

**ÇOK PERİYOTLU VE ERTELENEBİLİR
TALEPLİ AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Gamze TUNA

Eskişehir, 2016

**ÇOK PERİYOTLU VE ERTELENEBİLİR TALEPLİ AÇIK UÇLU
ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ**

Gamze TUNA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL**

**Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Eylül, 2016**

Bu Tez Çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1604F167 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Gamze TUNA'nın "Çok Periyotlu Ve Ertelenebilir Talepli Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi" başlıklı tezi .../.../2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı-Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL
Üye	: Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Haluk YAPICIOĞLU

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

ÇOK PERİYOTLU VE ERTELENEBİLİR TALEPLİ AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Gamze TUNA

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül, 2016

Danışman: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL

Klasik araç rotalama probleminin bir çeşidi olan Açık Uçlu Araç Rotalama Probleminde (AUARP), araçlar müşterilere hizmet verdikten sonra depoya geri dönmek zorunda değillerdir. AUARP'de, araç kapasite kısıtları altında tüm müşteri talepleri karşılanırken, toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır.

Bu tez kapsamında, Çok Periyotlu Ertelenebilir Talepli Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi (ÇP-ET-AUARP) ele alınmış ve bu problem için iki farklı matematiksel model oluşturulmuştur. Ele alınan problemde, tek seferlik statik rotalama yerine farklı günlerde gelen siparişlerin ertelenmesi ve birleştirilmesi söz konusudur. Siparişlerin birleştirilmesi taşıma maliyetlerinde azalma sağlarken, depoda tutma maliyetlerinde artışa neden olabilmektedir. Kurulan matematiksel modeller, bu ödünleşmeye bakarak toplam taşıma ve stoklama maliyetlerini en küçükmeyi amaçlamaktadırlar. Bu çalışmada literatürde yer alan ÇP-ARP çalışmalarından farklı olarak, her bir müşterinin bir planlama dönemi boyunca birden fazla talebinin olabilmesi durumu ilk kez göz önünde bulundurulmuştur.

Oluşturulan matematiksel modeller, doğrusal olmayan fonksiyonlar içermektedir. Doğrusal olmayan modeller ile optimal çözümün bulunması zor ve zaman alıcı olduğundan, kurulan modellere doğrusallaştırma metodu uygulanmıştır. Modeller 5, 7 ve 9 müşteriden oluşan gerçek hayat veri setleri için çözülmüştür. Problemin NP-zor yapısı nedeniyle küçük boyutlu örnekler seçilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Açık uçlu araç rotalama problemi, Çok periyotlu araç rotalama problemi, Ertelenebilir talep

ABSTRACT

OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH MULTI-PERIOD AND POSTPONABLE DEMANDS

Gamze TUNA

Department of Industrial Engineering

Anadolu University, Graduate School of Sciences, September, 2016

Supervisor: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL

In the Open Vehicle Routing Problem (OVRP) which is a variant of classical vehicle routing problem, the vehicles do not have to return to the depot after servicing the customers. In OVRP, the aim is to minimize total delivery costs while all customer demands are satisfied under vehicle capacity constraints.

In the scope of this thesis, the OVRP with multi-period and postponed demands is considered and two different mathematical models are established for the problem. In this problem, instead of routing the vehicles statically for once, it is possible to postpone and merge the demands which arrive at different days in a planning horizon. Merging the demands can cause a rise in holding costs while providing a reduction in transportation costs. The established mathematical models aim to minimize total traveling and holding costs by regarding this trade-off. Unlike multi-period vehicle routing problems in the literature, in this study, it is considered for the first time that customers can have demand more than once in a planning horizon.

The constructed mathematical models include nonlinear functions. Because finding an optimal solution with nonlinear models is difficult and time consuming, a linearization method is applied to the models. Mathematical models are solved for real-life examples composed of 5, 7 and 9 customers. Due to the NP-hard structure of the problem, small-size samples are selected.

Keywords: Open vehicle routing problem, Multi-period vehicle routing problem, Postponable demands

TEŞEKKÜR

“Çok Periyotlu ve Ertelenebilir Talepli Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi” başlıklı bu yüksek lisans tezinin tüm aşamalarında görüş, katkı ve yardımlarıyla bana destek olan ve yol gösteren değerli tez danışmanım Prof. Dr. Nihal Erginel’e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı yapabilmek için bilgi birikimimi ve bakış açımı kazanmama destek olan Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında ders aldığım ve birlikte çalıştığım hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca gösterdikleri anlayış ve destekleri için Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesinde beraber çalıştığım tüm mesai arkadaşlarıma, yöneticilerime ve hocalarıma teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemi sağlayan, her konuda desteklerini esirgemeyen, sevgileriyle ve anlayışlarıyla her zaman yanımda olan canım annem Ayşe Tuna ve sevgili kardeşim Büşra Tuna’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Destek, ilgi, yardım ve dostluklarıyla her zaman yanımda olan kıymetli çalışma arkadaşım Araş. Gör. Aylin Öztürk’e; dostlukları ve destekleri için Anıl Büyükköse ve Ayfer Beylik’e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, BİDEB 2210-Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında sunulan burs için TÜBİTAK’a teşekkür ederim.

...../...../2016

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Gamze TUNA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1. Araç Rotalama Problemi (ARP)	4
2.2. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi (AUARP)	9
2.3. Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi (ÇP-ARP)	19
3. ÇOK PERİYOTLU VE ERTELENEBİLİR TALEPLİ AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (ÇP-ET-AUARP)	26
3.1. Problemin Tanımı	30
3.2. Problemin Önemi	31
3.3. ÇP-ET-AUARP için Önerilen Matematiksel Modeller	35
3.3.1. Ertelemeli model	35
3.3.2. Müşteri grupları içeren model	38
3.4. Doğrusallaştırma Yöntemi	40
4. UYGULAMA	44
4.1. Birinci Veri Seti ile Uygulama	46
4.2. İkinci Veri Seti ile Uygulama	52

4.3. Üçüncü Veri Seti ile Uygulama.....	58
4.4. Uygulama Sonuçları.....	65
5. SONUÇ.....	70
KAYNAKÇA	73
EK-1. ERTELEMELİ MODEL İÇİN YAZILAN GAMS KODLARI.....	79
EK-2. MÜŞTERİ GRUPLARI İÇEREN MODEL İÇİN YAZILAN GAMS KODLARI	83
EK-3. LİTERATÜRDE YER ALAN MODEL İÇİN YAZILAN GAMS KODLARI	87
ÖZGEÇMİŞ.....	90

TABLolar DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Literatürde Yer Alan Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri	12
Tablo 2.2. Literatürde Yer Alan Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemleri	20
Tablo 4.1. Bir Haftalık Müşteri Talepleri – Birinci Veri Seti	45
Tablo 4.2. Bir Haftalık Müşteri Talepleri – İkinci Veri Seti	45
Tablo 4.3. Bir Haftalık Müşteri Talepleri – Üçüncü Veri Seti	45
Tablo 4.4. Müşteri Grupları	46
Tablo 4.5. Bir Haftalık Verinin Ertelemeli Model ile Çözüm Sonuçları – Birinci Veri Seti	46
Tablo 4.6. Ertelemeli Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Birinci Veri Seti	47
Tablo 4.7. Bir Haftalık Verinin Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonuçları – Birinci Veri Seti	48
Tablo 4.8. Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Birinci Veri Seti	49
Tablo 4.9. Bir Haftalık Verinin Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonuçları – Birinci Veri Seti	50
Tablo 4.10. Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Birinci Veri Seti	51
Tablo 4.11. Bir Haftalık Verinin Ertelemeli Model ile Çözüm Sonuçları – İkinci Veri Seti	53

Tablo 4.12. Ertelemeli Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – İkinci Veri Seti	54
Tablo 4.13. Bir Haftalık Verinin Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonuçları – İkinci Veri Seti	54
Tablo 4.14. Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – İkinci Veri Seti	55
Tablo 4.15. Bir Haftalık Verinin Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonuçları – İkinci Veri Seti	56
Tablo 4.16. Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – İkinci Veri Seti	57
Tablo 4.17. Bir Haftalık Verinin Ertelemeli Model ile Çözüm Sonuçları – Üçüncü Veri Seti	59
Tablo 4.18. Ertelemeli Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Üçüncü Veri Seti	60
Tablo 4.19. Bir Haftalık Verinin Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonuçları – Üçüncü Veri Seti	61
Tablo 4.20. Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Üçüncü Veri Seti	62
Tablo 4.21. Bir Haftalık Verinin Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonuçları – Üçüncü Veri Seti	63
Tablo 4.22. Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Üçüncü Veri Seti	64
Tablo 4.23. Model Türü ve Veri Setine Göre Çözüm Süreleri	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Klasik Araç Rotalama Problemi	9
Şekil 2.2. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi	10
Şekil 4.1. Model Türlerine Göre Araç Doluluk Oranları Kıyaslaması – Birinci Veri Seti	52
Şekil 4.2. Model Türlerine Göre Araç Doluluk Oranları Kıyaslaması – İkinci Veri Seti	58
Şekil 4.3. Model Türlerine Göre Araç Doluluk Oranları Kıyaslaması – Üçüncü Veri Seti	65
Şekil 4.4. Literatürde Yer Alan Model için Veri Setlerine Göre Maliyetler	66
Şekil 4.5. Ertelemeli Model için Veri Setlerine Göre Maliyetler	67
Şekil 4.6. Müşteri Türleri İçeren Model için Veri Setlerine Göre Maliyetler	68
Şekil 4.7. Model Türü ve Veri Setine Göre Çözüm Süreleri	69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

- ARP** : Araç rotalama problemi
- AUARP** : Açık uçlu araç rotalama problemi
- ÇP-ARP** : Çok periyotlu araç rotalama problemi
- ÇP-AURP** : Çok periyotlu açık uçlu araç rotalama problemi
- ÇP-ET-AURP** : Çok periyotlu ertelenebilir talepli açık uçlu araç rotalama problemi

