



**BOZULABİLİR ÜRÜNLERİN DAĞITIM PLANLAMASI İÇİN SEZGİSEL
YAKLAŞIMLAR**

Ufuk YAPAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2016

Ufuk YAPAR tarafından hazırlanan “BOZULABİLİR ÜRÜNLERİN DAĞITIM PLANLAMASI İÇİN SEZGİSEL YAKLAŞIMLAR” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK BAYKOÇ

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye : Doç. Dr. Yusuf Tansel İÇ

Endüstri Mühendisliği, Başkent Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 04/02/2016

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

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ufuk YAPAR

04/02/2016

BOZULABİLİR ÜRÜNLERİN DAĞITIM PLANLAMASI İÇİN SEZGİSEL

YAKLAŞIMLAR

(Yüksek Lisans Tezi)

Ufuk YAPAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2016

ÖZET

Günümüzde artan rekabete paralel olarak firmalar için müşteri memnuniyetinin sağlanması daha da önem kazanmıştır. Müşteri memnuniyetinin sağlanmasının zor olduğu sektörlerden birisi de gıda sektörüdür. Çünkü bu sektörde özellikle bozulabilir ürün grupları ürün değerlerinin önemli bir kısmını dağıtım aşamasında kaybedebilmektedir. Bu tez kapsamında bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması problemi ele alınmıştır. Çok amaçlı zaman pencereli araç rotalama problemi (ÇA-ZPARP) olarak tanımlanan bu problemde amaçlar; toplam tur uzunluğunun enküçüklenmesi ve ürün tazeliğinin enbüyüklenmesidir. ÇA-ZPARP'nin çözümü için iki yaklaşım önerilmiştir. Birinci yaklaşımda problemin Ardışık Hedef Programlama modeli geliştirilmiştir. Problem NP-zor problemler sınıfında yer aldığı için Hedef Programlama modelinin çözümü için tavlama benzetimine dayalı bir algoritma (TB-HP) geliştirilmiştir. TB-HP'nin performansı, Solomon (1987) test problemleri üzerinde çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından incelenmiştir. İkinci yaklaşımda ise ÇA-ZPARP'nin pareto-eniyi çözümler kümesinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle TB-HP'de gerekli düzenlemeler yapılarak yeni bir algoritma (TB-ÇA) elde edilmiştir. TB-ÇA'da Pareto-eniyi çözümlere ulaşmak için çok terimli (multinomial) yaklaşım kullanılmıştır. TB-ÇA'nın etkinliği literatürde önerilen karma Genetik Algoritma (K-GA) ile karşılaştırılmalı incelenmiştir. Deneysel analiz ile TB-ÇA'nın Pareto-eniyi çözümlere ulaşmada çok daha başarılı olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 906.1.141

Anahtar Kelimeler : Araç Rotalama Problemi, Bozulabilir ürünler, Hedef Programlama, Çok amaçlı optimizasyon

Sayfa Adedi : 59

Danışman : Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK BAYKOÇ

HEURISTIC APPROACHES FOR DISTRIBUTION PLANNING OF PERISHABLE FOODS

(M. Sc. Thesis)

Ufuk YAPAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2016

ABSTRACT

In increased competition environment, ensuring customer satisfaction has received a lot of attention from the companies. The food sector dealing with perishable foods is one of the most challenging sectors in providing customer satisfaction, since this kind of foods can lose an important part of their value in the distribution process. This thesis considers the distribution problem of the perishable foods. The problem is formulated as a multi objective vehicle routing problem with time windows (MO-VRPTW) in which objectives are minimization of total route distance and maximization of freshness. Two solution approaches are proposed to solve the MO-VRPTW. In the first approach, a preemptive goal programming model is developed. Since the problem is NP-Hard, a heuristic approach based on simulated annealing (SA-GP) is developed for the solution of goal programming model. The performance of the SA-GP is investigated on Solomon (1987) test problems according to solution quality and solution time. The second approach is aimed to achieve the Pareto-optimal set of solutions for MO-VRP. Therefore, a new algorithm (SA-MO) is obtained by making necessary revision on SA-GP. The SA-MO utilizes multinomial approach in reaching pareto-optimal solutions of the problem. The performance of the SA-MO is comparatively investigated with a hybrid Genetic Algorithm (H-GA) given in the literature. The computational analyses show that the SA-MO outperforms the H-GA in reaching high quality Pareto-optimal solutions.

Science Code : 906.1.141

Key Words : Vehicle Routing Problem, Perishable foods, Goal Programming, Multi Objective Optimization

Page Number : 59

Supervisor : Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK BAYKOÇ

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyerek beni yönlendiren tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ve bu günlere gelmemde çok büyük emeği olan aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Son olarak tez çalıőmalarımı maddi olarak destekleyen TÜBİTAK'a teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. BOZULABİLİR ÜRÜNLERİN DAĞITIM PLANLAMASI.....	3
2.1. Bozulabilir Ürün Özellikleri	3
2.2. Araç Rotalama Problemleri	6
2.2.1. ARP çeşitleri	6
2.2.2. ARP için çözüm yaklaşımları.....	8
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	13
3.1. Bozulabilir Ürünler İçin Literatür Araştırması.....	13
3.2. Çok Amaçlı Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi İçin Literatür Araştırması	16
4. BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN ÇA-ZPARP	21
5. ÇA-ZPARP İÇİN HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI	25
5.1. ÇA-ZPARP İçin Hedef Programlama Modeli.....	25
5.2. Önerilen Çözüm Yaklaşımı	26
5.2.1. Başlangıç çözümü	27

	Sayfa
5.2.2. Hareket mekanizması	27
5.2.3. Komşu çözümün değerlendirilmesi	30
5.2.4. Soğutma stratejisi	32
5.3. Sayısal Analiz.....	32
5.3.1. Test problemleri	34
5.3.2. Küçük boyutlu problemler için sayısal analiz.....	35
5.3.3. Büyük boyutlu problemler için sayısal analiz.....	37
6. ÇA-ZPARP İÇİN PARETO-ENİYİ ÇÖZÜMLERİN ELDE EDİLMESİ YAKLAŞIMI	41
6.1. Önerilen Çözüm Yaklaşımı	41
6.1.1. Başlangıç çözümü	42
6.1.2. Hareket mekanizması	40
6.1.3. Komşu çözümlerin değerlendirilmesi	43
6.1.4. Soğutma stratejisi	44
6.2. Sayısal Analiz	44
6.2.1. Parametrelerin belirlenmesi	46
6.2.2. Hareket mekanizmalarının performanslarının değerlendirilmesi.....	47
6.2.3. TB-ÇA ve K-GA' nın performans analizi.....	49
7. SONUÇLAR.....	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	59

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bozulabilir ürünlerin sınıflandırılması	5
Çizelge 2.2. Bozulabilir ürünlerde literatürde çalışılmış ve çalışılmamış ürünler.....	5
Çizelge 2.3. Araç rotlamanın kısa bir tarihçesi.....	9
Çizelge 3.1. Bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması hakkında yapılan çalışmalar	14
Çizelge 3.2. Çok amaçlı ZPARP ile ilgili çalışmalar.....	18
Çizelge 3.3. HP yaklaşımı kullanan ARP çalışmaları.....	19
Çizelge 5.1. Küçük boyutlu test problemleri için sayısal sonuçlar.....	36
Çizelge 5.2. Büyük boyutlu test problemleri için sayısal sonuçlar.....	38
Çizelge 6.1. T_0 ve q değerinin TB-ÇA'nın performansına etkisi.....	47
Çizelge 6.2. Hareket mekanizmaları kombinasyonunun TB-ÇA'nın performansına etkisi.....	48
Çizelge 6.3. TB-ÇA ve K-GA'nın başarı yüzdeleri.....	49

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. ARP temel sınıfları	7
Şekil 5.1. Or-opt1 hareket mekanizması için bir örnek	28
Şekil 5.2. Yer değiştirme hareket mekanizması için bir örnek	28
Şekil 5.3. 2opt* hareket mekanizması için bir örnek.....	29
Şekil 5.4. Çözümlerin karşılaştırılması	30
Şekil 5.5. Tazeliğin hesaplanması için algoritma	31
Şekil 5.6. TB-HP algoritmasının adımları	33
Şekil 6.1. Araç ekleme hareket mekanizması için bir örnek.....	42
Şekil 6.2. Komşu çözümün değerlendirilmesi	43
Şekil 6.3. TB-ÇA algoritmasının adımları.....	45
Şekil 6.4. Geç bozulabilir ürünlerde TB-ÇA ve K-GA ile elde edilen PEL'in karşılaştırılması	50
Şekil 6.5. Orta derecede bozulabilir ürünlerde TB-ÇA ve K-GA ile elde edilen PEL'in karşılaştırılması	50
Şekil 6.6. Hızlı bozulabilir ürünlerde TB-ÇA ve K-GA ile elde edilen PEL'in karşılaştırılması.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simge ve kısaltmalar açıklamaları ile aşağıda verilmiştir.

Simgeler	Açıklamalar
d_i	Depodan müşteriye ulaştırılması gereken miktar
p_i	Müşteriden depoya ulaştırılması gereken miktar
K	Araç kümesi $(1, \dots, m)$
N	Müşteri kümesi $(1, \dots, n)$
c_{ij}	i düğümünde j düğümüne gidiş maliyeti
t_{ij}	i düğümünde j düğümüne gidiş süresi
C	Araç kapasitesi
a_i	i müşterisine servise yapılabilecek en erken zaman
b_i	i müşterisine servis yapılabilecek en geç zaman
sl_i	i müşterisinin talep ettiği ürünün raf ömrü
x_{ij}^k	i müşterisinden j müşterisine k aracı gidiyorsa 1, gitmiyorsa 0
w_i^k	k aracının i müşterisinde servise başladığı zaman
fr_i	i müşterisine teslim edilen ürünlerin tazeliği
δ_i^+	i müşterisinden sonra gelen müşteriler kümesi
δ_i^-	i müşterisinden önce gelen müşteriler kümesi
P	Yeterince büyük bir sayı
d_1^+	Birinci amaç fonksiyonunun hedefinden pozitif sapma değeri
d_2^-	İkinci amaç fonksiyonunun hedefinden negatif sapma değeri
f_1	Birinci amaç fonksiyonu hedef değeri
f_2	İkinci amaç fonksiyonu hedef değeri
Δ	İki çözümün amaç fonksiyon değerleri arasındaki fark
S	Problemin mümkün bir çözümü
S'	S çözümünden elde edilen mümkün bir komşu çözüm
$f(S)$	S çözümün amaç fonksiyon değeri
T	Sıcaklık değeri
q	Soğutma oranı

Simgeler**Açıklamalar**

f_3 Toplam bozulma değeri

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ARP	Araç Rotalama Problemi
BEÇS	Bulunan Eniyi Çözüm Sayısı
ÇA-ZPARP	Çok Amaçlı Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi
ÇS	Çözüm Süresi
EB	Hedefte En Büyük Sapma Değeri
EK	Hedefte En Küçük Sapma Değeri
GTARP	Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi
HP	Hedef Programlama
IES	İlerletici Ekleme Sezgiseli
KARP	Klasik Araç Rotalama Problemi
K-GA	Karma Genetik Algoritma
KS	Her Sıcaklıkta Aranan Komşu Çözüm Sayısı
ORT	Hedefte Ortalama Sapma Değeri
PEL	Pareto-Eniyi Liste
TB-ÇA	Pareto-Eniyi Çözümler Kümesi Üreten Sezgisel Algoritma
TB-HP	Hedef Programlama Mantığı Kullanılan Sezgisel Algoritma
TDARP	Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
ZPARP	Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi
ZPGTARP	Zaman Pencereli Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi
ZPTDARP	Zaman Pencereli Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi

1. GİRİŞ

Yoğun rekabetin söz konusu olduğu günümüzde firmalar müşteri memnuniyetine daha duyarlı hale gelmişlerdir. Bu nedenle firmalar, üretim ve lojistik sitemlerini müşteri ihtiyaç ve taleplerini de göz önünde bulundurarak müşteri memnuniyetini sağlayacak şekilde tasarlamaya başlamışlardır. Bakteri, sıcaklık, ışık ve hava gibi çevresel etkenlerden dolayı sıklıkla bozulabilen ürünlerin söz konusu olduğu sektörlerde müşteri memnuniyetinin sağlanması da zor olabilmektedir. Bu tür ürünlerin olduğu sektörlere örnek olarak; taze sebze, meyve, süt ve et üretiminin ve dağıtımının yapıldığı gıda sektörü ve ilaç üretimi ve dağıtımının yapıldığı sağlık sektörü verilebilir. Özellikle gıda sektöründe, müşteri memnuniyeti müşterinin satın aldığı ürünün tazeliği ile doğrudan orantılıdır. Bu nedenle firmalar, ürünlerde meydana gelen bozulma enaz seviyede olacak şekilde ürünleri müşterilerine ulaştırmak istemektedirler. Dolayısıyla, dağıtım planlamalarını yaparken tazeliği de göz önünde bulundurmaları zorundadırlar. Ürünlerin dağıtım planlamasında karşılaşılan problemlerden birisi de araç rotalama problemleridir (ARP). İlk defa Dantzig ve Ramser (1959) tarafından tanımlanan ARP, merkezi bir depodan müşterilere hizmet ederken belirlenmiş amaç ya da amaçlara göre kullanılacak rotaların eniyilemesi problemidir. Literatürde, pratikte karşılaşılan kısıtlamalar dikkate alınarak zaman pencereli ARP, topladağıt ARP, tur uzunluğu kısıtlı ARP, vb. ARP'nin farklı türleri üzerinde çalışmalar yapıldığı ve yeni çözüm yaklaşımlarının önerildiği görülmektedir. ARP'nin türleri ve sınıflandırılması üzerinde son çalışmalardan birisi Ekşioğlu, Vural ve Reisman (2009) tarafından yapılmıştır. Bozulabilir ürünler ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu ürünlerin dağıtım probleminin genellikle zaman pencereli ARP (ZPARP) olarak dikkate alındığı görülmektedir. Klasik ARP'den farklı olarak ZPARP'de, tüm araçların herbir müşteri için önceden belirlenmiş zaman aralıkları içinde hizmete başlaması gerekmektedir.

Literatürdeki çalışmaların çoğu enküçük maliyetli rotaların belirlenmesinin söz konusu olduğu tek amaçlı ARP üzerinedir. Ancak, gerçek hayat problemlerinin büyük bir kısmı doğası gereği çok amaçlıdır. Bu nedenle son yıllarda çok amaçlı ARP üzerine çalışmaların olduğu görülmektedir. Çok amaçlı ARP üzerine bir literatür araştırması Jozefowicz, Glover ve Laguna (2008) tarafından yapılmıştır.

Bu tezde, bozulabilir ürünlerin dağıtım problemi çok amaçlı zaman pencereli araç rotalama problemi (ÇA-ZPARP) olarak ele alınmıştır. Probleme dikkate alınan amaçlar tazeliğin

enbüyüklenmesi ve toplam tur uzunluğunun enküçüklenmesidir. Tez kapsamında ÇA-ZPARP' nin çözümü için iki yaklaşım önerilmiştir;

Birinci yaklaşımda problemin Hedef Programlama modeli geliştirilmiştir. Problemin HP modeli geliştirilirken, amaçların önem ağırlıklarının belirlenmesinin zorluğundan dolayı Ardışık HP yaklaşımı kullanılmıştır. Problem NP-zor problemler sınıfında yer aldığı için Hedef Programlama modelinin çözümü için tavlama benzetimine dayalı bir algoritma (TB-HP) geliştirilmiştir. TB-HP'nin performansı, Solomon (1987) test problemleri üzerinde çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından incelenmiştir.

İkinci yaklaşımda ise ÇA-ZPARP 'nin pareto-eniyi çözümler kümesinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle TB-HP'de gerekli düzenlemeler yapılarak yeni bir algoritma (TB-ÇA) elde edilmiştir. TB-ÇA'da Pareto-eniyi çözümlere ulaşmak için çok terimli (multinomial) yaklaşım kullanılmıştır. Parametre değerlerinin belirlenmesi ve komşuluk mekanizmalarının etkinliklerinin incelenmesi için deneysel çalışmalar yapılmış ve TB-ÇA'nın etkinliği Amorim ve Almada-Lobo (2014) tarafından önerilen karma Genetik Algoritma (K-GA) ile karşılaştırılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde bozulabilir ürünlerin özellikleri ve bozulabilir ürünler ile ilgili sınıflandırmalardan bahsedilmiştir. Daha sonra ARP'nin çeşitleri ve çözüm yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması ve çok amaçlı ARP üzerine literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Dördüncü bölümde bozulabilir ürünlerin dağıtım probleminin matematiksel modeli detaylı olarak verilirken, beşinci ve altıncı bölümde probleminin çözümü için geliştirilen algoritmalar sırasıyla TB-HP ve TB-ÇA detaylı olarak anlatılmış ve önerilen sezgisel algoritmaların etkinlikleri incelenmiştir. Çalışmanın altıncı bölümünde ise çalışmada elde edilen sonuçların değerlendirildiği ve gelecek çalışmalar için önerilerin verildiği sonuç bölümü yer almaktadır.

2. BOZULABİLİR ÜRÜNLERİN DAĞITIM PLANLAMASI

Bu bölümde bozulabilir ürünler hakkında literatürde yapılan tanımlar ve sınıflandırmalar verilmiştir. Daha sonra, dağıtım planlamasında karşılaşılan araç rotalama problemlerinin çeşitleri ve çözüm yaklaşımlarından bahsedilmiştir.

2.1. Bozulabilir Ürün Özellikleri

Ürünlerdeki bozulma birçok sebepten dolayı kaynaklanabildiğinden ve bozulma kavramının bazı durumlarda belirsiz olmasından dolayı bozulabilir ürünlerin tanımlanması ve sınıflandırılması zordur. Wee (1993) bozulabilirliği şu şekilde tanımlamaktadır; bir ürünün kullanılabilirliğini düşüren çürüme, hasar, bozulma, buharlaşma, eskime ve ürünün faydasını veya marjinal değerini düşüren her şeydir.

