üzerindeki ortalama etki grafiği



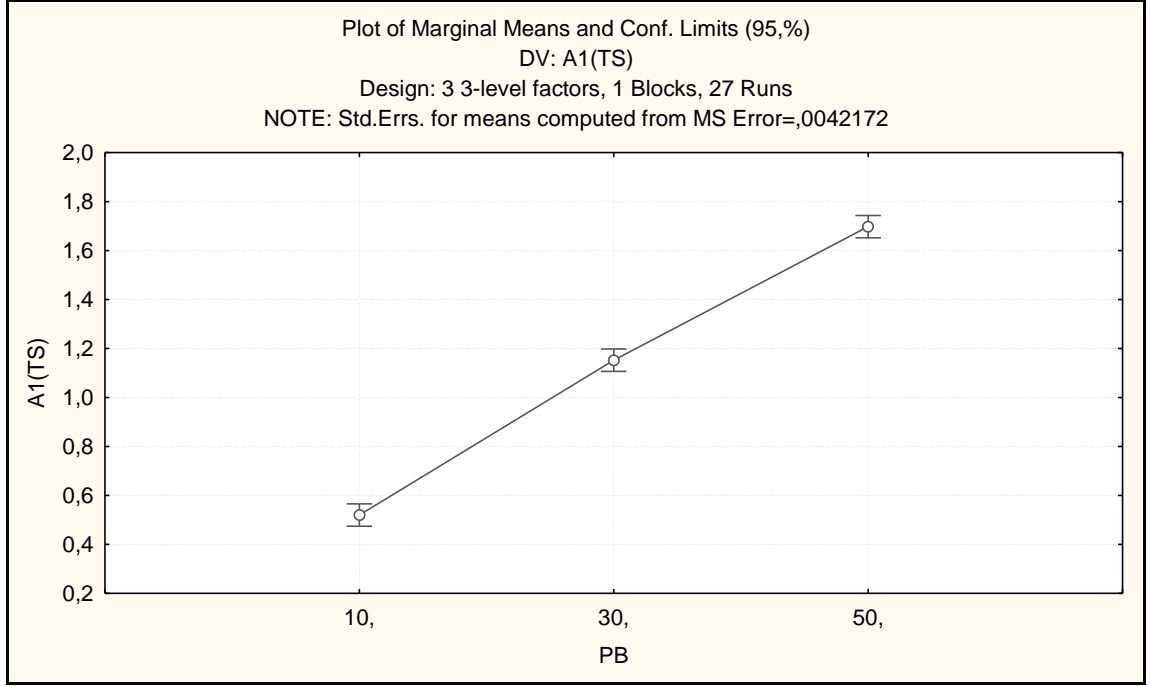
Şekil Ek 3.16. İki aşamalı modelin ikinci aşamasında *BI* parametresinin sonuçlar üzerindeki ortalama etki grafiği