Simgeler

- N** : Müşteri sayısı
- K** : Araç sayısı
- T** : Bir dönemdeki gün sayısı
- cap** : Araç kapasitesi
- h** : Dönem başına elde tutma maliyeti
- i, j** : Talep noktaları
- c_{ij}** : i noktasından j noktasına gidiş maliyeti
- q_{it}** : i noktasının t dönemindeki talep miktarı
- m** : Müşteri grubu (çok önemli, önemli, normal)

1. GİRİŞ

Firmaların maliyet kalemlerinden önemli bir bölümünü lojistik faaliyetleri oluşturmaktadır. Lojistik faaliyetleri, ürünlerin bir tedarik noktasından birden fazla talep noktasına dağıtımıdır. Taşıma faaliyetlerinin planlanması, araçların müşterilere uğrama sırasının belirlenmesi ve hızlı bir şekilde etkin çözümün elde edilmesi, maliyetlerin düşürülmesi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla, akademisyenler ve araştırmacılar araç rotalama problemini ele alarak daha düşük maliyetli rotaların oluşturulması için çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

Araç Rotalama Problemi (ARP); çeşitli operasyonel kısıtlar altında tüm müşteri talepleri karşılanırken, toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesini amaçlayan araç rotalarının belirlenmesi problemi (Toth ve Vigo, 2002, s.2; Baldacci, Battarra ve Vigo, 2008, s. 3; Daneshzand, 2011, s. 127). Bu problemin alt türlerinden olan Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi (AUARP), literatürde yaygın olarak ele alınan ve NP-zor problemlerden biridir. Kendi araç filosuna sahip olmadığından araç kiralayan firmaların karşılaştığı bu problem türünde, araçlar müşterilere hizmet verdikten sonra depoya geri dönmek zorunda değillerdir. Bir diğer ARP türü ise Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemidir (ÇP-ARP). Klasik ARP'de tek bir planlama dönemi mevcutken, gerçek hayat problemlerinde birden fazla periyottan oluşan planlama dönemleri söz konusudur.

Gerçek hayat uygulamalarının pek çoğunda, müşterilerden her gün talepler gelmekte ancak bu taleplerin geldiği gün içerisinde karşılanması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, firmalar müşteri taleplerini birkaç gün erteleyebilmektedirler. Müşteri taleplerinin ertelenmesi, müşteri memnuniyetinin azalması ve depoda tutma maliyetlerinin artması sebebiyle istenmeyen bir durumdur. Ancak; gelen taleplerin aynı gün içinde rotalanarak gönderilmesi, araç doluluklarının düşük oranlarda olmasına ve taşıma maliyetlerinde artışa yol açabilmektedir. Ertelenen talepler, yeni gelen taleplerle birleştirilerek taşıma maliyetlerinde azalma sağlanabilir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmanın amacı, gerçek hayatta karşılaşılan erteleme durumunun ve açık uçlu rotalamanın göz önüne alındığı durumun matematiksel olarak modellenmesi ve çözülmesidir. Bu amaçla, bu tezde Çok Periyotlu ve Ertelenebilir Talepli Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır.

Bu problem türünde, araç rotaları depoda başlayıp bir müşteri noktasında sonlanmakta ve müşteri siparişlerinin geldiği birden fazla günden oluşan belirli bir planlama dönemi bulunmaktadır. Rotalama, tüm planlama dönemi göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Bu planlama dönemi boyunca farklı günlerde gelen müşteri siparişlerinin ertelenmesi ve birleştirilmesi söz konusudur. Ele alınan problem için iki farklı tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel model oluşturulmuştur. Bu modeller bir doğrusallaştırma metodu ile tam sayılı doğrusal modeller haline getirilmiş; beş, yedi ve dokuz müşteriden oluşan üç veri seti için gerçek hayat uygulaması yapılmıştır.

Kurulan matematiksel modellerin amacı; toplam taşıma ve elde tutma maliyetlerini en küçükmektir. Birinci model, eşit kapasiteye sahip araçlardan oluşan homojen bir filonun olduğu varsayımı altında kurulmuştur. Bu modelde, tüm müşteri talepleri en fazla iki gün ertelenebilmektedir. İkinci modelde homojen bir araç filosu olmasının yanında, müşteriler ertelenebilme durumlarına göre gruplara ayrılmıştır. Bu gruplar; talebi ertelenemeyen (çok önemli) müşteriler, talebi bir gün ertelenebilen (önemli müşteriler) ve talebi iki gün ertelenebilen (normal) müşteriler şeklindedir.

Kurulan modeller, üç örnek için ele alınmış ve GAMS 24.7.3 yazılımının BARON çözücüsü ile uygulama yapılmıştır. Kurulan modellerin sonuçları, erteleme olmadan tüm siparişlerin geldiği günde dağıtılmak üzere rotalandığı durum ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın literatüre olan katkıları şu şekilde sıralanabilir:

- Literatürde, çok periyotlu araç rotalama problemi klasik araç rotalamanın bir çeşidi olarak ele alınmış, açık uçlu araç rotalama ve çok periyotlu araç rotalama bir arada düşünülmemiştir. Yapılan bu çalışmanın literatüre katkılarından biri, bahsedilen bu iki ARP türünün bir arada ele alınmasıdır.
- Literatürde, ertelemenin göz önünde bulundurulduğu farklı ÇP-ARP çalışmaları mevcuttur. Ancak, bu çalışmalarda, tüm planlama dönemi boyunca her bir müşterinin talebi yalnızca bir kez gelmektedir. Bu çalışmada bir planlama dönemi boyunca farklı günlerde gelen müşteri siparişlerinin ertelenmesini ve birleştirilmesini göz önünde bulunduran matematiksel bir model önerilmiştir.

- Kurulan matematiksel modelin müşteri grupları içeren farklı bir türü de önerilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde araç rotalama problemi, açık uçlu araç rotalama problemi ve çok periyotlu araç rotalama problemi hakkında temel kavramlar ve literatürde yer alan çalışmalar anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, çok periyotlu ertelenebilir talepli araç rotalama problemi için oluşturulan matematiksel modeller ve bu modellerin doğrusallaştırılması için kullanılan yöntemden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, matematiksel modellerin çözüm sonuçları verilmiştir. Çözüm sonuçları, erteleme olmadiğı durumla maliyet ve araç dolulukları açısından kıyaslanmıştır. Beşinci bölümde ise; sonuç ve öneriler ortaya konulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, araç rotalama problemi, açık uçlu araç rotalama problemi ve çok periyotlu araç rotalama problemi hakkında temel kavramlar ve literatürde yer alan çalışmalar anlatılmıştır.

2.1. Araç Rotalama Problemi (ARP)

Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem), literatürde en çok çalışılan kombinatoriyel optimizasyon problemlerinden biridir. Araç Rotalama Problemi (ARP), bir araç filosu tarafından müşteri kümesine hizmet vermek amacıyla bazı operasyonel kısıtların dikkate alındığı ve toplam taşıma maliyetini en küçüklemeyi amaçlayan araç rotalarının belirlenmesi problemidir (Toth ve Vigo, 2002, s.2; Baldacci, Battarra ve Vigo, 2008, s. 3; Daneshzand, 2011, s. 127). Bu problem ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser (Daneshzand, 2011, s. 127) tarafından çalışılmıştır. Dantzig ve Ramser, benzin istasyonlarına benzin dağıtım problemini ele almışlar ve bir gerçek dünya uygulamasının çözümü için ilk matematiksel modeli ve algoritmik yöntemi önermişlerdir (Dantzig ve Ramser, 1959, s. 80). Daha sonra Clark ve Wright (1964, s. 568) sezgisel bir yaklaşım olan klasik tasarruf metodunu önermiş ve Dantzig-Ramser yöntemini iyileştirmişlerdir. Bu çalışmalardan sonra, araç rotalama problemi ve bu problemin farklı türleri hakkında çok çeşitli modeller ve algoritmalar ele alınmıştır (Daneshzand, 2011, s. 127).

Standart ARP'de, tek bir depoya bağlı homojen bir filodaki her bir araç için dağıtım sıralamasının bulunması söz konusudur (Li, Golden ve Wasil, 2007, s. 2918). Klasik ARP'de müşteriler, müşteriler arasındaki gidiş süreleri ve her bir müşteri için servis sürelerinin önceden bilindiği varsayılmaktadır (Yeun vd., 2008, s. 206). Her bir araç için rota depoda başlar ve depoda biter. Klasik ARP, Laporte (1992, s. 345) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$G(V, A)$ bir graf, $V = \{1..n\}$ şehirleri temsil eden düğümler kümesi, 1 numaralı düğüm depo, A yolların kümesidir. Her bir (i, j) $i \neq j$ yolu negatif olmayan bir $C = (c_{ij})$ matrisiyle ilişkilidir. c_{ij} , gidiş maliyeti ya da gidiş süresi olarak tanımlanabilir. C 'nin simetrik olduğu durumlarda A yerine E yönsüz kenarlar kümesini kullanmak daha uygun olacaktır. m adet araç depoda hazır bulunmaktadır.

Klasik ARP matematiksel modeli (Yeun vd., 2008, s. 209):

$$\text{En küçükleme } \sum_{i \neq j} d_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1, \forall i \in V \quad (2.2)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1, \forall j \in V \quad (2.3)$$

$$\sum_i x_{ij} \geq |S| - v(S), \{S: S \subseteq V \setminus \{1\}, |S| \geq 2\} \quad (2.4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall \{i,j\} \in E; i \neq j \quad (2.5)$$

Bu modelde (2.1), (2.2), (2.3) ve (2.5) kısıtları düzenlenmiş atama problemini tanımlamaktadır. (2.4), alt tur eleme kısıtlarıdır.