Bozulabilir ürünler için literatürde çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Ghare ve Scharader (1963) bozulabilir ürünleri 3 gruba ayırmıştır;

- i. Doğrudan bozulma,
Örnek; sebzeler, çiçekler, taze besinler vb.,
- ii. Fiziksel tükenme,
Örnek; alkol ve gazlar,
- iii. Çürüme ve eskime,
Örnek; radyoaktif maddeler ve gazete.

Nahmias (1982) ise bozulabilir ürünleri raf ömürleri sabit olanlar ve raf ömürleri belirsiz ürünler olmak üzere 2 sınıfa ayırmıştır. Sabit raf ömürlü ürünlerin tam bozulma zamanları önceden belirlenir ve o süre sonunda ürün tam olarak bozulmuş sayılır ve artık kullanılamaz. Bu tarz ürünler, üstünde son kullanma tarihi olan ürünlerdir. Örnek olarak süt, yoğurt ve kan bankalarındaki kanlar verilebilir. Belirsiz raf ömürlü ürünler için belli bir son kullanma tarihi belirlenemez. Bu yüzden bu ürünlerin raf ömürleri belli bir olasılık dağılımı kullanılarak rassal olarak belirlenebilir. Örnek olarak çiçekler, meyveler ve sebzeler verilebilir. Raafat (1991) bozulabilir ürünleri, zaman ve ürünün değerini dikkate alarak 3 gruba ayırmıştır;

- i. Ürünün değeri kullanım süresi boyunca sabit olan,
Örnek; sıvı ilaçlar.
- ii. Ürünün değeri kullanım süresi boyunca artan,
Örnek; bazı peynir ve şarap çeşitleri.
- iii. Ürünün değeri kullanım süresi boyunca azalanlar,
Örnek; sebzeler, meyveler ve taze besinler.

Ferguson ve Koenigsberg (2007) bozulabilirliği aşağıda belirtildiği gibi 2 gruba ayırmıştır;

- i. Fiziksel olarak bozulma,
Örnek; meyve, sebze, süt vb.
- ii. Müşteriye göre bozulma, eskime,
Örnek; modası geçmiş bir kıyafet, önceki tarihe ait bir gazete, yaşam ömrünü yitirmiş teknolojik bir alet vb.

Amorim, Meyr, Almeder ve Almada-Lobo (2013) ise önceki çalışmalarda yapılmış sınıflandırmaların ışığında bozulabilir ürünleri aşağıdaki gibi 3 boyutta sınıflandırmıştır;

- Fiziksel bozulma
- Otorite kuralları
- Müşteri için değeri

Sınıflandırmanın fiziksel bozulma boyutu üründe zaman içerisindeki bozulmanın fiziksel olup olmaması ile ilgilidir. Bazı ürünler için, müşteri sağlığını korumak ya da müşteriye ürünün tazeliği hakkında bilgilendirmek için ürünün son kullanım tarihi ile ilgili bilgiler koyulan kurallar sonucu zorunlu tutulmaktadır. Bunun için bu ürün çeşitlerinde belirlenen son kullanım tarihine kadar ürünün tazeliğinde bir değişim olmadığı, son kullanma tarihinden sonra ise tamamen bozulduğu kabul edilmektedir. Ürünün zaman içerisinde müşteri tarafından alınma isteği ise azalan ya da sabit olanlar şeklinde ayrılmaktadır. Müşteri ürünün tazeliğini ürünün dış görünüşünden anlayabiliyorsa müşteri gözündeki değeri düşmüş demektir. Bazı ürün çeşitlerinin sınıflandırılması Çizelge 2.1'de verilmiştir;

Çizelge 2.1. Bozulabilir ürünlerin sınıflandırılması

		Otorite kuralları			
		Son kullanım tarihi hakkında bilgi verilmiş		Son kullanım tarihi hakkında bilgi yok	
Fiziksel Bozulma	Var	Kan bankalarındaki kanlar	Yoğurt	Peynir, Gaz	Meyveler, radyoaktif maddeler
	Yok	Gerçek dışı	Günlük Gazeteler	Bozulmayan ürünler	Moda kıyafetler
		Sabit	Azalan	Sabit	Azalan
Müşterinin gözünde ürünün değeri					

Örneğin kan bankasındaki bir kanın, belli bir son kullanma tarihi vardır. Kanın son kullanma tarihine kadar müşterinin kanı alma isteği sabittir. Son kullanma tarihinden sonra ise kan fiziksel olarak bozulmuştur ve kullanılamaz. Diğer bir örnek gazete ise üretildiği gün içinde tüketilmek zorundadır. Müşteri, gazete üzerindeki tarih sayesinde ürünü alınabileceği zaman süresinde almak istemektedir. Günlük gazeteler zaman geçtikçe gazetede fiziksel olarak bir bozulma olmamasına rağmen müşterinin gazeteyi alma isteği azalmaktadır. Meyvelerde ise zaman geçtikçe meyve üzerinde fiziksel bir bozulma görülmektedir ve dolayısıyla müşterilerin meyveyi alma istekleri de azalmaktadır.

Amorim ve diğerleri (2013) bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması hakkında literatürdeki inceledikleri çalışmalar ışığında çalışılmamış konuları Çizelge 2.2' de göstermişlerdir;

Çizelge 2.2. Bozulabilir ürünlerde literatürde çalışılmış ve çalışılmamış ürünler

		Otorite kuralları			
		Son kullanım tarihi hakkında bilgi verilmiş		Son kullanım tarihi hakkında bilgi yok	
Araç Rotalama					
		Sabit	Azalan	Sabit	Azalan
Müşterinin gözünde ürünün değeri					

Çalışılmamış

Çalışılmış

Yukarıdaki grafikten örnek olarak; kan bankalarındaki kan, bazı peynir çeşitleri ve gazların dağıtımının araç rotalama problemi olarak henüz çalışılmamış ürün çeşitleri olduğu görülmektedir.

Bozulabilir ürünlerin dağıtım planlamasında karşılaşılan problemlerden dolayı bu tez kapsamında bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması problemi ele alınmıştır. Problem, çok amaçlı araç rotalama problemi olarak modellenmiştir. Bölüm 2.2' de araç rotalama problemleri ve çeşitleri hakkında bilgi verildikten sonra ARP' nin çözüm yaklaşımlarından bahsedilmiştir.

2.2. Araç Rotalama Problemleri

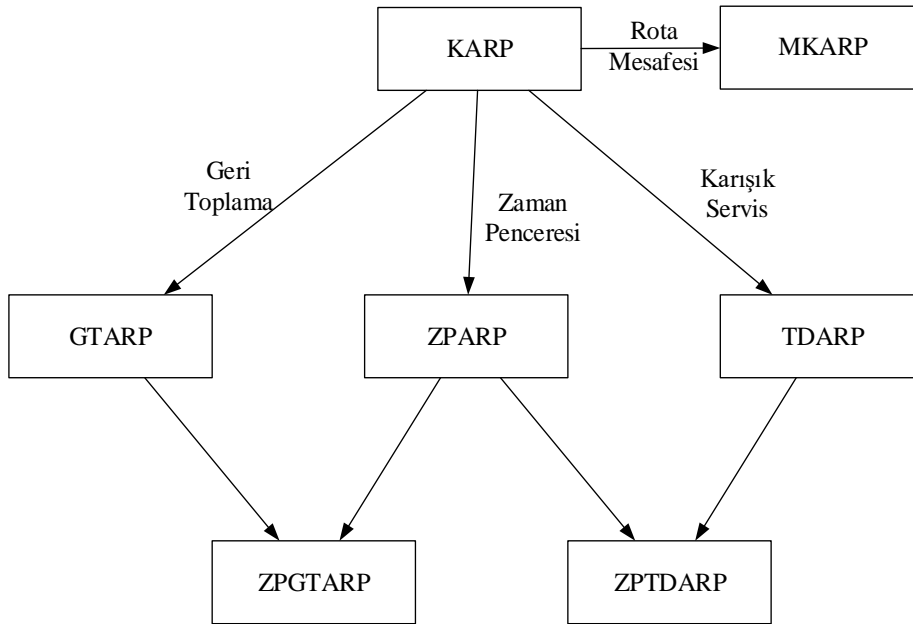
Araç Rotalama Problemi (ARP), dağıtım ve/veya toplama faaliyetlerinin yönetimiyle uğraşan problemler bütünüdür genel bir adıdır. ARP'yi oluşturan kavramların özellikleri çözülecek problemin türünü belirlemektedir. Klasik araç rotalama probleminde (KARP) kapasite kısıtına sahip homojen bir araç filosu, araç filosunun servise başladığı bir depo, yerleri bilinen müşteriler ve bu müşterilerin miktarları önceden belli dağıtım/toplama talepleri vardır. Amaç aşağıdaki kısıtları sağlarken araçların katettiği toplam mesafeyi enküçükleyen rotalar kümesinin bulunmasıdır (Göksal, 2010).

1. Tüm müşterilerin talepleri karşılanmalıdır.
2. Her müşteriye bir kez uğranılmalıdır.
3. Tüm rotalar depodan başlamalı ve tekrar depoda sonlanmalıdır.
4. Bir rota boyunca müşterilere dağıtılan toplam ürün miktarı araç kapasitesini geçmemelidir.

2.2.1. ARP çeşitleri

Gerçek hayattaki dağıtım problemleri, Klasik ARP (KARP)'nin temel varsayımlarına göre daha karmaşık olduğundan dolayı KARP'ye yeni kriterlerin eklenmesiyle birçok ARP çeşidi üretilmiştir. Gerçek hayattaki kriterler araçların, müşterilerin, sürücülerin ve dağıtım stratejisinin durumuna göre çeşitlilik göstermektedir.

Sınıflandırmada kullanılan kriterlerin en önemlisi kısıtlardır ve problem çoğu zaman ARP’de dikkate alınan kısıtın ismi ile beraber anılmaktadır. Kısıtlarına göre ARP’nin sınıflandırması için literatürde farklı yaklaşımlar mevcuttur, çünkü değişen rekabet şartlarıyla birlikte rotalama problemlerine giderek daha fazla kısıt eklenmektedir. Probleme kısıt eklendikçe, tanımlanması ve çözümü zorlaşmaktadır. Yeni kısıtların eklenmesiyle karmaşıklaşan ve modellenip çözülmesi zor olan ARP, pratikteki lojistik sistemlerinde bazı önemli kısıtlar seçilip diğerleri göz ardı edilerek problemler tanımlanmaya çalışılır (Göksal, 2010). Klasik ARP’ye eklenen kısıtlara göre elde edilen ARP çeşitleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. ARP temel sınıfları (Toth ve Vigo, 2002: 5-23)

Temel kısıtların eklenmesiyle elde edilen ARP çeşitlerinden Mesafe kısıtlı ARP, Zaman pencereci ARP, Geri toplamalı ARP ve Topla-Dağıt ARP’nin tanımları aşağıdaki gibidir;

Mesafe kısıtlı ARP

Oluşturulacak rotanın uzunluğu veya süresiyle ilgili bir kısıtın bulunduğu durumlardaki ARP, mesafe kısıtlı ARP olarak adlandırılır. Bu kısıt genel olarak en uzun rota uzunluğunun enküçüklenmesi veya rota uzunlukları arasındaki farkın enküçüklenmesi şeklinde ele alınmaktadır.

Zaman pencereleli ARP

Zaman pencereleli ARP’de her araç müşterilere belirli zaman aralıklarında $[a_i, b_i]$ servise başlamak şartıyla hizmet verebilmektedir. Zaman penceresi $[a_i, b_i]$ olarak adlandırılan bu zamanlardan önce gelen araçlar beklemek zorunda, zaman penceresinden sonra gelen araçlar ise kabul edilmemektedir.

Geri toplamalı ARP

Geri toplamalı ARP’ de müşteriler dağıtım yapılacak müşteriler ve toplama yapılacak müşteriler olacak şekilde iki alt kümeden oluşmaktadır. Bir müşterinin ya dağıtım talebi ya da toplama talebi mevcuttur. Dağıtım yapılacak ve toplama yapılacak müşteriler aynı rotada ise öncelikle tüm dağıtımlar yapılır daha sonra toplama işlemine geçilir.

Topla-Dağıt ARP

Topla-Dağıt ARP’ de talep edilen ürünlerin depodan müşterilere dağıtılması ile müşteriler tarafından depoya gönderilecek ürünlerin toplanması olmak üzere iki farklı işlem söz konusudur ve müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için aynı araç hem dağıtım hem toplama yapmak durumundadır (Göksal, 2010). Herbir müşteri için depodan müşteriye ulaştırılması gereken miktar (d_i) ve müşteriden depoya ulaştırılması gereken miktar (p_i) olmak üzere iki farklı talep mevcuttur.

2.2.2. ARP için çözüm yaklaşımları

Araç rotalama problemlerinin tarihsel gelişimi Çizelge 2.3’de verilmiştir. ARP 1950’lerde tamsayılı programlama ile formüle edilmiş ve 10-20 müşterili küçük problemler çözülmüştür. 1960’larda rota kurma ve rota geliştirme sezgiselleri kullanılırken 1970’lerde iki aşamalı sezgisel yöntemler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. 1980’lerde ise matematiksel programlama temelli sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. 1990’larda metasezgisel algoritmalar kullanılmaya başlanmış ve bazı problemlerde 100 müşteriye kadar eniyi çözümler bulunmuştur.

Çizelge 2.3. Araç rotlamının kısa bir tarihçesi (Şeker, 2007)

1950'ler	ARP tamsayılı programlama olarak formüle edilmiş ve 10-20 müşterili küçük problemler çözülmüştür.
1960'lar	Rota kurma sezgiselleri sunulmuş ve 30-100 müşterili problemler çözülmüştür.
1970'ler	İki fazlı sezgiseller, interaktif (insan-makine) sezgiseller geliştirilmiş, yaklaşık 50 müşterili problemler eniyileme metotları ile çözülebilir hale gelmiştir.
1980'ler	Matematiksel programlama esaslı prosedürler literatüre sunulmuştur. Etkileşimli (interaktif: insan-makine) sezgiseller geliştirilmiştir. Eniyileme yöntemleri kullanılarak yaklaşık 50 müşteriye sahip bazı problemler çözülmüştür.
1990'lar	ARP'ye metasezgiseller uygulanmıştır. 50–100 müşteriye sahip bazı problemler için eniyi çözümler bulunmuştur.

ARP için çözüm yaklaşımları kesin yöntemler, sezgisel yöntemler ve metasezgisel yöntemler olmak üzere üç gruba ayrılabilir.

Kesin Yöntemler

Kesin yöntemler, problemin eniyi çözümünü bulan yöntemlerdir. Ancak kesin yöntemler, problem boyutu büyüdükçe ya da probleme başka kısıtlar eklendikçe çözüm süresinin artmasıyla birlikte makul sürelerde iyi çözümler bulamamaktadır. Tamsayılı model olarak formüle edilen ARP'nin çözümü için dal-sınır (branch and bound), kesme düzlemi (cutting plane) ve dal-kesme (branch and cut) yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca dinamik programlama, lagrange gevşetme (lagrangean relaxation), ağaç arama ve sütun yaratma (column generation) da kesin çözüm yöntemleri arasında yer almaktadır (Göksal, 2010). Laporte, Nobert ve Taillefer (1988), Toth ve Vigo (2003), Laporte (2007) ARP'de kullanılan kesin algoritmalar hakkında çalışmalar yapmıştır.

Sezgisel Yöntemler

ARP için geliştirilen sezgisel algoritmalar genel olarak 3 kısma ayrılmıştır;

Tur kurucu sezgiseller

Rotalar depo düğümüyle başlar ve her adımda belirlenen kritere göre seçilen müşteri rotaya eklenir. Rotaya her müşteri ekleme işleminden sonra araç kapasitesi kısıtı kontrol edilir. Bu işlemler tüm müşteriler atanana kadar devam eder. Tur kurucu metotlar arasında en çok tercih edileni Clarke ve Wright'ın (1964), Dantzig ve Ramser (1959)'in çalışmasından esinlenerek geliştirdikleri tasarruf algoritmasıdır. Tasarruf algoritmasının hem paralel hem de sıralı olmak üzere iki versiyonu vardır. Bu algoritmadan yola çıkarak sayısız algoritma geliştirilmiştir (Eryavuz ve Gencer, 2001).

Tur iyileştirici sezgiseller

Tur kurucu sezgisel algoritmalar aramaya uygun olmayan bir çözümle başlarken, tur iyileştirme sezgiselleri aramaya uygun bir çözümle başlar. Her iterasyonda mevcut çözüm üzerinde değişiklik yapılarak daha iyi çözümlerin elde edilmesi hedeflenir.

İki aşamalı metotlar

İki aşamalı metotlar, müşterilerin kapasite kısıtlarını aşmayacak şekilde rotalara ayrılması ve grup içinde rotalamanın yapılmasına dayanır. Aşamaların gerçekleşme sırasına göre “önce rotala sonra grupla” veya “önce grupla sonra rotala” gibi iki çeşidi vardır.

Metasezgisel Yöntemler

Metasezgiseller, arama uzayının yüksek kaliteli çözümlerini kapsayan bölgelerinde aramayı gerçekleştirmek için probleme özgü sezgisellere rehberlik etmek amacıyla tasarlanan genel amaçlı sezgisel yöntemlerdir (Dorigo, Birattari, Blumn, Gambardella, Mondada, Stützle, 2004). Sezgisel algoritmaların en büyük dezavantajı yerel eniyi noktalara takılmasıdır. Meta sezgisel algoritmalar arama sırasında çeşitlendirme yöntemleri uygulayarak yerel eniyi çözümlerden kurtulmayı hedeflemektedir. ARP problemlerinde tavlama benzetimi, tabu arama, genetik algoritmaları son yıllarda sıklıkla kullanılan metasezgisel algoritmalarlardır. Cordeau, Gendreau, Laporte, Potvin ve Semet (2002) ARP'deki sezgisel ve metasezgisel algoritmalarından bahsetmişler ve metasezgisel algoritmaların performanslarının

karşılaştırıldığı bir çalışma yapmıştır. Cordeau, Gendreau, Laporte, ve Sormany (2005: 279-297) ARP’de kullanılan metasezgisel algoritmalar ile ilgili bir derleme çalışması yapmıştır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması problemi için literatür araştırması iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada bozulabilir ürünler için literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. İkinci aşamada ise çok amaçlı ZPARP çalışmaları ve çok amaçlı ARP'de HP yaklaşımı kullanan ARP çalışmalarına yer verilmiştir.