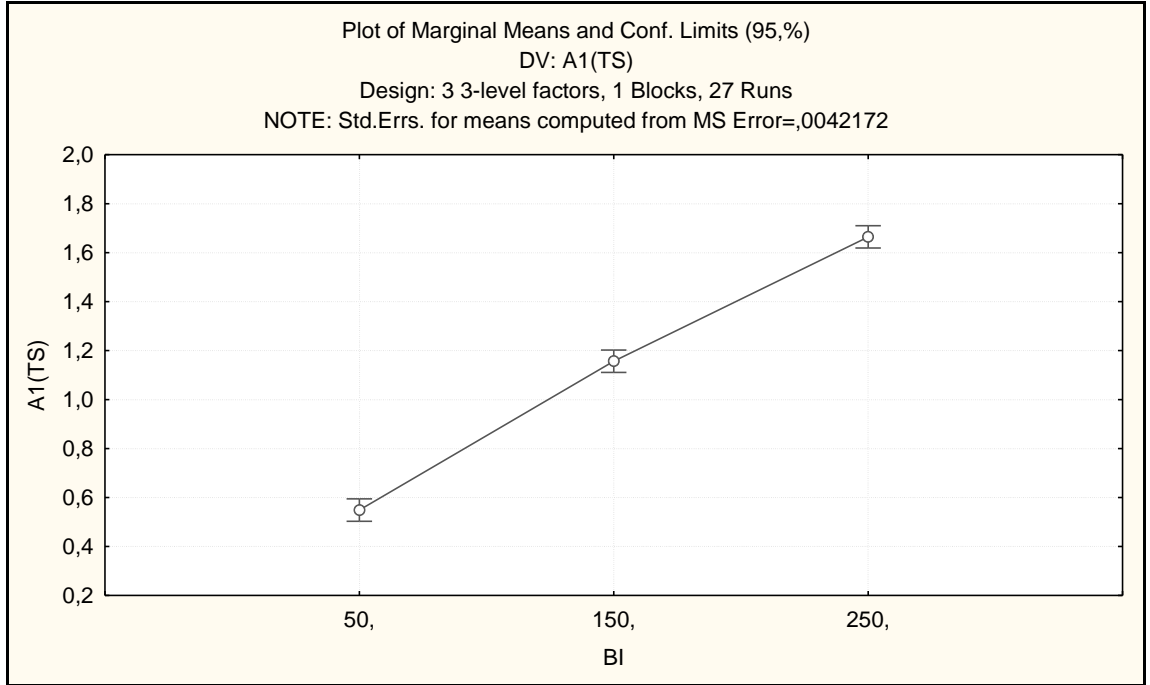
Şekil Ek 3.17. İki aşamalı modelde birinci aşamanın ortalama zamanlarına ait pareto diyagramı

ANOVA; Var.:A1(TS); R-sqr=,99455; Adj.:,99166 (deneysel) 3 3-level factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=,004217 DV: A1(TS)						
Factor	SS	df	MS	F	p	
(1)PB (L)	6,24222	1	6,24222	1480,197	0,00000	
PB (Q)	0,01127	1	0,011267	2,672	0,120532	
(2)MI (L)	0,00222	1	0,002222	0,527	0,477769	
MI (Q)	0,00167	1	0,001667	0,395	0,537929	
(3)BI (L)	5,60008	1	5,60008	1327,930	0,00000	
BI (Q)	0,01500	1	0,015000	3,557	0,076503	
1L by 2L	0,00083	1	0,000833	0,198	0,662268	
1L by 3L	1,20333	1	1,203333	285,342	0,00000	
2L by 3L	0,00007	1	0,000075	0,018	0,895476	
Error	0,07165	17	0,004217			
Total SS	13,14840	26				

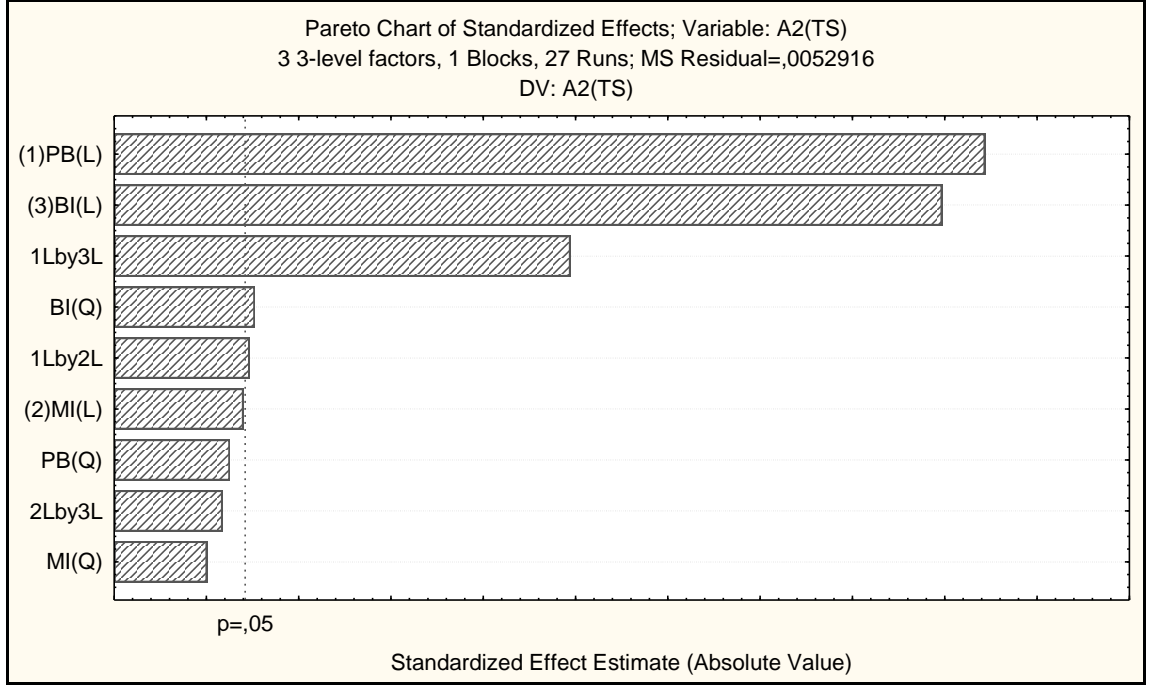
Şekil Ek 3.18. İki aşamalı modelde birinci aşamanın ortalama zamanlarına ait anova tablosu