ARP'nin temel bileşenleri; yol ağı, müşteriler, depolar, araçlar ve sürücülerdir. ARP'nin farklı türlerini oluşturmak için her bir bileşene farklı kısıtlar ve durumlar eklenebilir ve her birine farklı bir amaç yüklenebilir (Toth ve Vigo, 2002, s. 2).

Araç rotalama problemlerinde çok çeşitli amaçlar ele alınabilir. Genellikle dikkate alınan amaçlar şu şekildedir (Toth ve Vigo, 2002, s. 4):

- Toplam gidilen mesafeye ya da süreye ve kullanılan araçların sabit maliyetlerine bağlı olarak toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi,
- Tüm müşterilere servis vermek için gerekli toplam araç sayısının en küçüklenmesi,
- Taşıma süresi ve araç yükü açısından rotaların dengelenmesi,
- Müşterilere verilen parçalı hizmete bağlı olarak ortaya çıkan cezaların en küçüklenmesi,
- Bu amaçların ağırlıklandırılmış herhangi bir kombinasyonu.

Araç Rotalama Problemi literatürde, hem kısıtlardaki hem de değişkenlerdeki farklılaşmalara göre çeşitli türlerde ele alınmıştır. Literatürde sıkça karşılaşılan ARP türlerinden bazıları aşağıda verilmiştir (Toth ve Vigo, 2002, s. 5).

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (Capacitated Vehicle Routing Problem)

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, Toth ve Vigo (2002, s. 5) tarafından tüm müşterilerin ve taleplerin deterministik olarak önceden bilindiği; taleplerin bölünemediği; araçların tek bir depoya bağlı, özdeş ve belirli bir kapasiteye sahip olduğu; problemin amacının, tüm müşterilerin taleplerinin karşılanması ve toplam maliyetin en küçüklenmesi olduğu şeklinde tarif edilmiştir.

Literatürde kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Laporte (1992, s. 345-358), kesin çözüm veren algoritmaları ve sezgisel algoritmaları anlatan bir çalışma yapmıştır. Cordeau, Laporte ve Mercier (2001, s. 928-936) kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için kesin ve sezgisel metotları içeren bir kitap bölümü hazırlamışlardır. Toth ve Vigo (Maffioli, 2003, s. 153), 2002 yılına kadar literatürde verilen kesin metotların etkin olanlarını araştırmışlardır. Simetrik kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için kesin çözüm veren algoritmalar öneren bazı çalışmalar Baldacci, Hadjiconstantinou ve Mingozzi (2004, s. 723 - 738); Lysgaard, Letchford ve Eglese (2004, s. 423-445); Fukasawa ve diğerleri (2006, s. 491-511) tarafından yapılmıştır.

Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem with Backhauls)

Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminden farklı olarak önce dağıt sonra topla araç rotalama probleminde müşteri kümesi dağıtım yapılacak müşteriler ve toplama yapılacak müşteriler olmak üzere iki alt kümeye bölünmüştür. Bu iki müşteri alt kümesi arasında bir öncelik kısıtı bulunmaktadır. Bir rotada her iki türden müşteri bulunduğunda öncelikle dağıtım yapılacak müşterilere, daha sonra toplama yapılacak müşterilere servis verilmelidir.

Literatürde önce dağıt sonra topla araç rotalama probleminin çözümü için kesin ve sezgisel metotlar bulunmaktadır. Yano ve diğerleri (1987, s. 52-63), Goetschalckx ve Jacobs-Blecha (1989, s. 39-51), Toth ve Vigo (1997a, s. 372-385), Mingozzi ve Giorgi (1999, s. 315-329) kesin çözüm yöntemleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi için ilk matematiksel model Goetschalckx ve Jacobs-Blecha (1989, s. 39-51) tarafından önerilmiştir. Deif

ve Bodin (1984, s. 75-96), Thangiah, Potvin ve Sun (1996, s. 1043-1057), Toth ve Vigo (1999, s. 528-543), Salhi ve Nagy (1999, s. 1034-1042) ise önce dağıt sonra topla araç rotalama probleminin çözümünde sezgisel algoritmalar kullanmışlardır. Dinç Yalçın ve Erginel (2015), önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi için sınıflandırma, rotalama ve yerel arama aşamalarından oluşan bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntemin sınıflandırma aşamasında, toplam mesafenin en küçüklenmesi ve toplam kazancın en büyüklenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçların ağırlıkları, bulanık iki kişilik sıfır toplamlı-karışık stratejili oyun kuramı ile belirlenmiştir.

Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem with Time Windows)

Zaman pencereci araç rotalama probleminde her bir i müşterisine bağılı $[a_i, b_i]$ zaman penceresi bulunmaktadır. Araçların depodan ayrılma zamanları, i noktasından j noktasına gidiş süreleri ve her bir müşterinin servis süreleri bilinmektedir. Her bir müşterinin servisi o müşteriye ait zaman penceresi içinde başlamalıdır. Bir i müşterisine erken gidilmesi durumunda servisin başlatılması için a_i zamanına kadar beklenmelidir. (Toth ve Vigo, 2002, s. 8)

Zaman pencereci araç rotalama probleminin çözümü için literatürde önerilen kesin ve sezgisel optimizasyon yöntemleri bulunmaktadır. Savelsbergh (1985, s. 285), zaman pencereci araç rotalama problemi için yerel arama algoritması önermiştir. Baker ve Schaffer (1986, s. 261-300), zaman pencereci araç rotalama probleminin çözümü için çeşitli sezgisel yöntemlerle başlangıç çözümleri elde etmişler daha sonra bu çözümleri dal değişim prosedürleri (branch exchange procedures) ile geliştirmişlerdir. Desrochers, Desrosiers ve Solomon (1992, s. 342-354) bu problemin çözümü için yeni bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Chiang ve Russell (1996, s. 3-27), bu problemin çözümü için tavlama benzetimi metasezgiseli kullanmışlardır. Cordeau, Laporte ve Mercier (2001, s. 928-936) zaman pencereci araç rotalama problemi için kesin çözüm yöntemlerine odaklanmışlardır. Dullaert ve Braysy (2003, s. 325-336) ise Solomon'un ardışık ekleme sezgiselini zaman pencereci araç rotalama problemi için değiştirerek yeni bir sezgisel yöntem önermişlerdir.

Dağıtımli Toplamalı Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery)

Dağıtımli toplamalı araç rotalama probleminde her bir müşteri için dağıtılacak ve toplanacak talep söz konusudur. Her bir müşteri için dağıtımın toplamadan önce yapıldığı varsayılmaktadır. Dolayısıyla bir aracın i noktasına varmadan önceki mevcut yükü başlangıç yükünden dağıtılan tüm yüklerin çıkarılması ve toplanan tüm yüklerin eklenmesiyle bulunabilir. Aracın mevcut yük miktarı hiçbir zaman negatif veya araç kapasitesinden fazla olamaz.

Dağıtımli toplamalı araç rotalama problemi konusunda ilk çalışmalar Wilson ve diğerleri (1971); Wilson, Weissberg ve Hauser (1976); Wilson ve Colvin (1977) tarafından yapılmıştır. Bu problem konusunda yerel arama ilk olarak Psaraftis (1983, s. 133-145) tarafından ele alınmıştır. Jaw ve diğerleri (1986, s. 243-257), her bir müşterinin toplama ya da dağıtma zamanına sahip olduğu zaman pencereli problemi ele almışlardır. Bodin ve Sexton (1986, s. 73-86) önce kümele sonra rotala yöntemi geliştirerek probleme çözüm aramışlardır. Dumas, Desrosiers ve Soumis (1991, s. 7-22) bu problem için dizi bölümlenme (set-partitioning) modeli ve kolon üretim (column-generation) yöntemi kullanarak kesin çözüm veren algoritma sunmuşlardır. Van der Bruggen, Lenstra ve Schuur (1993, s. 298-311) tek araçlı dağıtımli toplamalı araç rotalama problemi için yerel arama sezgiseli sunmuşlardır. Toth ve Vigo (1997b, s. 60-71) engelli kişilerin karma filo ile taşınması için bir yöntem tanımlamışlardır. Gendreau ve diğerleri (2006) dinamik dağıtımli toplamalı esnek zaman pencereli m-Gezgin Satıcı Problemi için uyarlanabilir hafızalı yasaklı arama algoritması önermişlerdir.

Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi (AUARP; Open Vehicle Routing Problem, OVRP)

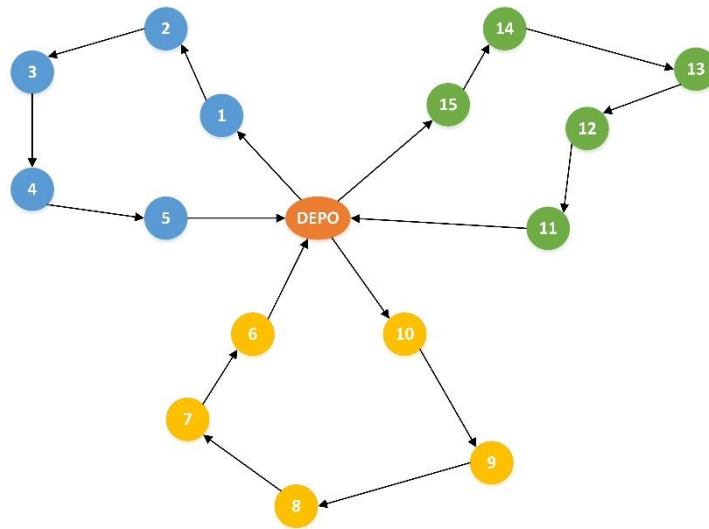
Açık uçlu araç rotalama probleminde klasik araç rotalama probleminden farklı olarak, araçlar müşterilere hizmet verdikten sonra depoya geri dönmek zorunda değildir.