3.1. Bozulabilir Ürünler İçin Literatür Araştırması

Bozulabilir ürünler için dağıtım planlamasının öneminden dolayı bu alanda literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Tarantilis ve Kiranoudis (2001), Yunanistan'da günlük süt dağıtımını yapan bir işletmede günlük süt dağıtım problemini heterojen ARP olarak modellemiş ve çözüm için eşik değer kabul algoritması temelli bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. En az mesafe kat edilerek yapılan dağıtım planı tazelik için de eniyi dağıtım planı olacağından dolayı model toplam mesafenin enküçüklemesi şeklinde oluşturulmuştur. Tarantilis ve Kiranoudis (2002) bir diğer çalışmasında ise taze et dağıtımını dikkate almışlardır. Dağıtım problemini araç sayısının sınırlı olmadığı çok depolu ARP olarak tanımlamışlar ve problemin çözümü için liste tabanlı eşik değer kabul algoritmasına dayanan bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Taze et dağıtımını yapan bir şirkette yaptıkları gerçek hayat uygulama çalışmasıyla, geliştirdikleri algoritmanın gerçek hayat problemlerine uygulandığında hızlı ve iyi sonuçlar verdiğini kanıtlamışlardır. Govindan, Jafarian, Khodaverdi ve Devika (2014), bozulabilir ürünlerin tedarik zincirlerinde sürdürülebilir bir şekilde dağıtımın yapılması için bir çalışma yapmışlardır. Problemi çevresel ve ekonomik amaçların bulunduğu çok amaçlı zaman pencereli ve iki aşamalı olarak ele almışlardır. Birinci aşamada açılacak tesislerin sayısı ve konumları belirlenmekte, ikinci aşamada ise açılan tesislerden müşterilere ürünlerin dağıtım problemi çözülmektedir. Yapılan çalışmada, toplam maliyetin ve zincirdeki toplam karbon salınımının enküçüklenmesi olmak üzere iki amaç dikkate alınmıştır. Modelin çözümü için çok amaçlı parçacık sürü algoritması ve değişken komşu arama algoritmalarının karma yapısı olan bir metotla çözmüşlerdir. Geliştirdikleri çok amaçlı karma sezgisel algoritma, genetik algoritma tabanlı meta sezgisel algoritmalar ile karşılaştırılmış ve geliştirilen karma algoritmanın daha iyi performans verdiği görülmüştür. Bu üç çalışmada da bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması yapılmasına rağmen, ürünlerin tazeliğinin dağıtım esnasında azalması dikkate alınmamıştır.

Hsu, Hung ve Li (2007), bozulabilir ürünlerin dağıtım problemini stokastik ARP olarak ele almıştır. Bozulabilir ürünlerle ilgili olarak amaç fonksiyonuna, bozulan ürünlerin taşınmasından dolayı kaynaklanan stok maliyeti ve ürünleri belirli bir sıcaklıkta tutmak için harcanan enerji maliyetlerini ekleyerek bozulabilirliği modellemiştir. Osvald ve Stirn (2008), taze sebze dağıtımında ürünlerin taşınması problemi için ürünlerin tazeliğinin ele alındığı sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Problemden tazelik faktörü, araçlarda taşınan ürün ağırlığı ile ürünlerin araçta taşıma süresinin çarpımı olarak tanımlanmış ve amaç fonksiyonu bu değerin enküçüklenmesi olarak dikkate alınmıştır. Araçların müşteriler arasında aldığı süreyi stokastik ve deterministik olarak ayrı ayrı olarak çözmüşler ve sonuçta süreleri stokastik olarak kabul etmenin ürünlerin tazeliği açısından daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Amorim, Günther ve Almada-Lobo (2012), bozulabilir ürünler için çok amaçlı üretim ve dağıtım planlama problemini ele almışlardır. Müşteriye ulaşana kadar raf ömrünün azaldığı ve sabit olduğu ürünler için matematiksel model önerilmiş ve üretim ve dağıtım planlamalarının birlikte ele alındığı modellerin daha iyi performansa sahip olduğu gösterilmiştir. Amorim ve diğerleri (2013), bozulabilir ürünler de üretim ve dağıtım planlama konusunda detaylı bir literatür araştırması yapmışlardır. Literatürdeki çalışmalar üretim planlama, dağıtım planlama ve üretim-dağıtım planlama olarak 3 sınıf altında incelenmiştir. Amorim ve Almada-Lobo (2014), ürünlerin tazeliği ve taşıma maliyetleri arasında çelişen ilişkiyi göstermek için değişik dağıtım stratejileri için bir çalışma yapmışlar ve çok amaçlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Amaçları, toplam taşıma maliyetinin enküçüklenmesi ve tazeliğin enbüyüklenmesidir. Çalışmada tazelik faktörü ürünlerin kalan raf ömürlerinin enbüyüklenmesi şeklinde tanımlanmıştır. Küçük boyutlu problemlerin çözümü için epsilon kısıt metodu, büyük boyutlu problemler için çok amaçlı genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması hakkında yapılan çalışmalarda kullanılan amaçlar ve çözüm yaklaşımları Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması hakkında yapılan çalışmalar

Yazar	Yıl	Amaçlar	Çözüm Yaklaşımı
Tarantilis ve Kiranoudis	2001	<ul style="list-style-type: none"> Toplam rota uzunluğunun enküçüklenmesi 	<ul style="list-style-type: none"> Adaptif Eşik Değer Kabul Algoritması

Çizelge 3.1.(devam) Bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması hakkında yapılan çalışmalar

Tarantilis ve Kiranoudis	2002	<ul style="list-style-type: none"> • Toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Eşik Değer Kabul Algoritması
Hsu ve diğerleri	2007	<ul style="list-style-type: none"> • Taşıma maliyetlerinin enküçüklemesi • Stok tutma maliyetlerin enküçüklemesi • Taşıma sırasında ürünleri belirli bir sıcaklıkta tutmak için gereken enerjinin enküçüklemesi • Zaman penceresinde sonra hizmete başlamadan kaynaklanan cezaların enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Zaman odaklı en yakın komşu sezgisel algoritması
Osvald ve Stirn	2008	<ul style="list-style-type: none"> • Toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi • Ürünün Teslimine Kadar Geçen Sürenin enküçüklemesi • (Taşınan Ürün Ağırlığı) x (Ürünün Taşıma Süresi) çarpımının enküçüklemesi • Teslim Zamanında Teslim Edilemeyen Ürünlerin Ceza Maliyetlerinin enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Tabu Arama Algoritması
Amorim ve diğerleri	2012	<ul style="list-style-type: none"> • Üretim, Taşıma ve Hazırlık Maliyetlerinin enküçüklemesi • Ürünlerin Kalan Raf Ömürlerinin enbüyüklenmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Raf ömrü sabit ürünler için Doğrusal Programlama • Raf ömrü azalan ürünler için Genetik Algoritma
Amorim ve diğerleri	2013	<ul style="list-style-type: none"> • Literatür Araştırması 	
Amorim ve Almada-Lobo	2014	<ul style="list-style-type: none"> • Taşıma Maliyetlerinin enküçüklemesi • Ürünlerin Tazeliğinin enbüyüklenmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Küçük Boyutlu problemler için ϵ kısıt Metodu ve Doğrusal Programlama • Büyük Boyutlu Problemler için Çok Amaçlı Karma Genetik Algoritma
Govindan ve diğerleri	2014	<ul style="list-style-type: none"> • Taşıma Maliyetlerinin enküçüklemesi • CO2 Emisyonunun enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Çok Amaçlı Parçaçık Sürü Algoritması ve Çok Amaçlı Değişken Komşu Arama Algoritmalarına dayalı karma algoritma

3.2. Çok Amaçlı Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi İçin Literatür Araştırması

Firmalar arası artan rekabet ortamı, ARP'nin modellenmesinde müşteri memnuniyetini sağlamaya yönelik ek amaçların da ele alınmasını gerektirmektedir. Bu sebeple son yıllarda çok amaçlı ARP'nin önemi artmış ve bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Jozefowicz ve diğerleri (2008), çok amaçlı ARP'de kullanılan amaçlar ve çözüm yöntemleri ile ilgili bir literatür taraması yapmışlardır. Bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması problemi genellikle ZPARP olarak ele alındığından dolayı, bu bölümde çok amaçlı ZPARP çalışmaları incelenmiştir.

Hong ve Park (1999), iki amaçlı ZPARP için doğrusal HP modeli ve bu modelin çözümü için önce grupta sonra rotala sezgisel geliştirmişlerdir. Amaçlar toplam tur uzunluğunun ve müşterilerin bekleme zamanlarının enküçüklenmesidir. Paralel ekleme sezgisel temelli geliştirilen sezgisel algoritmanın performansı Potvin ve Rousseau (1995)'nin geliştirdiği algoritma ile karşılaştırmalı incelenmiştir. Tan, Luo, Chen ve Zhang (2005), ÇA-ZPARP'nin çözümü için arama sırasında rota içi yerel arama, lambda yerel arama ve enyakın komşu yerel arama algoritmalarının kullanıldığı karma bir evrimsel algoritma geliştirmişlerdir. Amaçlar toplam kat edilen mesafenin ve toplam araç sayısının enküçüklenmesidir. Ombuki, Ross, Hanshar (2006), amaçların toplam araç sayısı ve toplam kat edilen mesafenin enküçüklenmesi olduğu ÇA-ZPARP için genetik algoritmaya dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Çözümlerin kıyaslanması için pareto derecelendirme tekniği uygulamışlardır. Calvete, Galé, Oliveros, ve Sánchez-Valverde (2007), operasyonel maliyetlerin ve zaman penceresine uymamaktan doğan ceza maliyetlerinin enküçüklenmesi ve araç kapasitelerinin ve işçi kapasitelerinin kullanımının enbüyüklenmesi olan esnek ÇA-ZPARP için HP'ye dayalı bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşımda ilk olarak tüm olası uygun rotalar bulunmakta sonra bu rotalar arasından eniyisi seçilmektedir. Ghoseiri ve Ghannadpour (2010), araç sayısının ve toplam kat edilen mesafenin enküçüklenmesi olduğu iki amaçlı ARP için HP modeli kurmuşlar ve problemin çözümü için genetik algoritma ve yerel arama algoritmasının birlikte kullanıldığı karma bir algoritma geliştirmişleridir. Garcia-Najera ve Bullinaria (2010) iki amaçlı ZPARP için evrimsel bir algoritma geliştirmişlerdir. Amaçlar toplam araç sayısının ve toplam kat edilen mesafenin enküçüklenmesidir. Geliştirdikleri evrimsel algortmada yeni yığın belirlenmesinde uygunluk değerleri ve benzerlik ölçütü kullanılmışlardır. Kullanılan benzerlik ölçütü ile çözümler arasındaki benzerlikler bulunup çeşitlendirme sağlanması amaçlanmıştır. Yapılan

deneysel çalışmalar sonucu benzerlik ölçütünün kullanıldığı evrimsel algoritma diğer evrimsel algoritmalara göre daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Castro-Gutierrez, Landa-Silva, Moreno Pérez ve diğerleri (2011), literatürde ÇA-ZPARP’de en sık kullanılan 5 amacın birbiriyle çelişip çelişmediğini Solomon (1987) test problemleri üzerinde göstermiştir. Belirledikleri amaçlar; araç sayısının, toplam kat edilen mesafenin, en uzun rota uzunluğunun, müşterilerin toplam bekleme zamanının ve toplam zaman penceresi ihlallerinin enküçüklemesidir. Miori (2011), stokastik taleplerin olduğu kamyon yükleme ve rotalama problemi (truckload routing) için HP modeli oluşturmuşlar ve bu problem için tabu arama algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Baños, Ortega, Gil, Márquez ve De Toro (2013a) kapasite kısıtlı zaman pencereli araç rotalama problemi için pareto-eniyi çözümler elde etmek amacıyla evrimsel algoritma ve tavlama benzetimine dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Amaçları toplam katedilen mesafenin ve rota uzunlukları arasındaki farkın enküçüklemesidir. Baños, Ortega, Gil, Fernández ve De Toro (2013b) ZPARP için paralel ve ardışık işleyen çoklu sıcaklıklı çok amaçlı tavlama benzetimi algoritmaları geliştirmişler ve iki algoritmayı kıyaslamışlardır. Amaçları bir önceki çalışmalarındaki gibi toplam katedilen mesafenin ve rota uzunlukları arasındaki farkın enküçüklemesidir. Solomon (1987) test problemleri üzerinde yapılan deneysel çalışma sonucunda paralel tavlama benzetimi algoritmasının çözüm süresi ve üretilen pareto çözümlerin kalitesine göre ardışık tavlama benzetimi algoritmasına göre daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Demir, Bektaş ve Laporte (2014), çok amaçlı atık rotalama problemi için adaptif yerel arama algoritması geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, CO₂ salınımının ve yakıt tüketiminin enküçüklemesi olmak üzere iki amaç dikkate alınmıştır. İyi çözümü belirlemek için ağırlıklandırma, önce normalize edip sonra ağırlıklandırma, epsilon kısıt metodu ve karma bir yaklaşım geliştirilerek bu yaklaşımların performansları karşılaştırılmıştır. Zhou ve Yang (2015), ÇA-ZPARP’de Castro-Gutierrez ve diğerleri (2011) tarafından belirlenen 5 amaçtan bahsetmişler ve herbir amacı eniyilemek için yerel arama temelli bir algoritma geliştirmişlerdir. Abdelaziz, Masri ve Alaya (2015), stokastik taleplerin olduğu havalimanı otobüs rotalama problemi (airport bus routing) için bir HP modeli önermiştir. Önerilen HP modelini Tunus’taki bir havalimanında uygulamışlardır. HP modelinde amaçlar, toplam rotalama maliyetinin ve müşterilerin bekleme zamanlarının enküçüklemesi olarak alınmıştır. Qi, Hou ve Li (2015) amaçların toplam kat edilen mesafenin ve toplam araç sayısının enküçüklemesi olduğu ZPARP için evrimsel bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri evrimsel algoritma, problemi küçük alt problemlere bölerek bu alt problemleri eniyilemeye dayanmaktadır. Algoritmanın

performansını artırmak için ise ikili yer değiştirme, 2opt ve lambda yer değiştirme hareket mekanizmalarına dayalı yerel arama algoritmalarını kullanmışlardır. İncelenen çok amaçlı ZPARP çalışmaları ve bu çalışmalarda kullanılan amaçlar ve çözüm yaklaşımları Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çok amaçlı ZPARP ile ilgili çalışmalar

Yazar	Yıl	Amaçlar	Çözüm yaklaşımı
Tan ve diğerleri	2005	<ul style="list-style-type: none"> • Toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi • Toplam araç sayısının enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Karma evrimsel algoritma
Ombuki ve diğerleri	2006	<ul style="list-style-type: none"> • Toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi • Toplam araç sayısının enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Genetik algoritma
Garcia-Najera ve Bullinaria	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Toplam rota uzunluğu enküçüklemesi • Toplam araç sayısının enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Evrimsel algoritma
Castro-Gutierrez ve diğerleri	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Araç sayısının enküçüklemesi, • Toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi, • En uzun rota uzunluğunun enküçüklemesi, • Müşterilerin toplam bekleme zamanının enküçüklemesi • Toplam zaman penceresi ihlallerinin enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • NSGA-II
Baños ve diğerleri	2013	<ul style="list-style-type: none"> • Toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi • Rota uzunlukları arasındaki farkın enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Evrimsel algoritma ve tavlama benzetimine dayalı karma algoritma
Baños ve diğerleri	2013	<ul style="list-style-type: none"> • Toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi • Rota uzunlukları arasındaki farkın enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Paralel ve ardışık işleyen çoklu sıcaklıklı çok amaçlı tavlama benzetimi algoritması
Demir ve diğerleri	2014	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ salınımının enküçüklemesi • Yakıt tüketiminin enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptif yerel arama

Çizelge 3.2.(devam) Çok amaçlı ZPARP ile ilgili çalışmalar

Zhou ve Yang	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Araç sayısının enküçüklemesi • Toplam kat edilen mesafenin enküçüklemesi • En uzun rota uzunluğunun enküçüklemesi, • Müşterilerin toplam bekleme zamanının enküçüklemesi • Toplam zaman penceresi ihlallerinin enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Yerel arama
Qi ve diğerleri	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi • Toplam araç sayısının enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Evrimsel algoritma

ÇA-ZPARP’de HP yaklaşımı kullanan çalışmalar ise Çizelge 3.3’ de verilmiştir.