Şekil Ek 3.19. İki aşamalı modelin birinci aşamasında *PB* parametresinin işlem zamanları üzerindeki ortalama etki grafiği



Şekil EK 3.20. İki aşamalı modelin birinci aşamasında *BI* parametresinin işlem zamanları üzerindeki ortalama etki grafiği

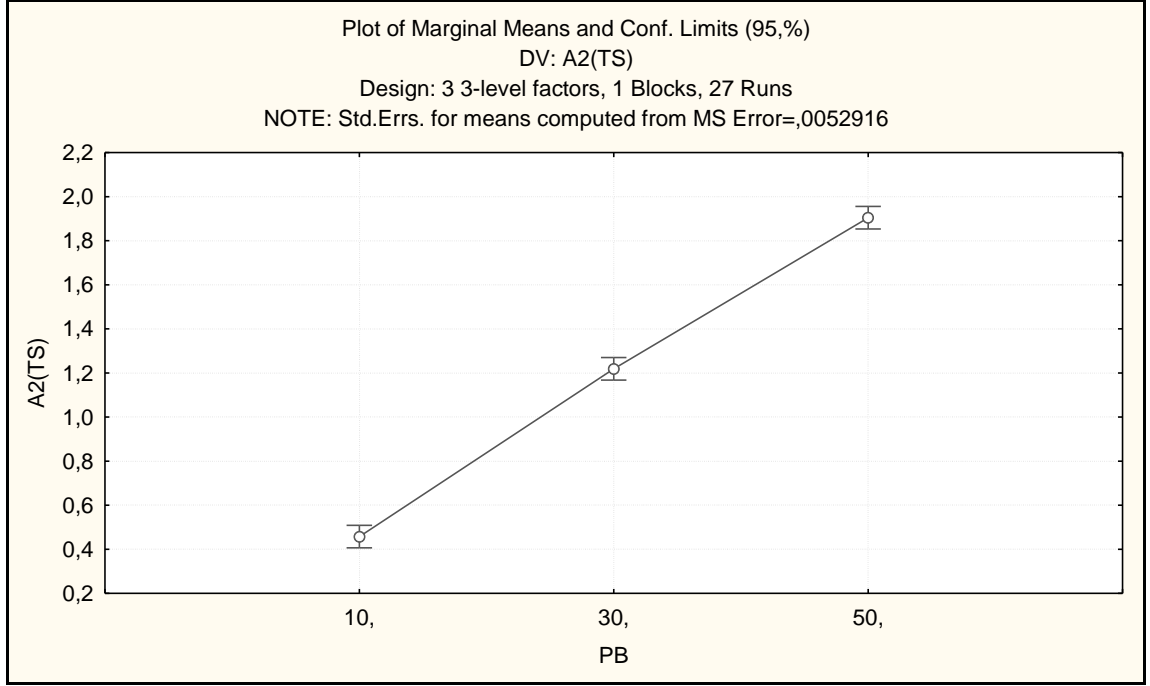


Şekil Ek 3.21. İki aşamalı modelde ikinci aşamanın ortalama zamanlarına ait pareto diyagramı