Bu tez kapsamında ele alınan problem, Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi (AUARP) olarak belirlenmiştir. Bir sonraki bölümde AUARP hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

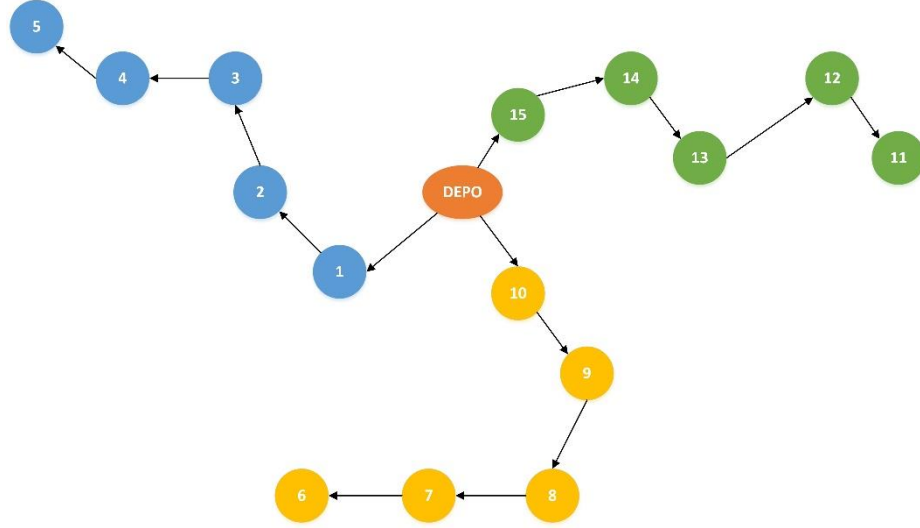
2.2. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi (AUARP)

Klasik araç rotalama probleminde tüm rotalar depoda başlamakta ve depoda sonlanmaktadır. Açık uçlu araç rotalama probleminde ise; bir araç rotadaki son müşteriye hizmet verdikten sonra depoya dönmek zorunda değildir (Li, Golden ve Wasil, 2007, s. 2918). Bu problem türü, kendi araç filosuna sahip olmayan ve araçları kiralayan dağıtım firmalarında ortaya çıkmaktadır (Daneshzand, 2011, s. 137; MirHassani ve Abolghasemi, 2011, s. 11547). Dağıtım firmaları, kiraladıkları araçların tüm müşterilere hizmet verdikten sonra depoya geri dönüşüyle ilgilenmemektedirler. Araç kiralama maliyetlerini en aza indirebilmek için en az sayıda araç kullanılması ya da toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır.

Şekil 2.1'de klasik araç rotalama probleminin ve Şekil 2.2'de açık uçlu araç rotalama probleminin şekilsel gösterimleri verilmiştir. Bu gösterimlerde düğüm noktaları müşterileri ifade etmektedir. Klasik araç rotalama probleminde tüm rotaların depoda başlayıp depoda bittiği, açık uçlu araç rotalama probleminde ise rotaların depoda başlayıp bir müşteri noktasında sona erdiği görülmektedir.



Şekil 2.1. Klasik Araç Rotalama Problemi



Şekil 2.2. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi

Sariklis ve Powel (2000, s. 564) yaptıkları çalışmada AUARP'nin tanımını yapmışlardır. Bu tanıma göre; bir depo, belirli talepleri olan müşteriler kümesi, depoda bulunan araç filosu, her bir aracın belirli bir kapasitesi ve işletim maliyeti bulunmaktadır. Depo ve müşteriler arasındaki ve her bir müşteri çifti arasındaki yolculuk maliyeti bilinmektedir. Her bir rota depodan başlayıp müşterilerin birinde sonlanmaktadır. Her bir müşteri yalnızca bir araç tarafından bir kez ziyaret edilmekte ve tüm müşteri talepleri karşılanmaktadır. Bir rotadaki tüm müşterilerin toplam talebi o rotaya atanan aracın kapasitesinden fazla olamaz. Problemin amacı toplam yolculuk maliyetlerini ve araç işletim maliyetlerini en küçükmektir. Yeni bir aracı kullanmanın sabit maliyetinin, her zaman bu aracın kullanımıyla elde edilecek kazançtan daha fazla olacağı varsayılmıştır.

Açık uçlu araç rotalama ve araç rotalama problemlerinin birbirinden farkı; AUARP'de her bir rotanın Hamilton yolu iken ARP'de her bir rotanın Hamilton çevrimi olmasıdır (Brandao, 2004, s. 552; Li, Golden ve Wasil, 2007, s. 2918; Fleszar, Osman ve Hindi, 2009, s. 803-804; MirHassani ve Abolghasemi, 2011, s. 11547). Hamilton yolu, yönlü ya da yönsüz bir grafta, her bir düğümün tam bir kez ziyaret edildiği yoldur. Hamilton çevrimi ise, bir düğüm hariç tüm düğümlerin tam bir kez ziyaret edildiği, bir düğümün ise başlangıç ve bitiş olmak üzere iki kez ziyaret edildiği bir çevrimdir. Bir araca atanmış her bir müşteri kümesi için en iyi Hamilton

yolunun bulunması problemi, dolayısıyla AUARP NP-zor bir problemdir (Brandao, 2004, s. 552; Fleszar, Osman ve Hindi, 2009, s. 804).

1980'lerin başından 1990'ların sonuna kadar AUARP literatürde oldukça az ilgi görmüştür (Li, Golden ve Wasil, 2007, s. 2919; Daneshzand, 2011, s. 137; Yu, Ding ve Zhu, 2011, s. 10568). 2000'lerden sonra ise AUARP'ye olan ilgi artmış ve pek çok araştırmacı bu problemin çözümü için yasaklı arama, deterministik tavlama, geniş komşuluk arama gibi çeşitli sezgisel ve metasezgisel yöntemler kullanmışlardır (Li, Golden ve Wasil, 2007, s. 2919).

Kapalı rotalar ile açık rotalar arasındaki farkı ortaya koyan ilk çalışma Schrage tarafından 1981 yılında yapılmıştır (Li, Golden ve Wasil, 2007, s. 2919; Yu, Ding ve Zhu, 2011, s. 10568). Schrage yazdığı makalede uygulamada karşılaşılan rotalama problemlerinin özelliklerini sınıflandırmıştır. AUARP için ilk çözüm yöntemini Bodin ve diğerleri (1981, s. 108) önermiştir. Bu çalışmada, FedEx tarafından yapılan uçak rotaları için Clarke ve Wright algoritmasının uyarlanmış bir versiyonu önerilmiştir. Uçaklar başlangıç noktasına geri dönmektedir ve önerilen algoritmada her bir uçak için açık uçlu rotalar oluşturulmuştur.

Tablo 2.1'de literatürde yer alan AUARP problemleri için; çalışmanın yazar(lar)ı, yılı, problemin türü, amaç fonksiyonu, matematiksel modelin olup olmadığı ve çözüm yöntemi yer almaktadır.

Tablo 2.1. Literatürde Yer Alan Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri

Yazarlar (Yıl)	Problemin Türü	Amaç Fonksiyonu	Matematiksel Model Var / Yok	Çözüm Yöntemi
Schrage(1981)	Uygulamada karşılaşılan rotalama problemlerinin özellikleri sınıflandırılmıştır.	-	Yok	-
Bodin, Golden, Assad ve Ball (1981)	AUARP	Toplam taşıma süresinin en küçüklenmesi	Yok	AUARP için ilk çözüm yöntemi önerilmiştir. FedEx tarafından yapılan uçak rotaları için Clarke ve Wright algoritmasının uyarlanmış bir versiyonu önerilmiştir.
Sarikilis ve Powel (2000)	Kapasite kısıtlı AUARP	Toplam taşıma maliyetlerinin ve yeni bir araç kullanmanın maliyetinin en küçüklenmesi	Yok	Problemin çözümü için minimum örten ağaç (minimum spanning tree) yöntemi ve cezalandırma prosedürüne dayanan, iki aşamalı önce kümele sonra rotala sezgisel algoritması önerilmiştir.
Brandão (2004)	Araç kapasitesi ve maksimum rota uzunluğu kısıtlı AUARP	Toplam gidilen mesafenin (ya da rota süresinin) ve kullanılan araç sayısının en küçüklenmesi	Yok	Problemin çözümü için komşuluk yapısının rotalar arası eklemeler ve yer değiştirmelerle tanımlandığı yasaklı arama algoritması önerilmiştir.
Fu, Eglese ve Li (2005)	Araç kapasitesi ve maksimum rota uzunluğu kısıtlı AUARP	Toplam kullanılan araç sayısının ve gidilen toplam mesafe maliyetinin en küçüklenmesi (Öncelik araç sayısının en küçüklenmesine verilmiştir.)	Yok	Yasaklı arama sezgiseli uygulanmıştır. Başlangıç çözümü "en uzak olan önce" sezgiseli ile oluşturulmuştur.
Tarantilis, Ioannou, Kiranoudis ve Prastacos (2005)	Çok depolu AUARP	Toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi	Yok	Liste tabanlı eşik kabul (LBTA) algoritması kullanılmıştır. Çözüm algoritmalarında kenar ve düğüm değişimine dayanan tek parametrelili metasezgisel metodu uygulanmıştır.