Çizelge 3.3. HP yaklaşımı kullanan ARP çalışmaları

Yazar	Yıl	Amaçlar	Çözüm yaklaşımı
Hong ve Park	1999	<ul style="list-style-type: none"> • Toplam tur uzunluğunun enküçüklemesi • Müşterilerin bekleme zamanlarının enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Önce grupla sonra rotala sezgiseli
Calvete ve diğerleri	2007	<ul style="list-style-type: none"> • Operasyonel maliyetlerin ve zaman penceresine uymamaktan doğan ceza maliyetlerinin enküçüklemesi • Araç kapasitelerinin ve işçi kapasitelerinin kullanımının enbüyüklenmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Tüm olası uygun rotalar bulunarak bunların arasından en iyisinin seçilmesine dayalı sezgisel bir algoritma
Ghoseiri ve Ghannadpour	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Araç sayısının enküçüklemesi • Toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Genetik algoritma ve yerel arama algoritmasına dayalı karma bir algoritma
Miori	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Yasal sürücü saatlerine uyararak sürücü saatlerini enbüyüklenmesi • Araç sayısının enküçüklemesi • Taşıma maliyetlerinin enbüyüklenmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Tabu arama algoritmasına dayalı bir algoritma

Çizelge 3.3. (devam) HP yaklaşımı kullanan ARP çalışmaları

Abdelaziz ve diğerleri	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Müşterilerin bekleme zamanlarının enküçüklemesi • Toplam taşıma maliyetlerinin enküçüklemesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Matematiksel Model
------------------------	------	---	--

Bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle Tabu arama, Genetik algoritma ve parçacı sürü algoritması gibi sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. ÇA-ZPARP' nin çözümü için ise karma evrimsel algoritmalar daha sık kullanılmıştır. Literatürde ÇA-ZPARP çalışmalarına en çok kullanılan amaç fonksiyonları ise araç sayısının enküçüklemesi, toplam rota uzunluğunun enküçüklemesi, en uzun rota uzunluğunun enküçüklemesi ve müşterilerin toplam bekleme zamanının enküçüklemesi şeklindedir. Literatürde HP yaklaşımı kullanan çalışmalar incelendiğinde ise araç sayısının enküçüklenmesi ve hizmet kalitesinin enbüyüklenmesi amaçlarının yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu tez kapsamında ise amaçların toplam rota uzunluğunun enküçüklenmesi ve tazeliğin enbüyüklenmesi olduğu ÇA-ZPARP'nin çözümü için tavlama benzetimine dayalı iki farklı çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir.

4. BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN ÇA-ZPARP

Bu tez kapsamında bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması ÇA-ZPARP olarak ele alınmıştır. Amaçlar, toplam katedilen mesafenin enküçüklemesi ve tazeliğin enbüyüklenmesidir. Bozulabilir ürünler için dağıtım planlaması problemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$K = \{1,2,\dots,m\}$ seti, aynı kapasite (C) ve özelliklere sahip araçlar setini ifade etmektedir. Tüm araçlar başlangıç zamanında depoda hazırdır ve dağıtım sonunda tekrar depo düğümüne dönmek zorundadır. Müşteriler $N = \{1,2,\dots,n\}$ kümesinde tanımlanmıştır. A kümesi, N kümesi üzerinde tanımlanmış yönlü bir ayrıt kümesidir. $V = N \cup \{0, n+1\}$ olacak şekilde $G=(V,A)$ tam bağlı ve yönlü bir serimdir. V kümesindeki “0” ve “ $n+1$ ” düğümleri depo düğümüdür. (i, j) düğümleri arasındaki uzaklık (c_{ij}) ve gidiş süresi (t_{ij}) düğümler arasındaki öklid uzaklığına eşittir. Her müşterinin belirli zamanlarda (a_i, b_i) hizmeti almaya başlamış olması şartıyla ürün talepleri (d_i) mevcuttur.

Bu tanımlamalar doğrultusunda bozulabilir ürünler için ÇA-ZPARP, $G=(V,A)$ serimi üzerinde toplam katedilen mesafeyi enküçükleyen ve tazeliği enbüyükleyen enuygun araç rotalarının aşağıdaki kısıtlar altında bulunmasıdır;

1. Her rota depoda başlamalı ve depoda bitmelidir.
2. Her müşteriye belirtilen zaman aralığında hizmete başlanılmalıdır.
3. Her müşteri yalnız bir araç tarafından ziyaret edilmelidir.
4. Araç kapasitesi aşılmamalıdır.

Bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması için Amorim ve Almada-Lobo (2014) tarafından geliştirilen matematiksel modelde kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda verilmektedir;

İndisler;

k	Araçlar
i, j	Düğümmler

(i,j) “ i ” ve “ j ” düğümleri arasındaki yol

Parametreler;

C	Araç kapasitesi
s_i	i müşterisinin servis zamanı
$c_{ij}(t_{ij})$	i müşterisinden j müşterisine taşıma maliyeti
a_i	i müşterisine servise yapılabilecek en erken zaman
b_i	i müşterisine servis yapılabilecek en geç zaman
d_i	i müşterisinin talebi
sl_i	i müşterisinin talep ettiği ürünün raf ömrü

Karar değişkenleri;

x_{ij}^k	i müşterisinden j müşterisine k aracı gidiyorsa 1, gitmiyorsa 0
w_i^k	k aracının i müşterisinde servise başladığı zaman
fr_i	i müşterisine teslim edilen ürünlerin tazeliği

δ_i^+ ; i müşterisinden sonra gelen müşteriler kümesi, δ_i^- ; i müşterisinden önce gelen müşteriler kümesi olmak üzere problem için Amorim ve Almada-Lobo (2014) tarafından önerilen matematiksel model aşağıda verilmektedir.

Amaç fonksiyonu;

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}^k \quad (3.1)$$

$$\max \frac{1}{N} \sum_{i \in N} fr_i \quad (3.2)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in N \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (3.4)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ij}^k - \sum_{i \in \delta^+(j)} x_{ji}^k = 0 \quad \forall k \in K, j \in N \quad (3.5)$$

$$\sum_{j \in \delta^-(n+1)} x_{i,n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (3.6)$$

$$w_j^k \geq w_i^k + s_i + t_{ij} - M_{ij}(1 - x_{ij}^k) \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (3.7)$$

$$a_i \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k \leq w_i^k \leq b_i \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k \quad \forall k \in K, i \in V \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in \delta^+(i)} d_i x_{ij}^k \leq C \quad \forall k \in K \quad (3.9)$$

$$fr_i \leq \frac{w_0^k + sl_i - w_i^k + P(1 - \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k)}{sl_i} \quad \forall k \in K, i \in N \quad (3.10)$$

$$w_0^k + sl_i - w_i^k \geq 0 \quad \forall k \in K, i \in N \quad (3.11)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}; \quad fr_i, w_i^k \geq 0 \quad (3.12)$$

Modelde Eş. 3.1, toplam katedilen mesafenin enküçüklemesi ile ilgili amaç fonksiyonudur. Eş. 3.2, ise tazeliğin enbüyüklenmesini ifade eden ikinci amaç fonksiyonudur. Eş. 3.2'deki “ fr_i ”, i müşterisine teslim edilen ürünün tazeliğini belirtmekte olup “0” enküçük tazelik seviyesini “1” enbüyük tazelik seviyesini gösterecek şekilde 0-1 arasında değer almaktadır. Ürünlerin depodan çıkış anında enbüyük tazelik seviyesinde olduğu varsayılmaktadır. Tazelik (fr_i), ürünün müşteriye ulaşma zamanı (w_i^k) ile depodan çıkış zamanı (w_0^k) arasındaki farkın ürünün raf ömrüne (sl_i) bölünmesiyle elde edilir. Eş. 3.3'deki kısıt her düğüme yalnız bir kere giriş olabileceğini Eş. 3.4'deki kısıt ise her aracın depo düğümünden başlamasını sağlamaktadır. Eş. 3.5'deki kısıt tüm düğümlerin ziyaret edilmesini gerektirmektedir. Eş. 3.6'daki kısıt her aracın tekrar depoya dönmesini sağlamaktadır. Zaman penceresi ile ilgili kısıtlar Eş. 3.7 ve Eş. 3.8'deki kısıtlardır. Bu kısıtlar ardışık düğümlerin servise başlama zamanlarını, belirlenen zaman pencere kısıtları altında uyumunu sağlamaktadır. Eş. 3.9'daki kısıt kapasite kısıtıdır. Eş. 3.10'daki kısıt ürünlerin kalan raf ömürlerini hesaplayarak tazeliğin alabileceği üst sınırı belirlemektedir. Kısıttaki “ P ” yeterince büyük bir sayı olup depo düğümünün zaman penceresinin bitişi ile başlangıcı arasındaki fark ($b_0 - a_0$) olarak alınmıştır. Eş. 3.11'deki kısıt ürünlerin raf ömürlerini tamamlamadan müşteriye ulaşmalarını sağlayan kısıttır. İşaret kısıtları ise Eş. 3.12' deki kısıtlardır.

Bozulabilir ürünler için tanımlanan ve NP-zor sınıfında yer alan ÇA-ZPARP' nin çözümü için bu tezde iki yaklaşım önerilmiştir;

Birinci Yaklaşım; Karar vericinin amaçlar için hedef değerler belirlediği kabul edilmiştir. Bu nedenle ÇA-ZPARP için ardışık Hedef Programlama modeli oluşturulmuş ve çözümü için tavlama benzetimine dayalı bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma TB-HP olarak adlandırılmıştır. Bu yaklaşım ile probleme bir çözüm üretilmektedir.

İkinci Yaklaşım; Karar vericinin ÇA-ZPARP için baskın olmayan çözümler (non-dominated solutions) kümesini elde etmek istediği kabul edilmiştir. Bu amaçla TB-HP algoritmasını bu kümeyi üretecek şekilde yeniden düzenlenmiştir. Çözümlerin değerlendirilmesinde çok terimli (multinomial) olasılık dağılımının kullanıldığı bu algoritma TB-ÇA olarak adlandırılmıştır. Bölüm 5 ve 6' da her iki yaklaşım detaylı olarak anlatılmakta ve algoritmaların performans analizi yapılmaktadır.

5. ÇA-ZPARP İÇİN HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

HP metodu, Charnes ve Cooper (1961) yılında önerilmiş ve birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Günümüzde ise HP, çok amaçlı karar verme problemlerinin çözümü için temel matematiksel programlama yöntemi olarak kabul edilmektedir (Baykosoğlu 1999). HP'nin, Ardışık HP ve Ağırlıklı HP olmak üzere iki farklı çeşidi vardır. Ardışık HP, önem derecelerine göre amaçların ardışık olarak eniyilenmesine dayalıdır. Ağırlıklı HP'de ise amaçların önem ağırlıkları belirlenir ve bu ağırlıklar dikkate alınarak amaçlar eşzamanlı eniyilenmeye çalışılır. Amaçların önem ağırlıklarının belirlenmesinin zorluğundan dolayı bu tez kapsamında Ardışık HP yaklaşımı kullanılmıştır.

Bu bölümde ilk olarak, bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması için geliştirilen HP modeli verilmiştir. Daha sonra ise problemin çözümü için TB'ye dayalı sezgisel algoritma (TB-HP) detaylı olarak anlatılmış ve TB-HP' nin performansı, çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından değerlendirilmiştir.

5.1. ÇA-ZPARP İçin Hedef Programlama Modeli

Bu bölümde, problemin çözümü için ardışık hedef programlamaya (HP) dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. ÇA-ZPARP için HP modelinin geliştirilmesinde Bölüm 4' te verilen matematiksel model dikkate alınmıştır.

Problemin HP modelini oluşturmak amacıyla ÇA-ZPARP'nin matematiksel modeline sapma karar değişkenleri ($\text{lex min}\{d_1^+, d_2^-\}$) ve bu karar değişkenlerine ilişkin kısıtlar eklenmiştir. Problemin oluşturulan ardışık HP modeli aşağıdaki gibidir.

Amaçlar;

$$\text{lex min}\{d_1^+, d_2^-\} \quad (5.1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k x_{ij}^k - d_1^+ = f_1 \quad (5.2)$$

$$\frac{1}{N} \sum_{i \in N} f r_i + d_2^- = f_2 \quad (5.3)$$

(3.3)-(3.12)

Modelde Eş. 5.1, HP modelinin amaç fonksiyonudur. Birinci amaç için toplam tur uzunluğunun en fazla f_1 'e eşit olması ($\sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}^k \leq f_1$), ikinci amaç için tazeliğin en az

f_2 'ye eşit olması ($\frac{1}{N} \sum_{i \in N} f r_i \geq f_2$) istendiğinden dolayı birinci amaç için pozitif sapma

değişkeni (d_1^+), ikinci amaç için ise negatif sapma değişkeni (d_2^-) kullanılmıştır. Bu ifade öncelikle toplam katedilen mesafenin hedeften pozitif sapmasının (d_1^+) en küçüklenmesini daha sonra ise ulaşılan bu amaç değerinden ödün vermeden, tazeliğin hedef değerinden negatif sapmasının (d_2^-) en küçüklenmesini tanımlamaktadır. Eş. 5.2 ve Eş. 5.3'deki kısıtlar sırasıyla toplam tur uzunluğu ve tazelik ile ilgili hedef kısıtlarını ifade etmektedir.

5.2. Önerilen Çözüm Yaklaşımı

ZPARP, NP-zor sınıfında yer alan bir problem olduğundan dolayı orta ve büyük boyutlu problemler için ardışık HP modeli ile makul zamanlarda eniyi çözüme ulaşmak mümkün değildir. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde ÇA-ZPARP'nin ardışık HP modelinin çözümü için tavlama benzetimi (TB) algoritmasına dayalı bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma TB-HP olarak adlandırılmıştır. Literatürde sürekli eniyileme problemlerinin ardışık HP modelinin çözümü için TB algoritmasının uygulandığı ilk çalışmalardan birisi Baykasoğlu (2005) tarafından yapılmıştır. TB algoritması Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi (1983) tarafından önerilmiştir ve birçok araştırmacı tarafından çeşitli kombinatoriyal eniyileme problemlerinin çözümü için uygulanmıştır. Aarts ve Lenstra (1997:121-137) ve Suman ve Kumar (2006) TB algoritmasının kullanıldığı çalışmalar için literatür araştırması yapmışlardır.

TB algoritması, kötü çözümleri olasılıklı kabul ederek yerel eniyi çözümlere takılmadan eniyi çözüme ulaşmayı amaçlayan bir üst seviye sezgisel (meta-heuristic) algoritmadır. Algoritma, bir S başlangıç çözümü ile başlar ve belirlenen hareket mekanizması ile S' komşu

çözümü üretilir ve amaç fonksiyonları arasındaki değişim, $\Delta = f(S') - f(S)$, hesaplanır. Enküçükleme problemi için $\Delta \leq 0$ ise komşu çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilir ($S \leftarrow S'$). $\Delta > 0$ ise komşu çözüm $e^{-\Delta/T}$ olasılıkla mevcut çözüm olarak kabul edilir. T fiziksel tavlama sürecindeki sıcaklığa karşılık gelen kontrol parametresidir. Bu işlemler belirlenen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam etmektedir. Arama süresince, T parametresi belirlenen bir kurala göre azaltılır. Bu işlem “soğutma stratejisi” olarak adlandırılır (Suman ve Kumar, 2006).

Bu tezde ÇA-ZPARP'nin ardışık HP modelinin çözümü için geliştirilen TB-HP'de çözüm uzayının aranması TB algoritmasının mantığına göre, çözümlerin değerlendirilmesi ardışık HP mantığına göre gerçekleşmektedir. Bu bölümde TB-HP'nin temel özellikleri detaylı olarak anlatılmaktadır.

5.2.1. Başlangıç çözümü

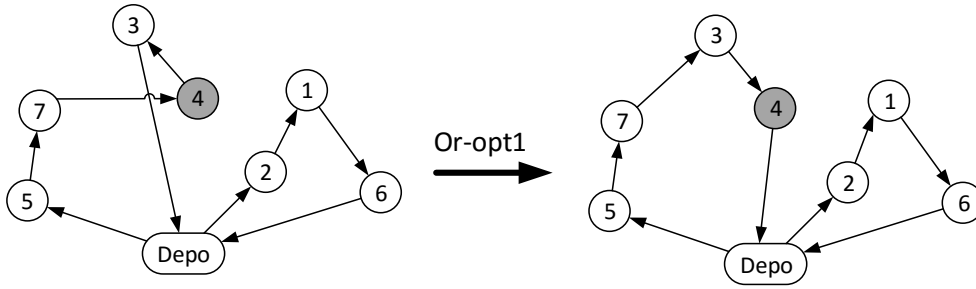
TP-HP'de başlangıç çözümünü elde etmek için Solomon (1987) tarafından geliştirilen İlerletici Ekleme Sezgiseli (IES) (Push Forward Insertion Heuristic) kullanılmıştır. Bu sezgiselde rota “0” depo düğümüyle başlar ve bu düğüme en yakın diğer düğüm bulunarak rotaya eklenir. Daha sonraki adımlarda ise rotaya eklenecek düğüm olası tüm yerlere eklenerek enküçük ekleme maliyeti olan yer seçilir ve bu işlem araç kapasite kısıtı aşıncaya kadar devam eder. Her adımda oluşturulan rotanın zaman penceresi ve araç kapasite kısıtlarına göre uygunluğu test edilir. Araç kapasite kısıtı aşıldığında yeni bir rota oluşturulur ve tüm düğümler bir rotaya atanıncaya kadar bu işlemlere devam edilir. IES, ZPARP için etkin bir çözüm oluşturma yöntemidir. Bu çalışmada depodan sonraki ilk düğüm rassal seçilerek TB-HP'nin her koşumunda çözüm uzayının farklı bölgelerinden aramaya başlaması sağlanmıştır. ZPARP için çözüm kurucu yaklaşımları inceleyen kapsamlı bir çalışma Bräysy ve Gendreau (2005) tarafından yapılmıştır.