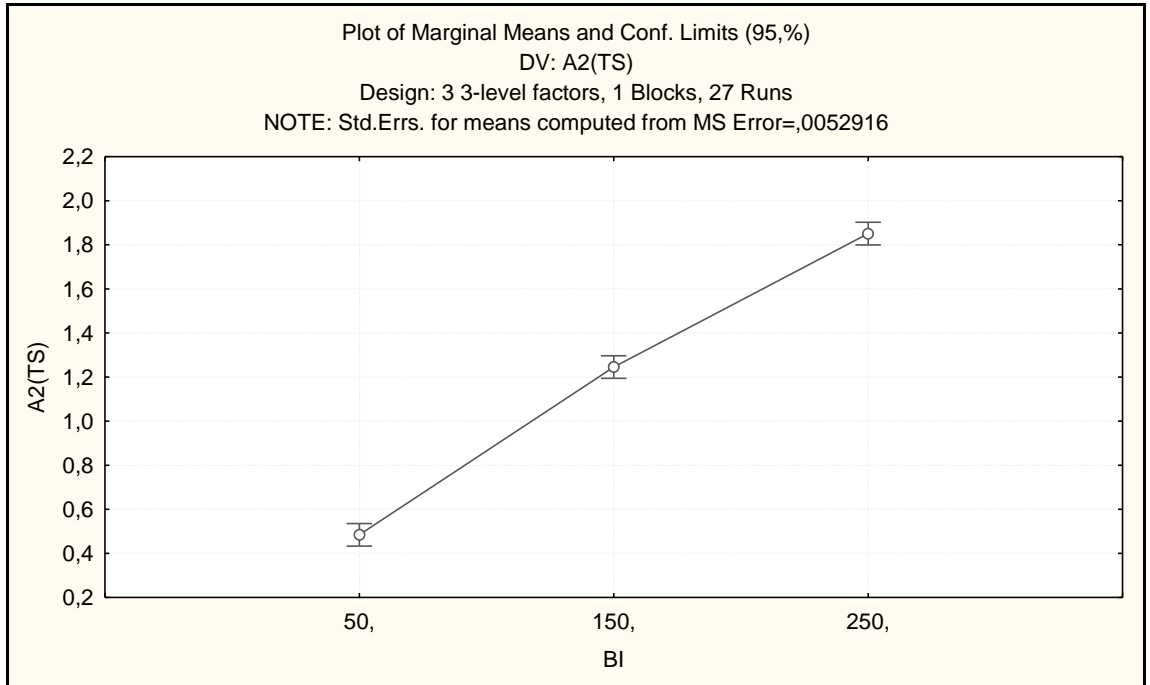
ANOVA; Var.:A2(TS); R-sqr=,99552; Adj:,99315 (deneysel)
3 3-level factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=,0052916
DV: A2(TS)

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)PB (L)	9,41780	1	9,41780	1779,760	0,000000
PB (Q)	0,00856	1	0,00856	1,618	0,220467
(2)MI (L)	0,02135	1	0,02135	4,036	0,060700
MI (Q)	0,00001	1	0,00001	0,001	0,970590
(3)BI (L)	8,40500	1	8,40500	1588,363	0,000000
BI (Q)	0,03630	1	0,03630	6,859	0,017959
1L by 2L	0,02901	1	0,02901	5,482	0,031655
1L by 3L	2,05841	1	2,05841	388,995	0,000000
2L by 3L	0,00403	1	0,00403	0,762	0,394802
Error	0,08996	17	0,005292		
Total SS	20,07043	26			

Şekil Ek 3.22. İki aşamalı modelde ikinci aşamanın ortalama zamanlarına ait anova tablosu