Tablo 2.1. (Devam) Literatürde Yer Alan Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri

Aksen, Özyurt ve Aras (2007)	Sürücü düğümü ve son teslim zamanı olan AUARP	Gidilen toplam mesafe maliyetinin en küçüklenmesi	Var (Karma tam sayılı programlama)	Çözüm yöntemi olarak açık yasaklı arama adı verilen (open tabu search) yeni bir yasaklı arama sezgiseli oluşturulmuştur.
Repoussis, Tarantilis ve Ioannou (2007)	Zaman pencereli AUARP	Toplam gidilen mesafe maliyetinin ve tüm müşterilere hizmet verecek araç sayısının en küçüklenmesi	Var	Problemin çözümü için açgözlü ileriye bakan (look-ahead) rota yapım sezgisel algoritması kullanılmıştır.
Pisinger ve Ropke (2007)	Zaman pencereli ARP, kapasite kısıtlı ARP, çok depolu ARP, Bölgeye bağımlı (site-dependent) ARP ve açık uçlu araç rotalama problemi ele alınmıştır.	Toplam gidilen mesafenin ve toplam kullanılan araç sayısının en küçüklenmesi	Yok	Çözümlerin boz-ve-onar (destruct-and-repair) yöntemiyle oluşturulduğu uyarlanabilir geniş komşuluk arama sezgisel algoritması önerilmiştir.
Li, Golden ve Wasil (2007)	Standart AUARP ve literatürdeki AUARP algoritmalarının taraması	Toplam araç sayısının ve toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi	Yok	"Record-to-record" gezi algoritması, açık uçlu rotalar için uyarlanmıştır.
Letchford, Lysgaard ve Eglese (2007)	Kapasite kısıtlı AUARP	Toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi	Var	Problemin çözümü için kesin çözüm yöntemlerinden dal-ve-kesme (branch-and-cut) algoritması önerilmiştir.
Pessoa, Poggi de Aragao ve Uchoa (2008)	Kapasite kısıtlı AUARP	Toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi	Yok	Problemin çözümü için kesin çözüm yöntemlerinden dal-kesme-ve-maliyet (branch-cut-and-price) algoritması önerilmiştir.
Derigs ve Reuter (2009)	Standart AUARP	Öncelikle araç sayısının daha sonra toplam rota uzunluğunun en küçüklenmesi	Yok	Yasaklı arama sezgiselinin parametresiz bir türü olan davranış temelli tepe tırmanışı sezgiseli (attribute-based hill climber heuristic) ile çözüm aranmıştır.
Fleszar, Osman ve Hindi (2009)	Araç kapasitesi ve maksimum rota uzunluğu kısıtlı AUARP	Toplam kullanılan araç sayısının ve toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi	Yok	Değişken komşuluk arama sezgiseli
Zachariadis ve Kiranoudis (2010)	Standart AUARP	Öncelikle rota sayısının daha sonra toplam rota uzunluğunun en küçüklenmesi	Yok	Geniş komşulukları araştıran yerel arama metasezgiseli sunulmuştur.

Tablo 2.1. (Devam) Literatürde Yer Alan Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri

Erbao ve Mingyong (2010)	Bulanık talepli AUARP	Planlanan toplam gidilen mesafenin ve rotadaki aksamalardan kaynaklanan ek mesafenin en küçüklenmesi	Var	Problemin çözümü için stokastik simülasyon ve geliştirilmiş diferansiyel evrimsel algoritma birleştirilerek hibrit zeki algoritma kullanılmıştır.
MirHassani ve Abolghasemi (2011)	Kapasite kısıtlı AUARP	Toplam araç sayısının ve her bir aracın rotasının en küçüklenmesi	Var	Parçacık sürü optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.
Yu, Ding ve Zhu (2011)	Kapasite kısıtlı AUARP	Toplam kullanılan araç sayısının ve toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi	Var	Genetik algoritma ve yasaklı aramadan oluşan yeni bir hibrit yöntem kullanılmıştır.
Baños, Ortega, Gil, Márquez ve Toro (2013)	Kapasite kısıtlı ve zaman pencereli AUARP	Toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi ve araç yüklerinin dengeli dağıtılması	Var	Problemin çözümü için evrimsel hesaplama ve tavlama benzetimi algoritmalarını bir arada kullanan Pareto bazlı melez bir yaklaşım önerilmiştir.
Erbao, Mingyong ve Hongming (2014)	Belirsiz taleplerin olduğu AUARP	Toplam taşıma maliyetinin ve karşılanamayan talebin en küçüklenmesi	Var	Modelin çözümü için geliştirilmiş diferansiyel evrimsel algoritma kullanılmıştır.
López-Sánchez, Hernández-Díaz, Vigo, Caballero ve Molina (2014)	AUARP	Toplam kullanılan araç sayısının ve araçta harcanan en uzun sürenin en küçüklenmesi, rota sürelerinin dengelenmesi	Yok	Modelin çözümü için rekabetçi çoklu başlangıç algoritması kullanılmıştır.
Brito, Martínez, Moreno ve Verdegay (2015)	Zaman pencereli ve bulanık kısıtlı Kapalı-Açık ARP	Toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi	Var	Problemin çözümü için bulanık optimizasyon yöntemi ve melez bir metasezgisel önerilmiştir.
Yu, Jewpanya, Redi (2016)	Çapraz sevkiyatlı AUARP	Toplam araç kiralama ve toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi	Var	Problemin çözümü için karma tam sayılı matematiksel oluşturmuşlar ve tavlama benzetimi algoritması kullanılmışlardır.

AUARP için literatürde önerilen çeşitli matematiksel modeller mevcuttur. Bu çalışmalar; Aksen, Özyurt ve Aras (2007, s. 1225); Repoussis, Tarantilis ve Ioannou (2007, s. 358-359); Letchford, Lysgaard ve Eglese (2007, s. 1644); Erbao ve Mingyong (2010, s. 2407-2408); MirHassani ve Abolghasemi (2011, s. 11548-11549); Yu, Ding ve Zhu (2011, 10569); Baños ve diğerleri (2013, s. 287); Erbao, Mingyong ve Hongming (2014, s. 3571) tarafından yapılmıştır.

Aksen, Özyurt ve Aras (2007, s. 1223–1234), araçların depodan harekete başladığı, müşterilere uğradığı ve rotaların sürücü düğümü (OVRP-d) adındaki yerlerde sona erdiği AUARP türü ile ilgilenmişlerdir. Sürücü düğümü denilen yer, sürücünün evi veya aracın gece boyunca kalacağı bir park yeri olabilir. Çalışmada ilgili problem zaman kısıtı olmadan, maksimum rota süreli ve müşterilerin sipariş teslim tarihi ile uyumlu maksimum rota süreli olmak üzere üç şekilde ele alınmıştır. Problem, gidilen toplam mesafe maliyetinin en küçüklendiği karma tam sayılı programlama (mixed integer problem) ile modellenmiştir. Çözüm yöntemi olarak açık yasaklı arama adı verilen (open tabu search) yeni bir yasaklı arama sezgiseli oluşturulmuştur.

Repoussis, Tarantilis ve Ioannou (2007, s. 355-367) zaman pencereli açık uçlu araç rotalama problemini ele almışlardır. Problemin amacı, toplam gidilen mesafe maliyetinin ve tüm müşterilere hizmet verecek araç sayısının en küçüklenmesidir. Bu problem, yalnızca dağıtımın olduğu, yalnızca toplamanın olduğu ve hem dağıtım hem de toplamanın olduğu üç alt probleme ayrılmıştır. Her bir alt problem için matematiksel model oluşturulmuştur. Modelin çözümü için açgözlü ileriye bakan (look-ahead) rota yapım sezgisel algoritması kullanılmıştır.

Letchford, Lysgaard ve Eglese (2007, s. 1642–1651); kapasite kısıtlı AUARP için ilk kesin çözüm veren algoritmayı önermişlerdir. Problemin amacı toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesidir. Önerdikleri dal-ve-kesme (branch-and-cut) algoritması küçük ve orta boyutlu örnekleri optimal olarak çözebilmektedir. Ayrıca yaptıkları çalışmada, kapasite kısıtlı AUARP için tamsayılı programlama modeli sunulmuştur.

Erbao ve Mingyong (2010, s. 2405–2411), bulanık talepli AUARP çalışmışlardır. Bulanık güvenilirlik teorisi temel alınarak bulanık şans-kısıtlı program modeli oluşturmuşlardır. Modelin amacı planlanan toplam gidilen

mesafenin ve rotadaki aksamalardan kaynaklanan ek mesafenin en küçüklenmesidir. Problemin çözümü için stokastik simülasyon ve geliştirilmiş diferansiyel evrimsel algoritma birleştirilerek hibrit zeki algoritma kullanılmıştır.

MirHassani ve Abolghasemi (2011, s. 11547–11551) açık uçlu araç rotalama probleminin tanımını yapmışlar ve daha sonra bu problem için toplam araç sayısının ve her bir aracın rotasının en küçüklendiği matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Bu çalışmada kombinatoriyel çözüm kümesine sahip AUARP'nin çözümü için parçacık sürü optimizasyon (particle swarm optimization-PSO) yöntemi kullanılmıştır.

Yu, Ding ve Zhu (2011, s. 10568–10573), Zhengzhou kömür madeninde taşımalar için açık uçlu araç rotalama problemini ele almışlardır. Çalışmalarında, Sariklis ve Powel (2000, s. 564) tarafından yapılan AUARP'nin tanımına dayanarak bir matematiksel model sunmuşlardır. Ayrıca toplam gidilen mesafenin ve toplam kullanılan araç sayısının en küçükleme amaçlayan AUARP'nin çözümü için genetik algoritma ve yasaklı aramadan oluşan yeni bir melez yöntem kullanmışlardır.

Baños ve diğerleri (2013, s. 286–296), açık uçlu araç rotalama problemini kapasite kısıtlı ve zaman pencereli olarak ele almışlardır. Bu problemde toplam gidilen mesafenin en küçükleme ve araçların tüm müşterilere belirli bir zaman içinde dağıtım yapması esas alınmıştır. Çalışmanın amacı, gidilen mesafenin en küçükleme yanında, araç yüklerinin dengeli dağıtılması olarak belirlenmiştir. Bahsedilen iki amacı en iyilemeye dayanan bir model ortaya konulmuştur. Bu modelin çözümü için evrimsel hesaplama (evolutionary computation) ve tavlama benzetimi (simulated annealing) algoritmalarını bir arada kullanan Pareto bazlı melez bir yaklaşım önerilmiştir.