5.2.2. Hareket mekanizması

Mevcut çözümden yeni komşu çözümlerin üretilmesi çözüm uzayının verimli bir şekilde aranması için önemli bir işlemdir. Literatürde ZPARP için çeşitli hareket mekanizmaları önerilmiştir (Bräysy ve Gendreau, 2005). Bu çalışmada bu hareket mekanizmalarından

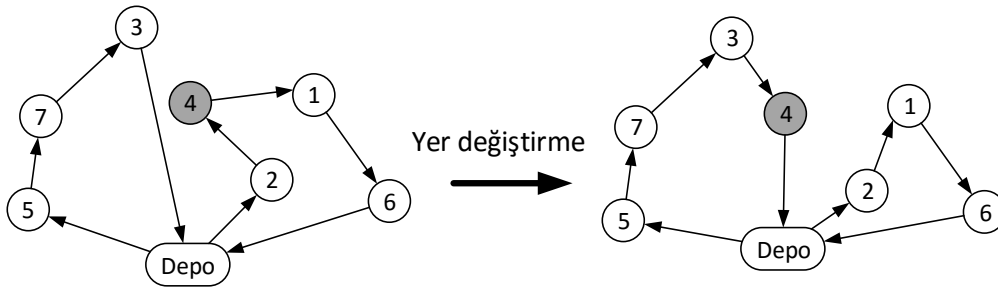
Or-opt, yer değiştirme ve 2opt* hareket mekanizmaları kullanılmıştır. Her iterasyonda bu 3 hareket mekanizmasından rassal olarak birisi seçilerek yeni komşular üretilmiş ve böylece çözüm uzayının farklı bölgelerinde arama yapılması sağlanmıştır. Kullanılan hareket mekanizmalarının özellikleri aşağıda verilmektedir;

- *Or-opt*: Or (1976) tarafından geliştirilen Or-opt, rota içi hareket mekanizmalarından birisidir. Temel mantığı seçilen l ardışık düğümünün kendi içindeki sırasını bozmadan rota içinde yerlerinin değiştirilmesine dayanır. Hareket mekanizması seçilen düğüm sayısının 1, 2 ve 3 olduğu durumlarda Or-opt1, Or-opt2 ve Or-opt3 olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada, zaman açısından avantajlı olmasından dolayı Or-opt1 hareket mekanizması tercih edilmiştir. Şekil 5.1’de Or-opt1’in uygulanmasına bir örnek verilmektedir.



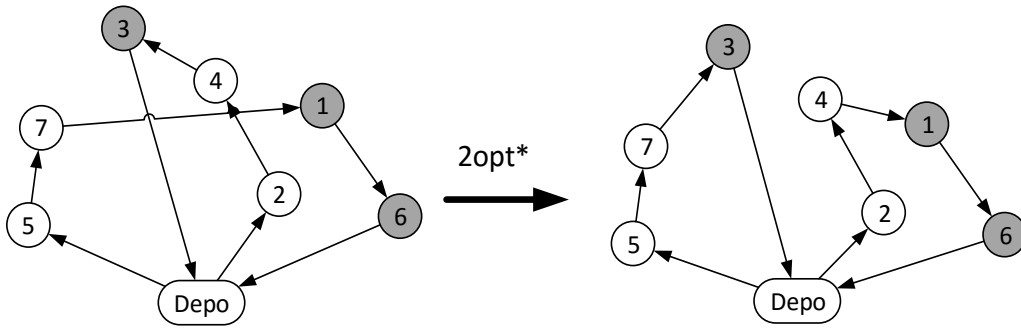
Şekil 5.1. Or-opt1 hareket mekanizması için bir rnek

- *Yer değiştirme*: Bu hareket mekanizması hem rota içi hem de rotalararası kullanılabilen bir hareket mekanizmasıdır. TB-HP’de, rotalararası yer değiştirme mekanizması kullanılmıştır. Bu mekanizmada seçilen bir düğüm diğer rotalardaki olası yerlerine eklenerek enkısa ekleme maliyeti olan rotaya yerleştirilir. Şekil 5.2’de yer değiştirme hareket mekanizmasının uygulanmasına bir örnek verilmektedir.



Şekil 5.2. Yer değiştirme hareket mekanizması için bir örnek

- $2opt^*$: Potvin ve Rousseau (1995) tarafından geliştirilen $2opt^*$, rotalararası hareket mekanizmalarından birisidir. Temel mantığı seçilen iki rotayı rassal olarak ikiye bölmek ve her iki rotanın ikinci kısımlarını yönleri ve sıralarını değiştirmeden takas etmektir. Yapılan takas sonucu mevcut çözüm iyileştirilirse, elde edilen yeni çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilir ve bu işlemler iyileşme duruncaya kadar tekrar edilir. İşleyiş mantığından da görüldüğü gibi $2opt^*$ hareket mekanizması bir yerel arama metodu gibi işlemektedir. Şekil 5.3’de $2opt^*$ hareket mekanizmasının uygulanmasına bir örnek verilmektedir.



Şekil 5.3. $2opt^*$ hareket mekanizması için bir örnek

TB-HP'nin her iterasyonunda seçilen hareket mekanizması ile S mevcut çözümünden rassal olarak " h " komşusu $(S'_1, S'_2, \dots, S'_h)$ üretilmekte ve bu çözümler arasından eniyi çözüm ardışık HP mantığına göre belirlenerek, komşu çözüm S' olarak seçilmektedir. Yapılan ön çalışmalar sonucunda " h " değeri 5 olarak alınmıştır.

Yeni komşuluklar üretilirken en çok zaman harcanan işlemlerden birisi elde edilen çözümün uygunluğunun hesaplamamasıdır. Uygunluğun hızlı bir şekilde hesaplanması için literatürde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Kindervart ve Savelseberg (1997), bu yaklaşımları detaylı olarak incelemiştir. TB-HP'de tüm hareket mekanizmaları ile üretilen komşu çözümlerin uygunluğunun hızlı bir biçimde test edilmesi için "ön hesaplama" (preprocessing) yöntemi uygulanmıştır. "Ön hesaplama" yönteminde $a_i + t_{ij} > b_j$ ifadesine bakılır ve ifade doğru ise j düğümünün i düğümünden önce gelmesi gerektiği, diğer durumlarda rotanın zaman penceresi kısıtını sağlamadığı anlaşılır. İfade yanlış ise, çözümün uygunluğunun test edilmesi

gerekmektedir. Bu yöntem, çözümün uygunluğunun test edilme sayısını azaltarak algoritmanın çözüm zamanından tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

5.2.3. Komşu çözümün değerlendirilmesi

Elde edilen S' komşu çözümünün mevcut çözüm olarak kabul edilip edilmeyeceğine ardışık HP mantığı ile karar verilir. Bu yaklaşımda öncelikle elde edilen S' çözümünün amaç fonksiyon değerlerinin hedef değerlerden sapması ($d_1^+(S')$ ve $d_2^-(S')$) hesaplanır ve mevcut çözümün sapma değerleri ($d_1^+(S)$ ve $d_2^-(S)$) ile karşılaştırılır. İki çözümün sapma değerlerine göre karşılaştırılması Şekil 5.4'deki gibi yapılmaktadır.

-
- i. $d_1^+(S') < d_1^+(S)$ ise $S \leftarrow S'$
 - ii. $d_1^+(S') = d_1^+(S)$
 - a. $d_2^-(S') \leq d_2^-(S)$ ise $S \leftarrow S'$
 - b. $d_2^-(S') > d_2^-(S)$ ise $e^{-\Delta_2/T}$ olasılıkla $S \leftarrow S'$
 - iii. $d_1^+(S') > d_1^+(S)$ ise $e^{-\Delta_1/T}$ olasılıkla $S \leftarrow S'$
-

Şekil 5.4. Çözümlerin karşılaştırılması

Eğer $d_1^+(S') < d_1^+(S)$ ise yeni çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilir. $d_1^+(S') = d_1^+(S)$ ise ikinci amacın hedef değerden sapma miktarına bakılır. Bu durumda, $d_2^-(S') \leq d_2^-(S)$ ise yeni çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilirken, $d_2^-(S') > d_2^-(S)$ ise $e^{-\Delta_2/T}$ olasılıkla yeni çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilir. Son olarak $d_1^+(S') > d_1^+(S)$ ise yine $e^{-\Delta_1/T}$ olasılıkla yeni çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilir. Olasılıklı seçimde Δ_i değeri Eş. 5.4 'deki gibi yüzde sapma şeklinde hesaplanarak sapma değeri birimden bağımsız hale getirilmiş ve aynı sıcaklık parametresinin her iki amaç fonksiyonu için de kullanılabilmesi sağlanmıştır.

$$\Delta_i = \left[\frac{f_i(S') - f_i(S)}{f_i(S)} \right] \cdot 100 \quad i = 1, 2 \quad (5.4)$$

Hedeflerden birisi olan tazeliğin enbüyüklenmesi için, araçların müşterilerarası bekleme zamanlarının enküçüklenmesi gerekir. Bunu sağlamak için, her araç mümkün olduğunca engeç zamanda müşterilerde servise başlatılmalıdır. Amorim ve Almada-Lobo (2014), bu durumu dikkate alarak bir çözüm için araçların müşterilerde servise başlama zamanlarının (w_i^k) ve tazeliğin hesaplandığı bir algoritma önermiştir. Şekil 5.5’ de algoritmanın adımları verilmektedir. TB-HP’ de de tazeliğin hesaplanmasında bu algoritma kullanılmıştır.

Algoritma: Tazelik amaç fonksiyon değerini hesaplayan algoritma

Girdi: Tazelik amaç fonksiyon değeri bulunacak rota

Çıktı: Toplam tazelik değeri veya toplam bozulma değeri (f^3)

for k=1 to Rota sayısı

$$w_{1'}^k = b_{1'}$$

$$w_0^k = w_{1'}^k - t_{01'}$$

for p=2 to k rotasındaki müşteri sayısı

$$w_{p'}^k = w_{(p-1)'}^k + s_{(p-1)'} + t_{(p-1)'p'}$$

if $w_{p'}^k \leq a_{p'}$, **then** $w_{p'}^k \leftarrow a_{p'}$,

else

if $w_{p'}^k \geq b_{p'}$, **then** $w_{p'}^k \leftarrow b_{p'}$,

for u=p-1 to 0

$$w_{u'}^k \leftarrow w_{(u+1)'}^k - s_{u'} - t_{(u+1)'u'}$$

end for

end if

end if

end for

for p=1 to k rotasındaki müşteri sayısı

$$tazelik_p \leftarrow (w_0^k + sl_{p'} - w_{p'}^k) / sl_{p'}$$

if $tazelik_p < 0$ **then**

$$f^3 \leftarrow f^3 + tazelik_p$$

$uygunOlmayanÇözüm = Doğru$

else $ToplamTazelik \leftarrow ToplamTazelik + tazelik_p$

end if

end for

end for

if $uygunOlmayanÇözüm = Doğru$ **then Return** f^3

else Return $ToplamTazelik / MüşteriSayısı$

end if

Şekil 5.5. Tazeliğin hesaplanması için algoritma

Tazeliğin hesaplandığı bu algoritmada, ilk rotadaki aracın depodan ilk müşterisine mümkün olan engeç zamanda çıkmasıyla başlamaktadır. Daha sonra ikinci müşteriye ulaşma zamanı hesaplanmakta ve ulaşma zamanı müşterinin zaman penceresi içinde ise sıradaki müşteriye geçilmektedir. Ulaşma zamanı, zaman penceresini geçmişse ulaşma zamanı zaman penceresinin kapanma zamanı olacak şekilde aynı rotadaki seçilen müşteriden önceki müşterilere ulaşma zamanları geri alınmaktadır. Ulaşma zamanı zaman penceresinin gerisinde kaldıysa araç servise başlamak için zaman penceresinin açılma zamanına kadar beklemektedir. Rotadaki tüm müşteriler tamamlandıktan sonra diğer rotalar içinde aynı işlemler tekrar edilir. Daha sonra herbir müşteri için tazelik değerleri hesaplanır. Tazelik değeri sıfırdan küçük olan müşteri varsa müşteri tamamen bozulmuş ürün teslim almış anlamına gelmektedir. Bozulmuş ürün teslim alan müşteri varsa algoritma sonuç değeri olarak; toplam bozulma değerini (f_3), diğer durumda ise toplam tazelik değerini vermektedir.

5.2.4. Soğutma stratejisi

TB-HP’de geometrik soğutma çizelgesi kullanılmıştır. Bu soğutma çizelgesinde sıcaklık $T_{i+1} = qT_i$ eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikteki T_i ve T_{i+1} sırasıyla i . ve $(i+1)$. iterasyonlardaki sıcaklığı ve q ise soğutma oranını tanımlamaktadır. Algoritmada başlangıç sıcaklığı (T_0) ve soğutma oranı (q) yapılan ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. T_0 , mevcut çözümden %30 kötü çözümü 0,80 olasılıkla kabul edecek şekilde 135, q ise 0,95 olarak alınmıştır. Her sıcaklıkta aranan komşu çözüm sayısı (K) da yapılan ön denemeler sonucunda 5 alınmıştır. Algoritma belirlenen son sıcaklık değerine ulaşan kadar devam etmektedir. Son sıcaklık ise “1” olarak alınmıştır. TB-HP’nin adımları Şekil 5.6’da verilmektedir.

5.3. Sayısal Analiz

TB-HP, Visual C++ dilinde kodlanmış ve Visual Studio 2012 programında çözülmüştür. Tüm denemeler Intel Core Dua 2.27 Ghz, 3 Gb RAM özelliklerindeki bilgisayarda yapılmıştır. TB-HP’nin performansı, küçük ve büyük boyutlu test problemleri üzerinde incelenmiştir. Küçük boyutlu problemlerde TB-HP’nin performansı, hedef programlama modelinin CPLEX ile çözülmesiyle elde edilen eniyi çözümlerle karşılaştırmalı incelenmiştir. TB-HP’de kullanılan 2opt* komşuluk yapısı bir yerel arama algoritması gibi çalışmaktadır. Dolayısıyla, 2opt* komşuluk yapısının TB-HP’nin performansındaki etkisini

Algoritma: ÇA-ZPARP modelinin çözümü için Tavlama benzetimi algoritması (TB-HP)

Girdi: Hedef değerleri ve TB algoritmasının parametreleri

Çıktı: Bulunan en iyi çözüm

Başlangıç çözümünü (S_0) üret ve hedef değerlerden sapmaları hesapla

$$S_{best} \leftarrow S_0$$

$$d_1^+(S_{best}) \leftarrow d_1^+(S_0)$$

$$d_2^-(S_{best}) \leftarrow d_2^-(S_0)$$

$$i \leftarrow 0$$

While (durdurma koşulu)

For $k = 1$ to K

Oropt1, Relocate ve 2opt* komşuluk mekanizmalarından birini rastgele seç ve S' çözümünü üret

S' çözümü için $d_1^+(S')$ ve $d_2^-(S')$ hesapla

if ($d_1^+(S') < d_1^+(S)$) ise $S \leftarrow S'$

if ($d_1^+(S') = d_1^+(S)$) ise ikinci amaç sapma değerlerini ($d_2^-(S')$, $d_2^-(S)$) karşılaştır

if ($d_2^-(S') \leq d_2^-(S)$) ise $S \leftarrow S'$

if ($d_2^-(S') > d_2^-(S)$) ise $e^{-\Delta_2/T}$ olasılıkla $S \leftarrow S'$

if ($d_1^+(S') > d_1^+(S)$) ise $e^{-\Delta_1/T}$ olasılıkla $S \leftarrow S'$

if ($d_1^+(S') < d_1^+(S_{best})$) ise

$$S_{best} \leftarrow S'$$

$$d_1^+(S_{best}) \leftarrow d_1^+(S')$$

$$d_2^-(S_{best}) \leftarrow d_2^-(S')$$

else if ($d_1^+(S') = d_1^+(S_{best})$) ise

$$S_{best} \leftarrow S'$$

$$d_1^+(S_{best}) \leftarrow d_1^+(S')$$

$$d_2^-(S_{best}) \leftarrow d_2^-(S')$$

End for

$$T_{i+1} = qT_i$$

$$i \leftarrow i + 1$$

End while

Sonuçları raporla

Şekil 5.6. TB-HP algoritmasının adımları

inceleyebilmek amacıyla bu hareket mekanizması algoritmadan çıkarılmış ve elde edilen yeni algoritma TB-HP1 olarak adlandırılmıştır. Büyük boyutlu problemlerde, TB-HP ve TB-HP1 sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

5.3.1. Test problemleri

TB-HP'nin performansı, Solomon (1987) tarafından üretilen ZPARP test problemleri üzerinde incelenmiştir. Solomon (1987) test problemleri her birisinde 100 müşteri düğümü ve 1 depo düğümü bulunan 56 problemden oluşmaktadır. Problemler C1, C2, R1, R2, RC1 ve RC2 olmak üzere 6 farklı türdedir. C türü problemler, coğrafi dağılım veya zaman penceresi açısından kümelenmiş problemlerden oluşmaktadır. R türündeki problemler ise veriler düzgün dağılımla elde edildiğinden dolayı coğrafi dağılım veya zaman penceresine göre kümelenmemiş problemlerden oluşmaktadır. RC tipindeki problemler ise hem R tipi hem de C tipinin özelliklerini taşıyan problemlerden oluşmaktadır. C1, R1 ve RC1 tipi problemler kısa çizelgeleme zamanına sahip ve araç kapasiteleri düşüktür. C2, R2 ve RC2 tipi problemler ise uzun çizelgeleme zamanına sahip ve araç kapasiteleri yüksektir. C1, R1 ve RC1 tipi problemlerde araç kapasiteleri daha düşük olduğu için tüm taleplerin sağlanması için bu tip problemlerde C2, R2 ve RC2 tipi problemlere göre daha fazla araç sayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Her tip problemde 8 veya 12 problem bulunmaktadır ve bu problemlerin sadece zaman penceresi verileri farklı olup problemlerin araç kapasiteleri ve coğrafi konumları aynıdır. Zaman penceresi verilerine göre ise problemler, zaman penceresi kısıtı olan müşteri yüzdesine göre %25, %50, %75 ve %100 zaman pencereci şeklindedir. Bu çalışmada C1 ve C2 tipi test problemleri dikkate alınmıştır. Bu test problemlerini toplam tur uzunluğunun enküçüklendiği ve ürün tazeliğinin enbüyüklediği çok amaçlı ZPARP test problemlerine dönüştürmek için dağıtılan ürüne ait raf ömrü (sl_i) belirlenmiştir. Ürünün raf ömrü, deponun zaman penceresi kısıtına göre alabileceği enbüyük değer dikkate alınarak belirlenmiştir. Amorim ve Almada-Lobo (2014), dağıtım planında 3 farklı ürün çeşidinin etkisini incelemek için 3 farklı raf ömrü üretmiştir. Bu ürün çeşitleri hızlı bozulabilir ürünler, orta derecede bozulabilir ürünler ve geç bozulabilir ürünlerdir. Örneğin deponun zaman penceresi değerleri "0-100" olsun; bu durumda ürünlerin raf ömürleri geç bozulabilir ürünler için 100, orta derecede bozulabilir ürünler için 75 ve hızlı bozulabilir ürünler için 50 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ürün çeşidinin geç bozulabilir ürün sınıfında olduğu kabul edilmiştir.