Şekil Ek 3.23. İki aşamalı modelin ikinci aşamasında *PB* parametresinin işlem zamanları üzerindeki ortalama etki grafiği



Şekil Ek 3.34. İki aşamalı modelin ikinci aşamasında *BI* parametresinin işlem zamanları üzerindeki ortalama etki grafiği

EK 4 ÇSÜAYP-ÜRA İçin HGA-TB-SÇ İle Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge Ek 4.1. ÇSÜAYP-ÜRA'da %30 alan içi doluluk oranı için elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	Ürün Sayısı	Lokasyon Sayısı	HGA-TB-SÇ				Kural Tabanlı HGA-TB-SÇ			
			En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç	
			AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS
4/3/6/10/2	133	13	7 663,81	1 598,80	7 711,60	1 611,04	7 604,90	160,22	7 647,36	147,81
5/3/10/6/2	158	18	8 759,14	1 940,40	9 001,33	1 973,18	8 805,30	161,09	8 920,24	164,28
6/4/17/4/2	202	27	10 745,21	2 525,17	11 032,33	2 537,98	10 665,20	230,40	10 910,35	232,62
7/4/11/5/2	195	22	10 256,89	2 709,14	10 487,32	2 688,96	10 259,80	228,98	10 454,89	232,13
7/5/10/7/2	246	22	13 374,33	3 354,60	13 541,36	3 307,93	13 166,60	306,68	13 378,25	317,13
8/5/18/3/2	203	31	10 944,59	2 727,89	11 240,39	2 656,07	10 746,90	273,83	11 210,56	272,59
9/4/13/3/2	173	26	9 091,71	2 458,52	9 377,68	2 455,99	9 046,20	212,05	9 320,95	209,83
10/5/23/2/2	226	38	12 374,36	3 126,50	12 756,74	3 124,89	12 348,60	292,24	12 641,77	278,65
11/6/21/2/2	226	38	12 631,39	3 026,43	13 076,80	2 728,27	12 621,10	331,89	12 875,99	332,19
12/6/30/1/2	166	48	9 195,96	2 414,06	9 348,77	2 253,79	9 031,30	295,22	9 172,09	291,94
Ortalama	199,44	28,30	10 503,74	2 588,15	10 757,43	2 533,81	10 429,59	249,26	10 653,25	247,92

Çizelge Ek 4.2. ÇSÜAYP-ÜRA’da %50 alan içi doluluk oranı için elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	HGA-TB-SÇ				Kural Tabanlı HGA-TB-SÇ			
	En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç	
	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS
4/3/6/10/2	7 744,42	1 453,85	7 837,22	1 455,36	7 642,20	148,61	7 716,67	147,92
5/3/10/6/2	8 919,28	1 754,18	8 997,20	1 753,09	8 813,50	169,61	9 003,64	159,18
6/4/17/4/2	10 789,90	2 253,54	11 051,82	2 262,02	10 824,80	212,89	10 950,99	217,16
7/4/11/5/2	10 567,07	2 123,25	10 668,08	2 079,83	10 379,10	211,99	10 507,25	217,12
7/5/10/7/2	14 026,82	2 778,93	14 399,61	2 675,51	13 906,90	290,75	14 202,98	291,40
8/5/18/3/2	11 119,75	2 418,90	11 335,66	2 310,37	10 958,00	251,07	11 267,55	252,23
9/4/13/3/2	9 239,48	1 820,29	9 345,38	1 813,68	9 135,50	200,07	9 253,75	205,29
10/5/23/2/2	12 258,67	2 390,47	12 434,75	2 411,91	12 350,10	241,60	12 590,63	263,63
11/6/21/2/2	12 810,50	2 685,40	12 992,70	2 685,60	12 708,00	308,10	12 910,56	288,29
12/6/30/1/2	9 007,37	2 018,35	9 107,24	2 019,20	9 052,40	263,75	9 256,71	259,31
Ortalama	10 648,32	2 169,72	10 816,97	2 146,66	10 577,05	229,84	10 766,07	230,15