Erbao, Mingyong ve Hongming (2014, s. 3569–3575), belirsiz taleplerin olduğu açık uçlu araç rotalama problemini ele almışlardır. Toplam taşıma maliyetinin ve karşılanamayan talebin en küçükleme amaçlayan gürbüz (robust) bir model önermişlerdir. Belirsiz talepler için dört farklı strateji geliştirilmiştir. Modelin çözümü için geliştirilmiş diferansiyel evrimsel algoritma kullanılmıştır.

AUARP'nin temel modelini referans alarak çözüm yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar aşağıda anlatılmıştır.

Sariklis ve Powell (2000, s. 564-573), AUARP'nin çözümü için iki aşamalı algoritma önermişlerdir. Algoritmanın ilk aşamasında müşteriler, araç kapasite kısıtı dikkate alınarak ve en az sayıda küme oluşturulmaya çalışılarak kümelere atanmaktadır. Belirli kurallar çerçevesinde müşterilerin atandığı kümeler değiştirilmiş ve toplam taşıma maliyetleri düşürülmüştür. İkinci aşamada her bir küme için minimum örten ağaç (minimum spanning tree) yöntemi uygulanmış ve daha sonra bir dizi işlemle açık uçlu rotalara dönüştürülmüştür.

Brandão (2004, s. 552-564); Fu, Eglese ve Li (2005, s. 267-274) araç kapasitesi ve maksimum rota uzunluğu kısıtlı AUARP için yasaklı arama sezgiseli uygulamışlardır. Brandão, komşuluk yapısının rotalar arası eklemeler (insertion) ve yer değiştirmelerle (swap) tanımlandığı yasaklı arama algoritması önermiştir. Bu algortmada olursuz (infeasible) ara çözümlerin engellenmesi için amaç fonksiyonuna ceza uygulanmıştır. Fu, Eglese ve Li tarafından önerilen algortmada, başlangıç çözümü "en uzak olan önce" sezgiseli ile oluşturulmuştur. Adımlar, aynı rotadaki ya da rotalar arasındaki düğümlerin yeniden atanması, düğümlerin yer değiştirmesi (swap), 2-opt ve 'tails' swap metotlarının kombinasyonu olan ikili yer değiştirme metoduna dayanmaktadır.

Tarantilis ve diğerleri (2005, s. 588-596), çok depolu AUARP'nin çözümü için liste tabanlı eşik kabul (LBTA) algoritmasını önermişlerdir. Tartantilis ve diğerleri, ele aldıkları problemde araç sayısının en küçüklenmesi ya da rota uzunluğuna üst sınır konulması durumları olmadan yalnızca toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesini amaçlamışlardır. Çözüm algortmalarında kenar ve düğüm değişimine dayanan tek parametrelili metasezgisel metodu kullanmışlardır.

Pisinger ve Ropke (2007, s. 2403 - 2435), çözümlerin boz-ve-onar (destruct-and-repair) yöntemiyle oluşturulduğu uyarlanabilir geniş komşuluk arama sezgisel algoritması önermişlerdir. Bu algortmada müşteriler çözümden rasgele çıkartılıp en ucuz sonucu verecek uygun rotaya yeniden atanmaktadır. Bir çözümden diğerine geçiş tavlama benzetimi yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Li, Golden ve Wasil (2007, s. 2918 - 2930), standart ARP için geliştirilen ve tavlama benzetimine dayanan "record-to-record" gezi algortmasını, açık uçlu rotalar için uyarlamışlardır. Bu

algoritma ile 200 düğümünden 480 düğüme kadar olan büyük boyutlu test problemlerini çözmüşlerdir.

Pessoa, Poggi de Aragao ve Uchoa (2008, s. 297-325) kapasite kısıtlı AUARP için kesin çözüm veren dal-kesme-ve-maliyet (branch-cut-and-price) algoritmasını önermişlerdir. Derigs ve Reuter (2009, s. 1658-1669) yasaklı arama sezgiseli; Fleszar, Osman ve Hindi (2009, s. 803-809) değişken komşuluk arama sezgiseli sunmuşlardır. Zachariadis ve Kiranoudis (2010, s. 712-23) geniş komşulukları araştıran yerel arama metasezgiseli sunmuşlardır.

López-Sánchez, Hernández-Díaz, Vigo, Caballero ve Molina (2014, s. 104-113) yaptıkları çalışmada İspanyada faaliyet gösteren uluslararası bir şirkete ait gerçek hayat problemini ele almışlardır. Şirkete ait ev ile iş arasında hizmet veren servis rotalarını optimize eden bu çalışmada, AUARP'nin bir türevi olan ve bir kişinin araçta harcadığı en büyük zamanı en küçükleyen probleme çözüm aranmaktadır. Çalışmanın amacı, kullanılan araç sayısının en küçüklenmesidir. Ayrıca araçta geçirilen en uzun sürenin en küçüklenmesi ve rota sürelerinin dengelenmesi istenmektedir. Bu amaçla kısa sürede kaliteli sonuçlar veren rekabetçi çoklu başlangıç algoritması önerilmiştir. Literatürdeki okul servisi rotalama problemleri ve gerçek hayat verileri kullanılarak algoritmanın etkililiği test edilmiştir.

Brito, Martínez, Moreno ve Verdegay (2015, s. 154-163), klasik ARP'nin bir türü olan Kapalı-Açık Uçlu Araç Rotalama Problemini ele almışlardır. Çalışmada zaman penceresi ve kapasite kısıtları bulanık kısıtlar olarak modellenmiştir. Problemin amacı, toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesidir. Problemin çözümü için bulanık optimizasyon yöntemi ve melez bir metasezgisel önerilmiştir.

Yu, Jewpanya, Redi (2016, s. 6-17), tek bir ürün ve tek bir çapraz sevkiyat noktasının olduğu, çapraz sevkiyatlı (cross-docking) AUARP'yi dikkate almışlardır. Çalışmanın amacı toplam araç kiralama ve toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesidir. Bu amaca yönelik karma tam sayılı matematiksel oluşturmuşlar ve problemin çözümü için tavlama benzetimi algoritması kullanmışlardır.

2.3. Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi (ÇP-ARP)

Periyodik araç rotalama probleminde müşteriler servis sıklığı ve uygun ziyaret günleri kombinasyonları belirlemektedirler; çok periyotlu araç rotalama probleminde ise servis sıklığı bire eşittir ve ziyaret kombinasyonları ardışık günlerden oluşmaktadır (Wen ve diğerleri, 2010, s. 1615–1623).

Mancini (2016, s. 100-112), araç rotalama probleminin gerçek hayatta karşılaşılan türlerinden bahsettiği çalışmada planlama dönemini şu şekilde tarif etmiştir:

“Klasik ARP’de tek bir planlama dönemi mevcutken, gerçek hayat problemlerinde birden fazla periyottan oluşan planlama dönemleri söz konusudur. Bir müşteriye sadece bu dönemlerin bir alt kümesinde hizmet verilebilir. Bazı müşteriler birden fazla dönem boyunca hizmet isteyebilir. Bazı uygulamalarda, müşterilere hizmet sağlanan dönemlerin sayısı problemin bir değişkeni haline gelir” (Mancini, 2016, s. 101).

Tablo 2.2’de literatürde yer alan ÇP-ARP problemleri için; çalışmanın yazar(lar)ı, yılı, problemin türü, amaç fonksiyonu, matematiksel modelin olup olmadığı ve çözüm yöntemi yer almaktadır.

Tablo 2.2. Literatürde Yer Alan Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemleri

Yazarlar (Yıl)	Problemin Türü	Amaç Fonksiyonu	Matematiksel Model Var / Yok	Çözüm Yöntemi
Angelelli, Speranza ve Savelsbergh (2007-a)	Dinamik Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Planlama dönemi boyunca gidilen toplam mesafenin en küçüklenmesi.	Yok	Problemin çözümü için IMMEDIATE, DELAY ve SMART(p) olmak üzere üç algoritma önerilmiştir. Bu algoritmalar rekabetçi oranları (competitive ratio) ile analiz edilmiştir.
Angelelli, Savelsbergh ve Speranza (2007-b)	Dinamik Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Tüm periyotlar boyunca toplam maliyetlerin en küçüklenmesi	Yok	Çalışmada IMMEDIATE, DELAY ve SMART olmak üzere üç algoritma analiz edilmiştir. SMART algoritmasının diğer iki algoritmadan daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.
Angelelli, Bianchessi, Mansini ve Speranza (2009)	Dinamik Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Tüm periyotlar boyunca toplam servis maliyetlerinin en küçüklenmesi: Ertelenen talep sayısının en küçüklenmesi, toplam gidilen rota uzunluğunun en küçüklenmesi.	Yok	Çalışmada öncelikle kısa dönem stratejileri belirlenmiş, daha sonra bu stratejilerin uzun dönem hedefi üzerine etkileri incelenmiştir. Her bir kısa dönem stratejisi için bir optimizasyon problemi oluşturulmuştur. Optimizasyon problemleri değişken komşuluk arama sezgiseli ile çözülmüştür.
Wen, Cordeau, Laporte ve Larsen (2010)	Dinamik Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Toplam yolculuk maliyeti ve toplam müşteri beklemesinin en küçüklenmesi, planlama dönemi boyunca günlük iş yükünün dengelenmesi	Var	Problem, karma tam sayılı doğrusal programlama ile modellenmiştir. Çözümü için üç aşamalı sezgisel bir yöntem önerilmiştir. Problemdeki çok amaçlı yapı skalerleştirme tekniğiyle ele alınmıştır.
Albareda-Sambola, Fernández ve Laporte (2014)	Dinamik Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Toplam net karın (Toplanan kar - taşıma maliyetleri) en büyüklenmesi	Var	Problemin çözümü için Team Orienteering Problem için önerilen VNS algoritmasının sezgisel olarak uyarlandığı bir algoritma önerilmiştir.