5.3.2. Küçük boyutlu problemler için sayısal analiz

TB-HP'nin küçük boyutlu test problemlerinde performansını incelemek amacıyla 100 müşterili Solomon (1987) test problemlerindeki ilk 10 müşteri dikkate alınarak küçük boyutlu test problemleri elde edilmiştir. Bu test problemleri için enbüyük araç sayısı, müşteri sayısının yarısı olarak dikkate alınmıştır. Test problemleri için hedef değerlerin bulunması için ÇA-ZPARP, her bir amacın ayrı ayrı dikkate alındığı tek amaçlı ZPARP'ne indirgenmiştir. Her amaç için eniyi değer ya da eniyi üst (alt) sınır, ZPARP'ın matematiksel modelinin CPLEX ile 7200 sn içinde çözdürülmesi ile elde edilmiş ve bu değer ilgili amaç için hedef değer olarak kabul edilmiştir. Hedef değerler belirlendikten sonra her bir test problemi için ardışık HP modeli CPLEX ile 7200 sn içinde çözdürülerek eniyi çözüm yada eniyi üst sınır elde edilmiştir. TB-HP'nin sağlamlılığını (robustness) da incelemek amacıyla, her test problemi için 10 kez koşturularak çözümler elde edilmiştir. Çizelge 5.1'de sayısal sonuçlar verilmektedir. Çizelge 5.1'deki ilk sütun test problemi ismini göstermektedir. "Hedef Değer" başlığı altındaki iki sütunda ise, test problemlerinin her bir amacı için elde edilen hedef değerleri verilmektedir. "HP Sapma" başlığındaki sütunda ardışık HP modelinin CPLEX ile çözülmesi ile elde edilen çözümün her bir amaç için hedef değerden sapma değerleri ($d_1^+(HP)$ ve $d_2^-(HP)$) ve çözüm zamanı (ÇZ) saniye olarak sunulmaktadır. "TB HP" başlığı altındaki sütunlarda ise sırasıyla bir ve ikinci amaç için hedef değerden enküçük, ortalama ve enbüyük sapma değerleri ($d_1^+(TB-HP)$ ve $d_2^-(TB-HP)$), çözüm zamanı ve bulunan eniyi çözüm sayısı verilmektedir. Çizelge 5.1'den görüldüğü gibi C202, C203 ve C205 test problemleri hariç tüm problemlerde TB-HP enaz bir kez eniyi çözüme ulaşırken, C101 ve C105 test problemleri için 10 denemenin tümünde eniyi çözüme ulaşmıştır. "HP Sapma" başlığı altındaki hedef değerlerden eniyi sapma değerleri incelendiğinde, test problemlerinin ardışık HP modelinin CPLEX ile çözümünde birinci amaç için tümünde hedefe ulaşıldığı görülmektedir (yani $d_1^+(HP) = 0$). İkinci amacın hedefinden eniyi sapma değerleri ($d_2^-(HP)$) ise 0,17-0,34 aralığında iken, ortalaması ise 0,28'dur. TB-HP'nin birinci amaç için hedef değerlerinden enküçük ve enbüyük sapma değerlerinin ($d_1^+(TB-HP)$) ortalamasının sırasıyla 0,48 ve 21,02 olduğu görülmektedir. TB-HP'nin ikinci amacın hedef değerlerinden sapma değerlerinin ($d_2^-(TB-HP)$) ortalaması ise 0,19-0,28 aralığındadır. Bu değerler "HP sapma" başlığı altında verilen eniyi $d_2^-(HP)$ ile

Çizelge 5.1. Küçük boyutlu test problemleri için sayısal sonuçlar

Problem	Hedef Değer		HP sapmalar			TB-HP						ÇS (sn)	BEÇS
	Uzaklık	Tazelik	$d_1^+(HP)$	$d_2^-(HP)$	ÇS (sn)	$d_1^+(TB-HP)$			$d_2^-(TB-HP)$				
						EK	ORT	EB	EK	ORT	EB		
C101.10	51,5	0,95	0,00	0,32	0,18	0,00	0,00	0,00	0,32	0,32	0,32	7,94	10
C102.10	50,5	0,95	0,00	0,34	576,28	0,00	0,40	1,00	0,32	0,33	0,34	12,45	1
C103.10	50,5	0,95	0,00	0,34	556,24	0,00	1,78	4,40	0,32	0,33	0,34	4,60	4
C104.10	50,5	0,95	0,00	0,34	2758,73	0,00	106	3,80	0,32	0,33	0,34	3,58	4
C105.10	51,5	0,95	0,00	0,29	0,25	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29	0,29	1,71	10
C201.10	149,4	0,98	0,00	0,23	0,16	0,00	8,60	41,40	0,09	0,21	0,26	2,35	1
C202.10	142,2	0,98	0,00	0,26	53,30	1,70	7,21	33,50	0,07	0,14	0,35	3,37	0
C203.10	142,2	0,98	0,00	0,26	50,94	1,70	4,03	25,00	0,07	0,12	0,12	5,31	0
C204.10	132,5	0,98	0,00	0,17	71,10	0,00	10,68	59,70	0,04	0,14	0,17	15,64	3
C205.10	149,4	0,98	0,00	0,20	0,71	1,40	20,08	41,40	0,07	0,12	0,22	2,87	0
Ortalama	97,02	0,97	0,00	0,28	406,79	0,48	5,38	21,02	0,19	0,23	0,28	5,98	

EK: Enküçük; ORT: Ortalama; EB: Enbüyük; ÇS: Çözüm süresi; BEÇS: Bulunan eniyi çözüm sayısı

karşılaştırıldığında, bazı problemler için $d_2^-(TB-HP) < d_2^-(HP)$ olduğu görülmektedir. Bu durum, TB-HP ile 10 deneme yapıldığında baskın olmayan çözümlerin (non-dominated solutions) elde edilmesiyle açıklanabilir. Yani, birinci amaç değerinden sapma değeri arttıkça ikinci amaç değerinden sapmaların azaldığı çözümler elde edilebilmektedir. Aynı zamanda bu sonuç iki amacın birbiriyle çeliştiğinin de iyi bir göstergesidir. Ardışık HP modelinin CPLEX ile ortalama çözüm zamanı 406,79 sn, TB-HP'nin ortalama 5,98 sn civarındadır. Bu sonuç, TB-HP'nin çok daha kısa sürelerde eniyi yada eniyeye yakın çözümlere ulaşabildiğini göstermektedir.

5.3.3. Büyük boyutlu problemler için sayısal analiz

Büyük boyutlu problemlerde TB-HP'nin performansı, TB-HP1 olarak adlandırılan algoritma ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. TB-HB'den $2opt^*$ komşuluk yapısının çıkarılması ile TB-HP1 elde edilmiştir. Amaç, yerel arama algoritması gibi çalışan bu komşuluk yapısının TB-HP'nin performansı üzerindeki etkisini incelemektir. TB-HP ve TB-HP1 algoritmalarının performansı C tipi 100 müşterili Solomon (1987) test problemleri üzerinde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Test problemleri için hedef değerleri, tur uzunluğu için ilgili problemin literatürde bilinen eniyi çözüm değeri, tazelik için ise 0,90 olarak alınmıştır. TB-HP ve TB-HP1 algoritmaları her test problemi için 10 kez koşturulmuştur. Elde edilen sayısal sonuçlar Çizelge 5.2 'de verilmektedir. Çizelge 5.2'deki ilk sütun test problemlerinin ismini göstermektedir. "Hedefler" başlığı altındaki sütunda ise, tur uzunluğu ve tazelik için belirlenen hedef değerleri bulunmaktadır. "TB-HP1" ve "TB-HP" başlığı altındaki sütunlarda ise ilgili algoritmanın sırasıyla birinci ve ikinci amacın hedef değerinden enküçük, ortalama ve enbüyük sapma değerleri ($d_1^+(TB-HP1)$, $d_2^-(TB-HP1)$, $d_1^+(TB-HP)$, $d_2^-(TB-HP)$) ve çözüm zamanları verilmektedir. Çizelge 5.2'de TB-HP1 ve TB-HP'nin birinci amaç için hedeften sapma değerleri incelendiğinde TB-HP algoritmasının TB-HP1 algoritmasına göre daha düşük sapma değerlerine ($d_1^+(TB-HP) < d_1^+(TB-HP1)$) sahip olduğu görülmektedir. TB-HP'nin birinci amaç için enküçük ve enbüyük sapma değerlerinin ortalaması sırasıyla 45,31 ve 149,53 iken bu değerler TB-HP1 için 57,52 ve 224,67dir. TB-HP'nin ikinci amaç için hedeften en küçük ve en büyük sapma değerlerinin ortalaması 0,27 ve 0,31 iken TB-HP1 için bu sapma değerleri ise 0,25 ve 0,31'dir. İkinci amaç için sapmalar dikkate alındığında bazı problemlerde TB-HP1'nin TB-HP'ye göre daha küçük sapmalara ($d_2^-(TB-HP1) < d_2^-(TB-HP)$) sahip olduğu,

Çizelge 5.2. Büyük boyutlu test problemleri için sayısal sonuçlar

Problem	Hedefler		TB-HP1							TB-HP						
			$d_1^+(TB-HP1)$			$d_2^-(TB-HP1)$			ÇS (sn)	$d_1^+(TB-HP)$			$d_2^-(TB-HP)$			ÇS (sn)
	Uzaklık	Tazelik	EK	ORT	EB	EK	ORT	EB		EK	ORT	EB	EK	ORT	EB	
C101.101	827,3	0,90	0,00	75,24	216,30	0,25	0,26	0,27	43,23	0,00	37,56	154,00	0,25	0,26	0,27	114,09
C102.101	827,3	0,90	90,90	229,01	306,50	0,25	0,26	0,27	54,80	98,00	147,94	200,30	0,22	0,26	0,27	122,60
C103.101	826,3	0,90	98,90	191,00	342,20	0,24	0,27	0,29	61,28	55,50	140,44	239,10	0,26	0,27	0,28	129,48
C104.101	822,9	0,90	76,60	221,63	329,70	0,27	0,30	0,32	71,91	55,80	145,70	230,90	0,28	0,30	0,32	143,06
C105.101	827,3	0,90	0,00	66,97	136,30	0,24	0,26	0,27	41,26	0,00	61,25	151,70	0,25	0,26	0,27	103,09
C201.101	589,1	0,90	47,70	75,19	142,50	0,24	0,31	0,34	31,16	35,10	43,43	78,40	0,33	0,34	0,35	161,54
C202.101	589,1	0,90	65,60	130,07	192,50	0,28	0,31	0,35	44,65	46,90	85,78	114,70	0,32	0,32	0,34	168,95
C203.101	588,7	0,90	89,30	146,23	212,00	0,28	0,31	0,36	56,83	63,60	105,76	146,60	0,29	0,32	0,34	207,96
C204.101	588,1	0,90	65,00	96,77	207,30	0,26	0,32	0,34	69,61	63,10	85,90	106,60	0,30	0,33	0,34	222,74
C205.101	586,4	0,90	41,20	90,12	161,40	0,24	0,29	0,31	38,20	35,10	54,68	73,00	0,24	0,31	0,34	168,64
Ortalama	707,25	0,90	57,52	132,22	224,67	0,25	0,29	0,31	51,29	45,31	90,84	149,53	0,27	0,30	0,31	154,22

EK: Enküçük; ORT: Ortalama; EB: Enbüyük; ÇS: Çözüm süresi

görülmektedir. Bu durum, küçük boyutlu problemlerin deneysel analizinde de bahsedildiği gibi baskın olmayan çözümlerin (non-dominated solutions) elde edilmesiyle açıklanabilir. TB-HP1 ve TB-HP'nin ortalama çözüm zamanları sırasıyla 51,9 sn ve 154,22 sn'dir. TB-HP'nin çözüm zamanının TB-HP1'nin çözüm zamanına göre daha uzun olmasının sebebi ise TB-HP'de yerel arama gibi çalışan $2opt^*$ komşuluk yapısının kullanılmasıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda $2opt^*$ komşuluk yapısının kullanılması algoritmanın çözüm zamanını artırmasına rağmen hedef değerlere daha yakın ve daha kaliteli çözümlerin elde edilmesinde etkili olduğu görülmektedir.

6. ÇA-ZPARP İÇİN PARETO-ENİYİ ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Çok amaçlı eniyileme ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, amaçların birleştirilerek tek bir amaç olarak dikkate alındığı çözüm yaklaşımının en çok kullanılan yaklaşım olduğu görülmektedir. Ancak bu yaklaşımın aşağıda belirtilen dezavantajları bulunmaktadır (Konak, Smith ve Norman,2006);

- i. Amaçların önem dereceleri açıkça bilinmediği için amaçların önem ağırlıklarının belirlenmesi zordur. Amaç fonksiyonu amaçların doğrusal birleşimi ile elde edildiğinden dolayı, ağırlıkların değişmesi problemi değiştirecektir.
- ii. Birinci dezavantajı önlemek için, amaçların önem ağırlıklarının belirlenmiş kombinasyonları için problemi çözme yaklaşımı önerilmiştir. Fakat çözüm uzayı dışbükey (convex) olmayan veya sürekli ise bu yaklaşım pareto yüzeyinin tüm noktalarını bulamamaktadır.
- iii. Her amaç farklı ölçeklerde olabilmektedir. Bu durum, amaçların doğrusal olarak birleştirilmesi için normalize edilmelerini gerektirmektedir. Fakat bu işlemde de amaçların hangi ölçeğe göre normalize edilmesi gerektiği belirlenmelidir.

Belirtilen bu dezavantajlardan dolayı, bu bölümde bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması problemi için Pareto eniyi çözümler kümesini bulmak amacıyla bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu çözüm yaklaşımı, Bölüm 5' de önerilen TB-HP' nin yeniden düzenlenmesi ile elde edilmiştir. TB-ÇA olarak adlandırılan yeni yaklaşımda çözümlerin değerlendirilmesi aşamasında Konak ve diğerleri (2006) tarafından önerilen çok terimli (multinomial) olasılık dağılımı kullanılmıştır. Dolayısıyla, TB-ÇA' nın her iterasyonunda bu olasılık dağılımı kullanılarak amaçlardan birisi seçilmekte ve üretilen komşu çözüm bu amaca göre değerlendirilmektedir. Böylece amaçların önem ağırlıklarının belirlenmesi ve normalize edilmesi işlemlerine gerek duyulmadan pareto-eniyi çözümler kümesi üretilmektedir.

6.1. Önerilen Çözüm Yaklaşımı

Bu bölümde TB-ÇA' nın temel özellikleri açıklandıktan sonra, performansı test problemleri üzerinde incelenecektir.

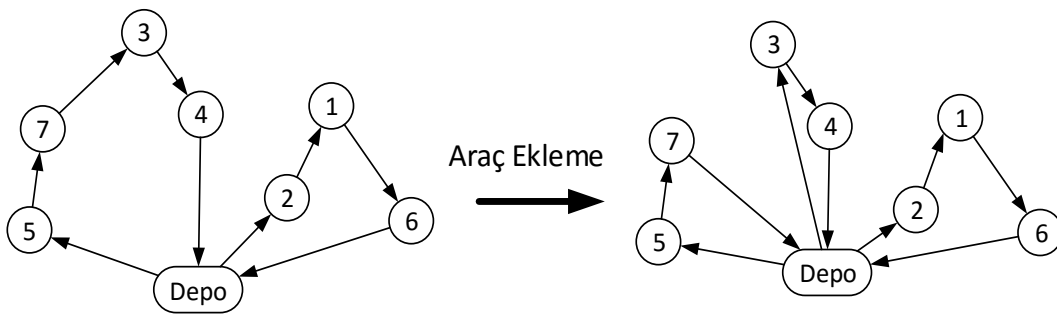
6.1.1. Başlangıç çözümü

TB-ÇA’da başlangıç çözümü, TB-HP’de olduğu gibi İlerletici Ekleme Sezgiseli (Push Forward Insertion Heuristic) ile üretilmektedir. Başlangıç çözümü üretme için kullanılan sezgisel algoritma Bölüm 5.2.1 ‘de detaylı olarak anlatılmaktadır.

6.1.2. Hareket mekanizması

TB-HP’ de komşu çözümü elde etmek için Or-opt1, yer değiştirme ve 2opt* hareket mekanizmaları kullanmıştır. Yapılan ön analizler sonucunda rota sayısının azalması tur uzunluğunun yanısıra tazeliğin de azalmasına sebep olmaktadır. Ancak özellikle tazelik için pareto yüzeyinin uç noktalarındaki çözümlere ulaşılması için rota sayısının artmasına ihtiyaç vardır. Dolayısıyla TB-ÇA’ da bu üç hareket mekanizması ile birlikte “Araç Ekleme” komşuluk mekanizması da kullanılmıştır. Or-opt1, yer değiştirme ve 2opt* hareket mekanizmaları Bölüm 5.2.2’de detaylı olarak anlatılmıştır. “Araç Ekleme” komşuluk mekanizması ise aşağıda açıklanmaktadır.

- Araç ekleme; Bu hareket mekanizması, öncelikle en çok müşteriye sahip rotayı bulmakta ve rotayı ortadan ikiye ayırarak araç sayısını bir artırmaktadır. Komşuluk mekanizması için bir örnek Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Araç ekleme hareket mekanizması için bir örnek

6.1.3. Komşu çözümlerin değerlendirilmesi

Elde edilen S' çözümünün amaç fonksiyonlarına göre değerlendirilmesi çok terimli yaklaşıma göre yapılmaktadır. Bu yaklaşımın kullanılmasında pareto-eniyi çözümleri tutan bir liste kullanılır. Bu liste “PEL” olarak adlandırılmıştır.