Çizelge Ek 4.3. ÇSÜAYP-ÜRA’da %70 alan içi doluluk oranı için elde edilen sonuçlar

Problem Tanımı	HGA-TB-SÇ				Kural Tabanlı HGA-TB-SÇ			
	En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç		En İyi Sonuç		Ortalama Sonuç	
	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS	AFD	TS
4/3/6/10/2	7 765,71	1 324,48	7 796,68	1 322,37	7 701,00	119,53	7 810,39	119,79
5/3/10/6/2	8 788,88	1 569,55	8 948,44	1 544,18	8 908,70	112,82	8 955,41	133,26
6/4/17/4/2	10 777,86	2 058,03	10 830,21	2 013,54	10 673,30	193,64	11 025,49	184,07
7/4/11/5/2	10 573,07	1 647,37	10 742,47	1 910,24	10 317,40	188,12	10 661,55	190,37
7/5/10/7/2	14 122,85	2 772,40	14 300,28	2 667,97	14 267,50	258,43	14 690,01	247,55
8/5/18/3/2	11 254,97	2 108,38	11 511,04	2 064,82	11 278,60	227,20	11 528,74	226,80
9/4/13/3/2	9 424,43	1 763,57	9 569,22	1 687,22	9 307,00	134,94	9 432,68	171,97
10/5/23/2/2	12 474,46	2 227,62	12 682,05	2 154,20	12 241,60	243,20	12 754,31	243,92
11/6/21/2/2	13 037,39	2 428,15	13 079,29	2 410,99	12 773,20	277,67	12 940,91	252,92
12/6/30/1/2	9 158,51	1 815,61	9 241,91	1 790,71	9 157,90	236,82	9 286,50	232,34
Ortalama	10 737,81	1 971,52	10 870,16	1 956,62	10 662,62	199,24	10 908,60	200,30

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İlker KÜÇÜKOĞLU

Doğum yeri ve Tarihi : İstanbul, 12.09.1985

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Edremit Anadolu Lisesi, 2003

Lisans : Gazi Üniversitesi, 2008

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2010

Çalıştığı Kurum : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 2010-...

İletişim : ikucukoglu@uludag.edu.tr

Yayınları : (SCI, SCI-E ve diğer uluslararası indekslerce taranan dergilerde yayımlanan makaleler yazılmıştır)

Küçüköğlü, İ., Aksoy, A., Ene, S., Öztürk, N. 2013. A mathematical model for two dimensional loading problem in cross-docking network design. *Mathematical and Computational Applications*, 18(3): 273-282.

Küçüköğlü, İ., Ene, S., Aksoy, A., Öztürk, N. 2013. A green capacitated vehicle routing problem fuel consumption optimization model. *International Journal of Computational Engineering Research*, 3(7): 16-23.

Aksoy, A., Küçüköğlü, İ., Ene, S., Öztürk, N. 2014. Integrated emission and fuel consumption calculation model for green supply chain management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109(1): 1106-1109.

Küçüköğlü, İ., Öztürk, N. 2014. An advanced hybrid meta-heuristic algorithm for the vehicle routing problem with backhauls and time windows. *Computers & Industrial Engineering*, In Press.

Küçüköğlü, İ., Öztürk, N. 2014. A differential evolution approach for the vehicle routing problem with backhauls and time windows. *Journal of Advanced Transportation*, 48(8): 942-956.

Küçüköğlü, İ., Öztürk, N. 2014. Simulated annealing approach for transportation problem of cross-docking network design. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109(1): 1180-1184.

Yıldız, T., Özalp, B. T., Küçüköğlü, İ., Yurtkuran, A., Öztürk, N. 2014. A Linear Programming Approach for Parallel Cell Scheduling with Sequence-Dependent Setup Times. *American Journal of Operations Research*, 4(3): 155.

Küçüköğlü, İ., Ene, S., Aksoy, A., Öztürk, N. 2015. A memory structure adapted simulated annealing algorithm for a green vehicle routing problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5): 3279-3297.