Tablo 2.2. (Devam) *Literatürde Yer Alan Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemleri*

Dayarian, Crainic, Gendreau ve Rei (2015)	Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi	Var	İki aşamalı öncü (priori) optimizasyon yaklaşımına dayanan matematiksel bir model önerilmiştir. Küme bölümlenme (set partitioning) tabanlı formülasyon dal-ve-maliyet (branch-and-price) yöntemiyle çözülmüştür. Alt problem için dinamik programlama tabanlı etiket düzeltme (label-correcting) algoritmasının uyarlanmış bir versiyonu önerilmiştir.
Mancini (2016)	Çok Depolu Çok Periyotlu Heterojen Filolu Araç Rotalama Problemi	Toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi	Var	Problem karma tam sayılı programlama ile modellenmiştir. Problemin çözümü için uyarlanabilir geniş komşuluk arama tabanlı metasezgisel bir yöntem önerilmiştir.
Archetti, Jabali ve Speranza (2015)	Teslim Zamanlı Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Toplam mesafe maliyetleri, depoda tutma maliyetleri ve ertelemelerden kaynaklı ceza maliyetlerinin en küçüklenmesi	Var	Alternatif formülasyonlar sunulmuştur ve bu formülasyonlar dal-ve-kesme (branch-and-cut) algoritmasıyla çözülmüştür.

Angelelli, Speranza ve Savelsbergh (2007, s. 308-317), dinamik çok periyotlu araç rotalama probleminin özel bir durumunu çalışmışlardır. Bu problemde, müşteri talepleri önceden bilinmektedir ve her bir sipariş için iki ardışık ziyaret günü bulunmaktadır ve kapasite kısıtı olmayan yalnız bir araç mevcuttur. Problemde, müşterilerin talepleri ilgili zaman periyodunda karşılanabilir veya ertelenebilir. Müşterilerle ilgili gelecek dönemlerin bilgisi mevcut değildir. Hangi müşterilere servis verileceği kararlaştırıldıktan sonra optimal rota hesaplanmaktadır. Problemin amacı planlama dönemi boyunca toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesidir. Çalışmada IMMEDIATE, DELAY ve SMART(p) olmak üzere üç algoritma önerilmiştir. Bu algoritmalar rekabetçi oranları (competitive ratio) ile analiz edilmiştir. IMMEDIATE algoritmasında bütün talepler geldikleri dönemde gönderilmektedir. DELAY algoritmasında ertelenebilen tüm talepler ertelenmektedir. SMART(p) algoritmasında ise talepler erteleme kriterine göre ertelenmekte veya hemen gönderilmektedir. Çalışmada bu algoritmaların işleyişi ve etkinliğiyle ilgili teoremler ve ispatlar sunulmuş, herhangi bir uygulama yapılmamıştır.

Angelelli, Speranza ve Savelsbergh tarafından çalışılan problem Angelelli, Savelsbergh ve Speranza (2007, s. 713-721) tarafından genişletilmiştir. Genişletilmiş versiyonda sabit bir araç filosu mevcuttur ve çevrimiçi talepler gün boyunca yeniden optimize edilmek üzere ele alınmaktadır. Araçlar hareket halindeyken gün boyunca gelen siparişler, çevrimiçi sipariş olarak ele alınmaktadır. Çevrimiçi siparişler ertelenebilir ya da ertelenemez siparişler olabilir. Çalışmada IMMEDIATE, DELAY ve SMART(p) algoritmaları analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, planlama dönemi iki zaman periyoduyla kısıtlandığı durumda SMART algoritmasının optimal sonuç verdiği görülmüştür. Zaman periyodunun ikiden fazla olduğu durumlarda ise SMART algoritmasının optimal olmadığı ancak IMMEDIATE ve DELAY algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Angelelli ve diğerleri (2009, s. 106-119) yaptıkları çalışmada dinamik çok periyotlu rotalama problemi çalışmışlardır. Sınırlı bir zaman periyodunda, kapasite kısıtı olmayan bir araç filosuyla gelen çevrimiçi taleplerin karşılanmasını ele almışlardır. Gelen taleplerin bazıları ertelenebilir, bazıları ertelenemez taleplerdir. Çalışmanın amacı tüm dönem boyunca toplam servis maliyetlerinin en

küçüklenmesidir. Burada hiyerarşik bir amaç kullanılmış ve öncelikle ertelenen talep sayısının en küçüklenmesi, daha sonra toplam gidilen rota uzunluğunun en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada öncelikle kısa dönem stratejileri belirlenmiş, daha sonra bu stratejilerin uzun dönem hedefi üzerine etkileri incelenmiştir. Her bir kısa dönem stratejisi için bir optimizasyon problemi oluşturulmuştur. Optimizasyon problemleri değişken komşuluk arama sezgiseli ile çözülmüştür.

Wen ve diğerleri (2010, s. 1615–1623) dinamik çok periyotlu araç rotalama problemini ele almışlardır. Çalışmada talepler günlük olarak karşılanmak üzere çizelgelenmekte ve bazı talepler karşılanırken bazıları daha sonra karşılanmak üzere bekletilmektedir. Bekletilen ve yeni gelen talepler ise bir sonraki gün çizelgelenmek üzere ele alınmaktadır. Bu çalışmada, çizelgeleme boyunca her bir müşterinin yalnız bir kez talebi gelmektedir. Çalıştıkları problemin amacı, toplam yolculuk maliyetleri ve toplam müşteri bekleme süresinin en küçüklenmesi ile planlama dönemi boyunca günlük iş yükünün dengelenmesidir. Problem karma tam sayılı doğrusal programlama ile modellenmiştir. Problemdeki çok amaçlı yapı skalerleştirme tekniğiyle ele alınmıştır. Çözümü için üç aşamalı sezgisel bir yöntem önerilmiştir.

Albareda-Sambola, Fernandez ve Laporte (2014, s. 31-39), dinamik çok periyotlu araç rotalama problemini olasılıksal verilerle ele almışlardır. Talepler, bir planlama döneminin çeşitli zaman periyotlarından oluşan zaman penceresinde karşılanmalıdır. Dağıtım maliyetini azaltmak için ilgili zaman penceresinde her bir isteğin en iyi zaman periyodunun tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Gelecek zaman periyotlarında ortaya çıkacak taleplerde müşterilerin zaman penceresi ve uzaklık bilgileri olasılıksal olarak bilinmektedir. Problemin çözümünde tüm siparişlerin ilgili zaman penceresinin başında karşılanması (erken gönderme) ve tüm siparişlerin ilgili zaman penceresinin sonunda karşılanması (geç gönderme) şeklinde iki temel politika göz önüne alınmıştır. Problemde rotalar depoda başlayıp depoda bitmektedir. Talepler bölünemez, araçlar kısıtlı kapasiteye sahiptir ve zaman penceresi kısıtı vardır. Bir uyum indeksi türetilmiştir ve bu indeks ile servisi ertelemenin ve iki müşterinin (i ve j) taleplerinin birlikte karşılanmasının potansiyel faydası hesaplanmaktadır. Team Orienteering Problem için önerilen VNS

algoritmasının sezgisel olarak uyarlandığı bir algoritma bu problemin çözümü için önerilmiştir. Bu algoritma uzun dönemde önemli ölçüde maliyet azalması sağlayabilmektedir.

Dayarian ve diğerleri (2015, s. 167-184), çok periyotlu araç rotalama problemi çalışmışlardır. Farklı depolardan çıkan araçlar süt üreticilerinin çiftliklerinden topladıkları sütleri üretim tesislerine teslim etmektedirler. Her bir araç çiftliklerin bir alt kümesini ziyaret edip yalnızca bir üretim tesisine sütleri bırakmaktadır. Probleme kaynağın mevsimsel değişimi dikkate alınmıştır. Problemin amacı toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesidir. Çalışmada iki aşamalı öncü (priori) optimizasyon yaklaşımına dayanan matematiksel bir model önerilmiştir. Küme bölümlenme (set partitioning) tabanlı formülasyon dal-ve-maliyet (branch-and-price) yöntemiyle çözülmüştür. Alt problem için dinamik programlama tabanlı etiket düzeltme (label-correcting) algoritmasının uyarlanmış bir versiyonu önerilmiştir.

Mancini (2016, s. 100-112), gerçek hayatta karşılaşılabilecek kapsamda, çok depolu çok periyotlu heterojen filolu araç rotalama problemini ele almıştır. Problemin amacı toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesidir. Heterojen filo farklı kapasite ve özelliklere sahip araçlardan oluşmakta ve saatlik maliyet dikkate alınmaktadır. Klasik çok depolu ARP'den farklı olarak tüm müşterilerin talepleri tüm araçlar ve depolar tarafından karşılanamaz. Sürücülerin sabit maliyeti ve sürüş zamanına bağlı değişken maliyeti bulunmaktadır. Çok depolu olan bu problemde araçlar rotalarını başladıkları depodan farklı bir depoda bitirebilirler. Problem karma tam sayılı programlama ile modellenmiştir. Problemin çözümü için uyarlanabilir geniş komşuluk arama tabanlı metasezgisel bir yöntem önerilmiştir.

Archetti, Jabali ve Speranza (2015, s. 122-134) çok periyotlu ve teslim zamanlı araç rotalama problemi üzerine çalışmışlardır. Çalıştıkları problemde müşterilere en erken ve en geç teslim zamanları arasında dağıtım yapılması gerekmektedir. Son teslim zamanı belirli bir planlama dönemini geçtiğinde ceza maliyeti uygulanmaktadır. Araçların kapasite kısıtı vardır. Problemin amacı; taşıma maliyeti, stok maliyeti ve ceza maliyetini içeren dağıtım maliyetlerini en küçükleyen araç rotalarının gün bazında belirlenmesidir. Problemin matematiksel modeli oluşturulmuş ve dal-ve-kesme (branch-and-cut) algoritmasıyla çözülmüştür.