Rassal olarak seçilen hareket mekanizmasına göre üretilen S' çözümü PEL'deki çözümlerden bazılarına göre baskın bir çözüm ise PEL'den bu çözümler çıkarılır ve S' çözümü listeye eklenir. S' çözümü PEL'deki çözümlere göre baskın olmayan bir çözüm ise, S' çözümü PEL'e eklenir. Her iki durumda da S' çözümü mevcut çözüm ($S \leftarrow S'$) olarak güncellenir. S' çözümü PEL'deki çözümlere göre baskın olmayan bir çözüm değilse, amaçlardan birisi çok terimli olasılık dağılımına göre seçilir ve S' çözümü olasılıklı kabul ile mevcut çözüm olarak güncellenir. Δ değeri Eş. 5.4' deki gibi yüzde sapma şeklinde hesaplanmaktadır. Bu yaklaşımın işleyişi Şekil 6.2' de verilmiştir.

-
- i. S' PEL'deki bazı çözümlere göre baskın bir çözüm ise
PEL'den bu çözümleri çıkar, S' çözümünü PEL'e ekle ve $S \leftarrow S'$
 - ii. S' PEL'deki çözümlere göre baskın olmayan bir çözüm ise
 S' çözümünü PEL'e ekle ve $S \leftarrow S'$
 - iii. S' PEL'deki çözümlere göre baskın olmayan bir çözüm değilse
amaçlardan birisini çok terimli olasılık dağılımına göre seç ve seçilen amaca göre Δ değerini hesapla

$$\Delta = [(f(S') - f(S)) / f(S)] \times 100$$
if ($\Delta \leq 0$) ise $S \leftarrow S'$
else
 $u \sim U(0,1)$ rassal sayısını üret
if ($u \leq e^{-\Delta/T}$) ise $S \leftarrow S'$
-

Şekil 6.2. Komşu çözümün değerlendirilmesi

6.1.4. Soğutma stratejisi

TB-ÇA'da soğutma stratejisi olarak geometrik soğutma çizelgesi kullanılmıştır. Bu çizelgeye göre $(i+1)$. iterasyondaki sıcaklık $T_{i+1} = q \times T_i$ olarak hesaplanmaktadır. T_i , i . iterasyondaki sıcaklığı, q ise soğutma oranını ifade etmektedir. Başlangıç sıcaklığı ve soğutma oranı, Bölüm 6.2.1' de açıklanan ön çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Her sıcaklık aranan komşu çözüm sayısı (KS) da yapılan ön denemeler sonucunda 5 alınmıştır. Her sıcaklık güncelleme işleminden sonra ise belirli bir olasılıkla mevcut rotaya araç eklenerek çözümde çeşitlendirme yapılmıştır. Yapılan ön denemeler sonucunda bu olasılık değeri 0,30 olarak belirlenmiştir.

Önerilen TB-ÇA'nın adımları Şekil 6.3'de verilmiştir.

6.2. Sayısal Analiz

TB-ÇA için sayısal analiz 3 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada TB-ÇA'da kullanılan parametre değerlerinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. İkinci aşamada ise kullanılan hareket mekanizmalarının TB-ÇA'nın performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üçüncü aşamada ise TB-ÇA'nın performansı Amorim ve Almada-Lobo (2014) tarafından önerilen karma Genetik Algoritma (K-GA) ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda Amorim ve Almada-Lobo (2014) tarafından Solomon (1987) problemlerine dayalı üretilen veri seti kullanılmıştır. Kullanılan veri setinin özellikleri Bölüm 5.3.1' de detaylı olarak anlatılmıştır. Amorim ve Almada-Lobo (2014) bozulabilir ürünlerin dağıtım problemi için geliştirdiği K-GA ile tüm test problemlerini çözmüştür. Ancak, makalelerinde sadece C101 probleminde hızlı, orta ve geç bozulabilir ürünler için K-GA ile bulunan PEL raporlamıştır. Bu nedenle yapılan sayısal analizde bu üç farklı PEL dikkate alınmıştır. C101 probleminde her bir bozulabilirlik durumu için TB-ÇA ve K-GA'nın performansını değerlendirmek amacıyla Eş. 6.1 ve Eş. 6.2'de verilen başarı yüzdesi hesaplanmıştır;

$$BY_{TB-ÇA} = \frac{n(PEL_{TB-ÇA})}{n(PEL_O)} \cdot 100 \quad (6.1)$$

$$BY_{K-GA} = \frac{n(PEL_{K-GA})}{n(PEL_O)} \cdot 100 \quad (6.2)$$

Algoritma: TB-ÇA

Girdi: TB-ÇA' nın parametreleri

Çıktı: ÇA-ZPARP için pareto-eniyi çözümler

Başlangıç çözümünü üret " S " ve hedef değerlerden sapmaları hesapla

$i \leftarrow 0$

while (durdurma koşulu)

for $k=1$ to (KS)

Oropt1, Yer değiştirme , Araç Ekle ve $2opt^*$ komşuluk mekanizmalarından birini rastgele seç ve S' çözümünü üret

S' çözümü PEL'deki tüm çözümler ile kıyasla:

- S' , PEL'deki bazı çözümlere göre baskın bir çözüm ise
PEL'den bu çözümleri çıkar ve S' çözümünü PEL'e ekle, $S \leftarrow S'$
- S' , PEL'deki çözümlere göre baskın olmayan bir çözüm ise
 S' çözümünü PEL'e ekle ve $S \leftarrow S'$
- S' , PEL'deki çözümlere göre baskın olmayan bir çözüm değilse
amaçlardan birisini çok terimli olasılık dağılımına göre seç ve seçilen amaca göre Δ değeri hesapla.

$$\Delta = [(f(S') - f(S)) / f(S)] \times 100$$

if ($\Delta \leq 0$) **then** $S \leftarrow S'$

else $u \sim U(0,1)$ rassal sayısını üret

if ($u \leq e^{-\Delta/T}$) ise $S \leftarrow S'$

end for

$$T_{i+1} = qT_i$$

$i \leftarrow i + 1$

$u \sim U(0,1)$ rassal sayısını üret

if ($u < 0,30$) **then** S' e "Araç Ekle" hareket mekanizmasını uygula

end while

PEL'i raporla

Şekil 6.3. TB-ÇA algoritmasının adımları

Bu eşitliklerde;

- $PEL_{TB-ÇA}$: TB-ÇA ile elde edilen PEL
- PEL_{K-GA} : K-GA ile elde edilen PEL
- PEL_O : $PEL_{TB-ÇA} \cup PEL_{K-GA}$ ile elde edilen PEL
- $n(PEL_O)$: PEL_O 'da baskın olmayan çözüm sayısı
- $n(PEL_{TB-ÇA})$: PEL_O 'da TB-ÇA ile üretilen baskın olmayan çözüm sayısı
- $n(PEL_{K-GA})$: PEL_O 'da K-GA ile üretilen baskın olmayan çözüm sayısı

TB-ÇA, Visual C++ dilinde kodlanmış ve Visual Studio 2012 programında koşturulmuştur. Tüm denemeler, Intel Core Dua 2.27 Ghz, 3 Gb Ram özeliğindeki bilgisayarda yapılmıştır.

6.2.1. Parametrelerin belirlenmesi

Bu bölümde, TB-ÇA'da kullanılan başlangıç sıcaklığı ve soğutma oranı parametrelerinin değerinin belirlenmesi amacıyla bir deneysel çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada, hızlı, orta ve geç bozulabilir ürünler dikkate alınarak C101 probleminden üretilen 3 problem kullanılmıştır. TB-ÇA, belirlenen başlangıç sıcaklığı ve soğutma oranının her kombinasyonu için 10 defa koşturularak başarı oranı hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmada soğutma oranı (q) için 0,95 ve 0,90 değerleri dikkate alınmıştır. Başlangıç sıcaklıkları ise aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

- %30 kötü çözümü 0,80 olasılıkla kabul edecek sıcaklık ; $T_0=135$
- %50 kötü çözümü 0,50 olasılıkla kabul edecek sıcaklık ; $T_0=70$
- %70 kötü çözümü 0,30 olasılıkla kabul edecek sıcaklık ; $T_0=55$

Hızlı, orta ve geç bozulabilir ürünlerin söz konusu olduğu 3 problem tipi için elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çizelge 6.1'de ilk sütun bozulma türünü, ikinci sütun her bozulma türü için dikkate alınan T_0 değerini göstermektedir. Sonraki üçlük sütunlar sırasıyla $q = 0,95$ ve $q = 0,90$ için TB-ÇA'nın K-GA'ya göre enküçük (EK), ortalama (ORT) ve enbüyük (EB) başarı yüzdesini ve son iki sütun TB-ÇA'nın çözüm süresini vermektedir.

Çizelge 6.1. T_0 ve q değerinin TB-ÇA'nın performansına etkisi

Bozulma Türü	T_0	Başarı Yüzdesi (%)						Çözüm Süresi (sn)	
		$q = 0,95$			$q = 0,90$			$q = 0,95$	$q = 0,90$
		EK	ORT	EB	EK	ORT	EB		
Geç	135	65	79	100	11	73	100	152,59	58,29
	70	61	82	98	24	50	74	115,93	40,66
	55	64	82	94	22	71	97	118,70	34,86
Orta	135	79	92	100	62	92	100	133,35	55,14
	70	63	92	100	40	78	100	100,94	39,64
	55	0	81	100	52	74	100	87,82	34,85
Hızlı	135	0	72	100	0	60	100	127,04	45,10
	70	0	52	100	0	49	100	82,42	35,64
	55	62	91	100	0	56	100	83,84	30,38

Çizelge 6.1. incelendiğinde TB-ÇA'nın eniyi performansı $T_0 = 55$ ve $q = 0,95$ kombinasyonu için gösterdiği görülmektedir. TB-ÇA'nın bu kombinasyon için 10 koşuma dayalı elde ettiği başarı yüzdeleri aşağıda verilmektedir;

- Geç bozulabilir ürünlerde enküçük %64, ortalama %82, enbüyük %94
- Orta derecede bozulabilir ürünlerde enküçük %0, ortalama %81, enbüyük %100
- Hızlı bozulabilir ürünlerde enküçük %62, ortalama %91, enbüyük %100

Bu deneysel çalışmaya dayalı olarak TB-ÇA için $T_0 = 55$ ve $q = 0,95$ olarak dikkate alınmıştır.

6.2.2. Hareket mekanizmalarının performanslarının değerlendirilmesi

Bu bölümde TB-ÇA'da kullanılan Or-opt1, yer değiştirme, Araç ekleme ve 2opt* hareket mekanizmalarının algoritmanın performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. TB-ÇA'dan sırasıyla her hareket mekanizması çıkarılmış ve geri kalan hareket mekanizmaları ile algoritma 10 defa koşurulmuştur. Or-opt1, yer değiştirme, araç ekleme ve 2opt* hareket mekanizmaları sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 numaraları ile gösterilmiştir. Hızlı, orta ve geç bozulabilir ürünlerin söz konusu olduğu 3 problem tipi için elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2'de verilmiştir. Çizelge 6.2'de ilk sütun bozulma türünü, ikinci sütun her bozulma türü

Çizelge 6.2. Hareket mekanizmaları kombinasyonunun TB-ÇA'nın performansına etkisi

Bozulma Türü	Hareket Mekanizması	Başarı Yüzdesi (%)			Çözüm Süresi (sn)
		EK	ORT	ENB	
Geç	1-2-3-4	64	82	94	118,70
	1-2-3	58	73	86	77,58
	1-2-4	13	22	30	84,92
	1-3-4	74	91	100	133,68
	2-3-4	39	75	93	116,99
Orta	1-2-3-4	0	81	100	87,82
	1-2-3	85	95	100	68,67
	1-2-4	19	33	60	80,48
	1-3-4	99	100	100	142,94
	2-3-4	46	84	98	105,32
Hızlı	1-2-3-4	62	91	100	83,84
	1-2-3	0	67	98	57,88
	1-2-4	0	0	4	69,23
	1-3-4	67	96	100	116,27
	2-3-4	0	66	100	103,38

için hareket mekanizması kombinasyonunu, sonraki üç sütun 10 koşuma dayalı olarak TB-ÇA'nın K-GA'ya göre enküçük, ortalama ve enbüyük başarı yüzdesini ve son sütun TB-ÇA'nın çözüm süresini vermektedir.

Geç bozulabilir ürünler için hareket mekanizmalarının TB-ÇA'nın performansı üzerinde etkisi incelendiğinde, Or-Opt1, Araç ekleme ve 2opt* (1-3-4) hareket mekanizması kombinasyonu için TB-ÇA'nın daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir. TB-ÇA'nın bu kombinasyon için 10 koşuma dayalı elde ettiği başarı yüzdeleri enküçük %74, ortalama %91 ve enbüyük %100'dür. Ancak bu hareket kombinasyonu için TB-ÇA'nın çözüm zamanı 133,68 sn olup diğer dört kombinasyona göre daha yüksektir. Benzer sonuçlar, hem orta hem de hızlı derecede bozulabilir ürünler içinde söz konusudur. Yani bu ürün grupları için de Or-Opt1, Araç ekleme ve 2opt* hareket mekanizması kombinasyonu için TB-ÇA daha iyi bir performans sergilemiştir. TB-ÇA'nın çözüm zamanı orta derecede bozulabilir ürünler için 142,94 sn iken hızlı bozulabilir ürünler için 116,27 sn olup diğer hareket mekanizması kombinasyonlarına göre nispeten yüksektir.

Sonuç olarak, tüm ürün grupları için Or-Opt1, Araç ekleme ve 2opt* (1-3-4) hareket mekanizmaları kullanıldığında TB-ÇA diğer hareket mekanizması kombinasyonlarına göre

çok daha iyi performans sergilemektedir. Bu hareket kombinasyonu için TB-ÇA ile 10 koşuma dayalı olarak elde edilen başarı yüzdeleri aşağıda verilmektedir;

- Geç bozulabilir ürünlerde enküçük %74, ortalama %91, enbüyük %100
- Orta derecede bozulabilir ürünlerde enküçük %99, ortalama %100 enbüyük %100
- Hızlı bozulabilir ürünlerde enküçük %67, ortalama %96, enbüyük %100

6.2.3. TB-ÇA ve K-GA'nın performans analizi

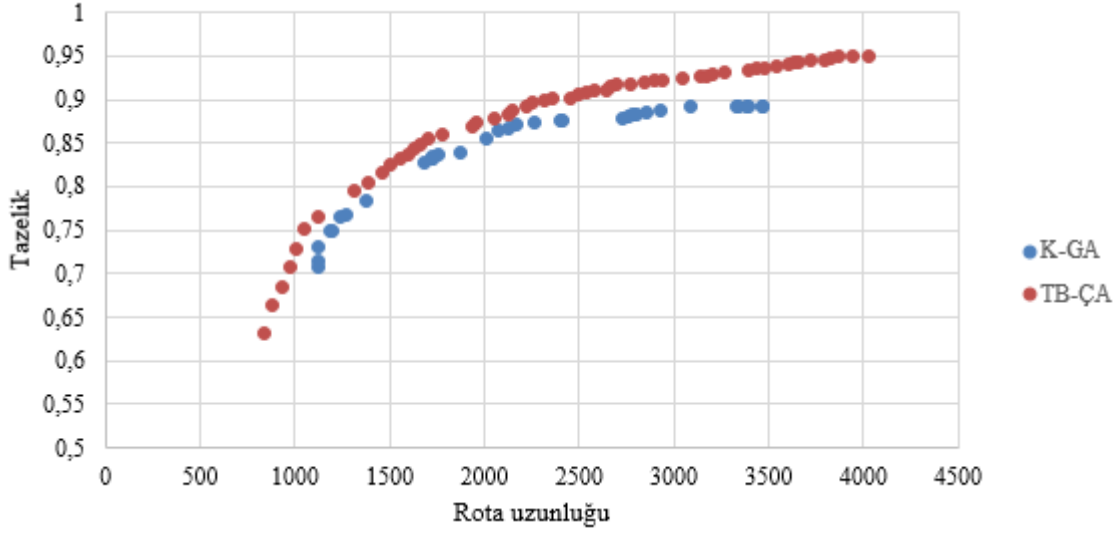
Bu bölümde TB-ÇA'nın performansı Amarim ve Almada-Lobo (2014) tarafından önerilen K-GA ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu aşamada da, Amarim ve Almada-Lobo (2014) tarafından pareto-eniyi çözümler listesinin (PEL) verildiği 3 problem dikkate alınmıştır. Bu problemler, C101 probleminden hızlı, orta ve geç bozulabilir ürünler için üretilen problemlerdir.

Çizelge 6.3'de TB-ÇA ile K-GA üretilen pareto-eniyi çözümlerin kalitesi açısından karşılaştırması yapılmaktadır. Çizelgede ilk sütun ürün bozulma türünü, sonraki 3 sütun 10 koşuma dayalı olarak TB-ÇA'nın enküçük, ortalama ve enbüyük başarı yüzdesini, son sütun ise K-GA'nın eniyi durumdaki başarı yüzdesini vermektedir. Çizelge incelendiğinde TB-ÇA'nın başarı yüzdesinin %67 ile %100 arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler, TB-ÇA ve K-GA ile üretilen ortak pareto-eniyi çözümler kümesindeki çözümlerin en az %67'sinin en fazla da %100'nün TB-ÇA ile üretildiğini göstermektedir. Ortak pareto-eniyi çözümler kümesine, K-GA'nın katkısı ise %10 ile %33 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, TB-ÇA'nın K-GA'ya göre çok daha kaliteli pareto-eniyi çözümler üretebilme kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir.

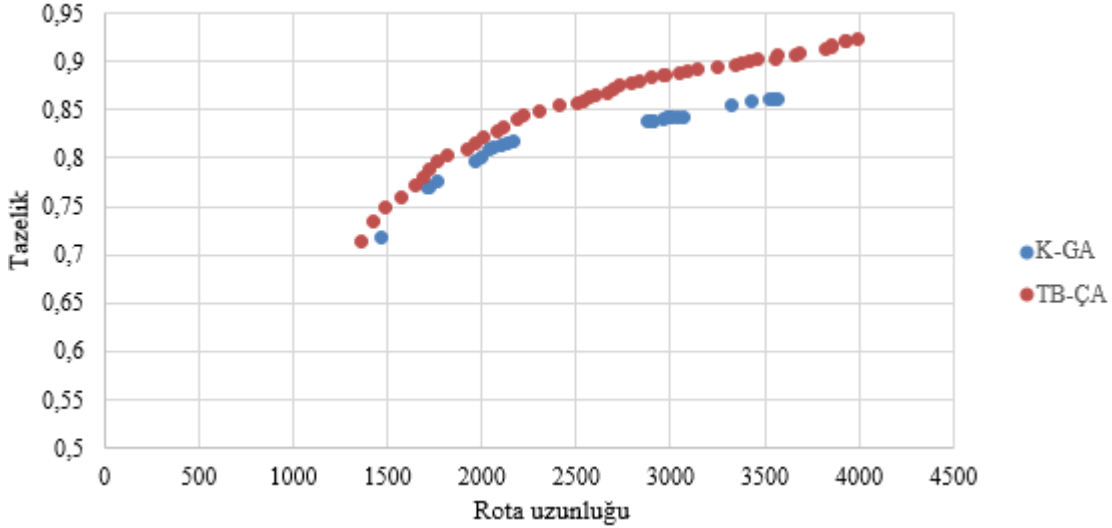
Çizelge 6.3. TB-ÇA ve K-GA'nın başarı yüzdeleri

Bozulma Türü	TB-ÇA			K-GA
	EK	ORT	EB	
Geç	74	91	100	26
Orta	99	100	100	10
Hızlı	67	96	100	33

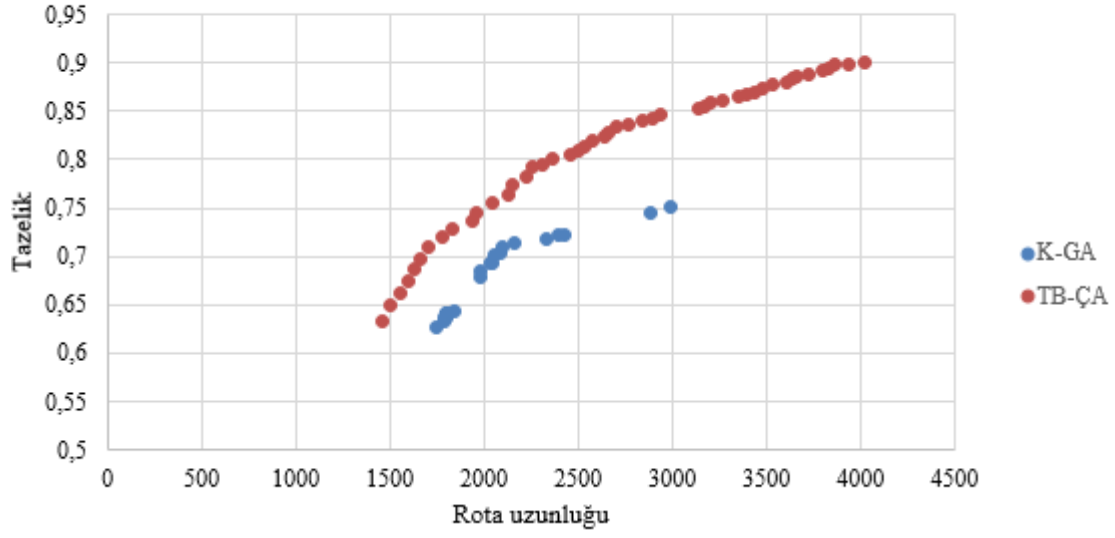
Bu sonucu desteklemek amacıyla geç, orta ve hızlı bozulabilir ürünler için TB-ÇA ve K-GA ile üretilen pareto-eniyi çözümler kümesinin karşılaştırması Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’ da verilmektedir. Şekiller incelendiğinde TB-ÇA’nın pareto-eniyi yüzeyi çok daha iyi tahmin ettiği dolayısıyla K-GA’ya göre baskın çözümler üretebildiği görülmektedir.



Şekil 6.4. Geç bozulabilir ürünlerde TB-ÇA ve K-GA ile elde edilen PEL'in karşılaştırılması



Şekil 6.5. Orta derecede bozulabilir ürünlerde TB-ÇA ve K-GA ile elde edilen PEL'in karşılaştırılması



Şekil 6.6. Hızlı bozulabilir ürünlerde TB-ÇA ve K-GA ile elde edilen PEL'in karşılaştırılması

7. SONUÇLAR

Küreselleşen dünyada artan rekabet ortamı ile birlikte, müşteri memnuniyetinin sağlanması firmalar için önemli bir hedef haline gelmiştir. Bu nedenle günümüzde tedarik zinciri tasarımı ve tedarik zincirinin etkin yönetimi çok önem kazanmıştır. Firmalar, iyi bir tedarik zinciri yönetimiyle maliyetleri düşürebilir, kalite ve müşteri memnuniyetini artırabilirler.

Müşteri ihtiyaç ve taleplerini göz önünde bulunduran firmalar tedarik zinciri tasarımlarını müşteri memnuniyetini sağlayacak şekilde tasarlamaktadırlar. Müşteri memnuniyetinin ürünün kalitesiyle direkt ilişkide olduğu bozulabilir ürünlerin dağıtımında ise ürünlerin mümkün olan en yüksek tazelikte müşterilere ulaştırılması hedeflenir. Çünkü bozulabilir ürünler ürün değerlerinin önemli bir kısmını dağıtım aşamasında kaybedebilmektedir. Bozulabilir ürünlerin dağıtım süreci ve müşteri memnuniyeti arasındaki bu ilişkiden dolayı bu tezde bozulabilir ürünlerin dağıtım planlaması problemi ele alınmıştır. Problem tur uzunluğunun enküçüklenmesi ve tazeliğin enbüyüklenmesi amaçlarına sahip Zaman Pencere Aracı Rotalama Problemi (ZPARP) olarak tanımlanmıştır.

Literatürde çok amaçlı ZPARP (ÇA-ZPARP) 'nin çözümü için genellikle karma evrimsel algoritmalar kullanılırken, bu tez kapsamında ÇA-ZPARP' nin çözümü için iki farklı yaklaşım önerilmiştir. ÇA-ZPARP'nin çözümü için öncelikle HP modeli geliştirilmiş ve modelin makul zamanlarda çözümü için ise tavlama benzetimi algoritması (TB-HP) geliştirilmiştir. TB-HP'nin performansı, küçük ve büyük boyutlu test problemleri üzerinde incelenmiştir. Küçük boyutlu problemlerde TB-HP'nin performansı, hedef programlama modelinin CPLEX ile çözülmesiyle elde edilen eniyi çözümlerle karşılaştırmalı incelenmiştir. TB-HP'de kullanılan $2opt^*$ komşuluk yapısı bir yerel arama algoritması gibi çalışmaktadır. Dolayısıyla, $2opt^*$ komşuluk yapısının TB-HP'nin performansındaki etkisini inceleyebilmek amacıyla bu hareket mekanizması algoritmadan çıkarılmış ve elde edilen yeni algoritma TB-HP1 olarak adlandırılmıştır. Büyük boyutlu problemlerde, TB-HP ve TB-HP1 sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan sayısal analizler sonucunda TB-HP algoritmasının küçük boyutlu problemlerde C202, C203 ve C205 problemleri hariç tüm problemlerde HP modelinin bulunduğu eniyi sonucu bulabildiği görülmektedir. TB-HP algoritmasının eniyi ya da eniyeye yakın çözümlere ortalama 6 saniyede; büyük boyutlu problemlerde ise ortalama 155 saniyede ulaştığı görülmektedir.

İkinci yaklaşımda amaç ÇA-ZPARP için pareto-eniyi çözümlerin üretilmesidir. Bu amaçla TB-HP için çözümlerin değerlendirilmesinde çok terimli yaklaşımı kullanan tavlama benzetimi temelli sezgisel bir algoritma (TB-ÇA) geliştirilmiştir. TB-ÇA algoritmasında TB-HP algoritmasında kullanılan hareket mekanizmalarına ek olarak “Araç ekleme” hareket mekanizması eklenmiştir. TB-ÇA'nın etkinliği, geç bozulabilir, orta derecede bozulabilir ve hızlı bozulabilir ürün gruplarının bulunduğu problemlerde Amorim ve Almada-Lobo (2014) tarafından önerilen karma genetik algoritmayla (K-GA) karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. TB-ÇA, belirlenen parametre değerlerinde tüm ürün grupları için K-GA'ya göre daha başarılı pareto-eniyi sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Bu çalışmanın devamında aşağıdaki çalışmalar yapılabilir;

- TB-HP ve TB-ÇA algoritmalarının performansının artırılması için diğer metasezgisel algoritmalarla melezleştirilebilir.
- Çok depolu, çok ürün çeşitli veya heterojen araç filolu gibi yeni kısıtların eklenmesiyle problem geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Aarts, E. and Lenstra, J. K. (1997). *Local search in combinatorial optimization*. (First Edition). New York :John Wiley & Sons, 121-137.
- Amorim, P. and Almada-Lobo, B. (2014). The impact of food perishability issues in the vehicle routing problem. *Computers and Industrial Engineering*, 67, 223-233.
- Amorim P., Meyr, H., Almeder, C. and Almada-Lobo, B. (2013). Managing perishability in production- distribution planning: a discussion and review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25, 389-413.
- Amorim, P., Günther, H.O. and Almada-Lobo, B. (2012). Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products. *International Journal of Production Economics*, 138, 89-101.
- Baños, R., Ortega, J., Gil, C., Márquez, A.L. and De Toro, F. (2013a). A hybrid meta-heuristic for multi-objective Vehicle Routing Problems with Time Windows. *Computers and Industrial Engineering*. 65 (2), 286-296.
- Baños, R., Ortega, J., Gil, C., Fernández, A. and De Toro, F. (2013b). A Simulated Annealing-based parallel multi-objective approach to vehicle routing problems with time windows. *Expert Systems with Applications*, 40 (5), 1696-1707.
- Baykasoglu, A., Owen, S. and Gindy, N. (1999). Solution of goal programming models using a basic taboo search algorithm. *Journal of the Operational Research Society*. 50 (9), 960-973.
- Baykasoğlu, A. (2005). Preemptive goal programming using simulated annealing. *Engineering Optimization*. 37 (1), 49-63.
- Ben Abdelaziz, F., Masri, H. and Alaya, H. (2015). A recourse goal programming approach for airport bus routing problem. *Annals of Operations Research*. (in press).
- Bräysy, O. and Gendreau, M. (2005). Vehicle routing problem with time windows, Part I: Route construction and local search. *Transportation Science*, 39 (1), 104-118.
- Calvete, H.I., Galé, C., Oliveros, M.-J. and Sánchez-Valverde, B. (2007). A goal programming approach to vehicle routing problems with soft time. *European Journal of Operational Research*, 177 (3), 1720-1733.
- Castro-Gutierrez, J., Landa-Silva, D. and Moreno Pérez, J. (2011). Nature of real-world multi-objective vehicle routing with evolutionary algorithms. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. 6083675, 257-264.
- Charnes, A. and Cooper, W.W. (1961). *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*. New York: John Wiley & Sons,1-859.

- Clarke, G. and Wright, W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of deliver points. *Operational Research*, 12, 568-581.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.Y. and Semet, F. (2002). A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, 53, 512-522.
- Cordeau, J.F., Gendreau, M., Hertz A., Laporte G. and Sormany, J.S. (2005). New Heuristics for the Vehicle Routing Problem, In A. Langevi and D. Riopel (Eds), *Logistics Systems: Design and Optimization*, New York : Springer, 279-297.
- Dantzig, G.B. and Ramser, J.H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- Demir, E., Bektaş, T. and Laporte, G. (2014). The bi-objective Pollution. *European Journal of Operational Research*. 232 (3), 464-478.
- Dorigo, M. , Birattari, M., Blum, C., Gambardella, L.M. , Mondada, F. and Stützle, T. (2004). Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence. *Lecture Notes in Computer Science*, 3172 LNCS.
- Ekşioğlu, B., Vural, A.V. and Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers and Industrial Engineering*, 57 (4), 1472-1483.
- Eryavuz, M. ve Gencer, C. (2001). Araç rotalama problemine ait bir uygulama, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 139-155.
- Ferguson, M. and Koenigsberg, O. (2007). How should a firm manage deteriorating inventory. *Production and Operations Management*, 16 (3), 306-321.
- Garcia-Najera, A. and Bullinaria, J.A. 2011. An improved multi-objective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *Computers and Operations Research*, 38 (1), 287-300.
- Ghare, P.M. and Schrader, G.F. (1963). An inventory model for exponentially deteriorating items. *Journal of Industrial Engineering*, 14, 238-243.
- Ghoseiri, K. and Ghannadpour, S.F. (2010). Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic. *Applied Soft Computing Journal*, 10 (4), 1096-1107.
- Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R. and Devika, K. (2014). Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*. 152, 9-28.
- Göksal, F.P. (2009). *Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi için Sezgisel Yaklaşımlar: Genetik Algoritma Ve Kuş Sürüsü Eniyileme*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-14.

- Hong, S.C. and Park, Y.B. (1999). Heuristic for bi-objective vehicle routing with time window constraints. *International Journal of Production Economics*, 62 (3), 249-258.
- Hsu, C.I., Hung, S.F. and Li, H.C. (2007). Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery. *Journal of Food Engineering*, 80 (2), 465-475.
- Jozefowicz, N., Glover, F. and Laguna, M. (2008). Multi-objective meta-heuristics for the traveling salesman problem with profits. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*. 7 (2), 177-195.
- Kindervater, G.A.P. and Savelsbergh, M.W.P. (1997). *Vehicle routing: handling edge exchanges Local search in combinatorial optimization*, New York: John Wiley & Sons, , 337-360.
- Kirkpatrick, S., Gelatt Jr., C.D. and Vecchi, M.P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220 (4598), 671-680.
- Konak, S., Smith, A.E. and Norman, B.A. (2006). Multi-objective tabu search using a multinomial probability mass function. *European Journal of Operational Research*, 169 (3), 918-931.
- Laporte, G. (2007). What you should know about the vehicle routing problem. *Naval Research Logistics*, 54 (8), 811-819.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J.Y. and Semet, F. (2006). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 7(4-5), 285-300.
- Laporte, G., Nobert, Y. and Taillefer, S., (1988). Solving a Family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location Routing Problems. *Transportation Science*, 22 (3), 161-172.
- Miori, V.M. (2011). A multiple objective goal programming approach to the truckload routing. *Journal of the Operational Research Society*, 62 (8), 1524-1532.
- Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: a review. *Operations Research*, 30(4), 680-708.
- Ombuki, B., Ross, B.J. and Hanshar, F. (2006). Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows. *Applied Intelligence*. 24 (1), 17-30.
- Or, I. (1976). *Traveling Salesman- type Combinatorial Problems and Regional Blood Banking*. Ph.D. thesis, Northwestern University, Evanston, IL.
- Osvald, A. and Stirn, L.Z. (2008). A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of Engineering*, 85, 285-295.
- Potvin, J-Y, Rousseau, J-M. (1995). Exchange heuristic for routing problems with time. *Journal of the Operational Research Society*, 46 (12), 1433-1446.

- Qi, Y., Hou, Z., Li, H., Huang, J. and Li, X. (2015). A decomposition based memetic algorithm for multi-objective vehicle routing problem with time windows. *Computers and Operations Research*. 62, 61-77.
- Raafat, F. (1991). Survey of literature on continuously deteriorating inventory models. *Journal of the Operational Research Society*. 42(1), 27–37.
- Solomon, M.M. (1987). Algorithms for The Vehicle Routing And Scheduling Problems With Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2), 254-265.
- Suman, B. and Kumar, P. (2006). A survey of simulated annealing as a tool for single and multi-objective optimization. *Journal of the Operational Research Society*, 57 (10), 1143-1160.
- Şeker, Ş. (2007). *Araç rotalama problemi ve zaman pencereli stokastik araç rotalama problemine genetik algoritma yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 31-95.
- Tan, X., Luo, X., Chen, W.N. and Zhang, J., (2005). Ant colony system for optimizing vehicle routing problem with time windows. *Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation*, 209–214.
- Tarantilis, C.D. and Kiranoudis, C.T. (2001). A meta-heuristic algorithm for the efficient distribution of perishable foods. *Journal of Food Engineering*. 50, 1-9.
- Tarantilis, C.D. and Kiranoudis, C.T. (2002). Distribution of meat. *Journal of Food Engineering*. 51, 85-91.
- Toth, P. and Vigo, D., 2002. *The Vehicle Routing Problem*. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 5-23.
- Toth, P. and Vigo, D. (2003). The granular tabu search and its application to the vehicle-routing problem. *INFORMS Journal on Computing*, 15 (4), 333-346.
- Wee, H. (1993). Increasing efficiency in the supply chain for short shelf life goods using RFID tagging. *Computers & Industrial Engineering*, 3(24), 449–458.
- Zhou, Y. and Wang, J. (2015). A Local Search-Based Multi objective Optimization Algorithm for Multiobjective Vehicle Routing Problem with Time Windows. *IEEE Systems Journal*. 9 (3), 6730953, 1100-1113.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YAPAR, Ufuk
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.06.1990, Mersin
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0(312) 5823809
 e-mail : ufukyapar@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Fatih Üniversitesi /Endüstri Mühendisliği	2013
Lise	Abdulkerim Bengi Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Yapar, U. and Altıparmak, F. (2016, 24 Ocak). *Bi-Objective Optimizaiton of Perishable Food Distrubution: A heursitic Approach*. Paper presented at the International Conference on Engineering and Natural Sicine, İstanbul.



GAZİ GELECEKTİR..