Problem; akış tabanlı, atama değişkenleri içeren akış tabanlı ve yük tabanlı olmak üzere üç farklı şekilde modellenmiştir. Müşterilerin son teslim zamanları genişletildiğinde maliyet kazancı sağlandığı görülmüştür. Bu esneklik aynı zamanda rotalama kararlarının geliştirilmesini ve seyahat edilen uzaklığın azalmasını sağlamıştır. Yeni araç eklemenin operasyonel maliyetler üzerinde herhangi bir iyileştirici etkisi olmamıştır.

3. ÇOK PERİYOTLU VE ERTELENEBİLİR TALEPLİ AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (ÇP-ET-AUARP)

Literatürde açık uçlu araç rotalama problemi ve çok periyotlu araç rotalama problemi için oluşturulan matematiksel modeller mevcuttur. Aşağıda standart AUARP için MirHassani ve Abolghasemi (2011, s. 11548) tarafından oluşturulan model anlatılmıştır. Daha sonra, çok periyotlu ve teslim zamanlı araç rotalama problemini ele alan Archetti, Jabali ve Speranza (2015, s. 124) tarafından yapılan çalışmadaki akış tabanlı model gösterilmiştir. Bu tez kapsamında ele alınan probleme ait iki farklı tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel model oluşturulmuştur. Bu modeller oluşturulurken, Archetti, Jabali ve Speranza (2015, s. 124)'nın akış tabanlı modelinden faydalanılmıştır.

Standart AUARP modeline ait parametreler, karar değişkenleri ve modelin gösterimi MirHassani ve Abolghasemi (2011, s. 11548) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Parametreler:

n: Müşteri sayısı

$V = \{1,2, \dots, n\}$: Müşteriler ve depo kümesi (0 noktası depoyu göstermektedir.)

K: Kullanılabilecek en fazla araç sayısı

q_i : i. müşterinin talebi

c_{ij} : i noktasından j noktasına direkt olarak gitmenin maliyeti

w_k : k. aracın kullanılmasının maliyeti

Karar Değişkenleri:

x_{ij}^k : $\begin{cases} 1 & , k \text{ aracı } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına gidiyorsa} \\ 0 & , \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

z_k : $\begin{cases} 1 & , k \text{ aracı kullanıldıysa} \\ 0 & , \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

Model:

$$\text{EnKüçük } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ij}^k + \sum_{k=1}^K w_k z_k \quad (3.1)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^n x_{ij}^k = 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ij}^k = 1, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

$$x_{ij}^k \leq z_k, \quad \forall k = 1, \dots, K, \forall i = 0, 1, 2, \dots, n, \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{iu}^k - \sum_{j=1}^n x_{uj}^k = 0, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K, \forall u = 1, 2, \dots, n \quad (3.5)$$

$$\sum_{(i,j) \in S \times S} x_{ij}^k \leq |S| - 1, \quad \forall S \subseteq V: 1 \leq |S| \leq n, \forall k \quad (3.6)$$

$$\sum_{j=1}^n q_j \left(\sum_{i=0}^n x_{ij}^k \right) \leq Q, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (3.7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^k \leq 1, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0}^k = 0, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (3.9)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K, \forall i = 0, 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, n \quad (3.10)$$

$$z_k \in \{0, 1\}, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (3.11)$$

Modelde amaç fonksiyonunu ifade eden (3.1) numaralı formül, rota ve araç maliyeti arasındaki ödünleşmeyi göstermektedir. (3.1)'deki ilk kısım her bir aracın depodan başlayan rotasının maliyetini göstermekte, ikinci kısım ise toplam araç kullanma (acquisition) (ya da set-up) maliyetini göstermektedir. (3.2) ve (3.3) numaralı kısıtlar her bir müşteri noktasına ve depoya kesinlikle bir aracın uğramasını garanti etmektedir. Kısıt (3.4) x ve z değişkenlerini ilişkilendirmekte ve her bir müşterinin aktif bir araç tarafından hizmet görmesini kesinleştirmektedir. (3.5) kısıt seti her bir araç rotasının devamlılığını sağlayan akış kısıtlarıdır. (3.6) alt tur engelleme kısıtlarıdır. (3.7) numaralı kısıt her bir araca atanan taleplerin toplamının o aracın kapasitesini aşamayacağını göstermektedir. (3.8) ve (3.9) bir müşteri sıralamasına hizmet vermek üzere yalnızca bir aracın çıkmasını ve depodan

çıkan araçların depoya geri dönmemesini garanti etmektedir. (3.10) ve (3.11) ise x ve z karar değişkenlerini her bir k aracı için tanımlamaktadır.

Archetti, Jabali ve Speranza (2015, s. 124), çalışmalarında çok periyotlu ve teslim zamanlı araç rotalama problemini; akış tabanlı, atama değişkenleri içeren akış tabanlı ve yük tabanlı olmak üzere üç farklı şekilde modellemişlerdir. Akış tabanlı modele ait parametreler, karar değişkenleri ve modelin gösterimi aşağıdaki şekildedir.

Parametreler:

n : Müşteri sayısı

$V = \{1, \dots, n\}$: Müşteriler ve depo kümesi (1 noktası depoyu göstermektedir.)

m : Mevcut araçların sayısı

Q : Araç kapasitesi

q_i : i . müşterinin talebi

r_i : i . müşterinin talebinin hazır olma zamanı

d_i : i . müşterinin son teslim zamanı

p_i : i . müşterisinin talebinin ertelenme ceza maliyeti

h_i : i . müşterisinin talebinin depoda beklediği gün başına elde tutma maliyeti

c_{ij} : i noktasından j noktasına direkt olarak gitmenin maliyeti

$T = \{1, 2, \dots, H\}$: Planlama dönemi

C : Son teslim zamanı H 'den büyük olan müşterilerin kümesi

Karar Değişkeni:

x_{ijk}^t : $\begin{cases} 1 & , k \text{ aracı, } t \text{ gününde } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına gidiyorsa} \\ 0 & , \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

Model:

$$\begin{aligned}
 \text{EnKüçük} \quad & \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{t=r_i}^H c_{ij} x_{ijk}^t + \sum_{i=2}^n h_i \sum_{t=r_{i+1}}^{\min\{d_i, H\}} (t - r_i) \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk}^t \\
 & + \sum_{i \in C} (h_i(H - r_i) + p_i) \left(1 - \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=r_i}^H x_{ijk}^t \right) \quad (3.12)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=r_i}^{d_i} x_{ijk}^t = 1 \quad \forall i \in \{V \setminus \{C, 1\}\} \quad (3.13)$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=r_i}^H x_{ijk}^t \leq 1 \quad \forall i \in \{C\} \quad (3.14)$$

$$\sum_{i=2}^n q_i \sum_{j=1}^n x_{ijk}^t \leq Q \quad \forall k = 1, \dots, m, \forall t = 1, \dots, H \quad (3.15)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk}^t = \sum_{j=1}^n x_{jik}^t \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall k = 1, \dots, m, \forall t = 1, \dots, H \quad (3.16)$$

$$\sum_{(i,j) \in S} x_{jik}^t \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset V \setminus \{1\}, 2 \leq |S| \quad (3.17)$$

$$\forall k = 1, \dots, m, \forall t = 1, \dots, H$$

$$\sum_{j=1}^n x_{1jk}^t \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, m, \forall t = 1, \dots, H \quad (3.18)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{j1k}^t \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, m, \forall t = 1, \dots, H \quad (3.19)$$

$$x_{ijk}^t \in \{0,1\} \quad \forall i, j = 1, \dots, n, \forall k = 1, \dots, m, \forall t = 1, \dots, H \quad (3.20)$$

Amaç fonksiyonu (3.12) taşıma maliyetini ele almaktadır.

$$\sum_{i=2}^n h_i \sum_{t=r_{i+1}}^{\min\{d_i, H\}} (t - r_i) \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk}^t \quad (3.21)$$

Amaç fonksiyonunda yer alan, (3.21) ifadesi planlama döneminin son günü H 'ye kadar hizmet verilen müşterilerin siparişleri için elde tutma maliyetini göstermektedir.

$$\sum_{i \in C} (h_i (H - r_i)) \left(1 - \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=r_i}^H x_{ijk}^t \right) \quad (3.22)$$

Amaç fonksiyonunda yer alan, (3.22) ifadesi $[1, H]$ aralığında hizmet verilmeyen müşterilerin siparişleri için elde tutma maliyetini göstermektedir.

$$\sum_{i \in C} p_i \left(1 - \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=r_i}^H x_{ijk}^t \right) \quad (3.23)$$

Amaç fonksiyonunda yer alan, (3.23) ifadesi ise planlama döneminin son günü H' 'ye kadar hizmet verilmeyen müşteriler için ceza maliyetini göstermektedir. (3.13) numaralı eşitlik her bir müşterinin talebinin planlama dönemi içinde bir araç tarafından bir günde karşılanmasını sağlamaktadır. (3.14) numaralı kısıt, planlama döneminden sonra gönderilebilecek her bir müşteri siparişinin en fazla talebin hazır olma zamanı ile planlama döneminin son günü arasında gönderilmesi gerektiğini göstermektedir. (3.15) numaralı eşitlikte her bir gün her bir araca atanan sipariş miktarının araç kapasitesini aşmaması durumu gösterilmiştir. (3.16) numaralı eşitlik akış kısıtlarıdır. (3.17), alt tur eleme kısıtlarıdır. (3.18) ve (3.19) numaralı eşitlikler her bir gün her bir aracın en fazla bir tur yapabileceğini ifade etmektedir.

3.1. Problemin Tanımı

Bu tez kapsamında ele alınan çok periyotlu ertelenebilir talepli açık uçlu araç rotalama problemi (ÇP-ET-AUARP), gerçek hayatta karşılaşılan erteleme durumunu ve açık uçlu rotalamayı göz önüne almaktadır. Bu problem türünde, araç rotaları depoda başlayıp bir müşteri noktasında sonlanmaktadır. Bu problemi literatürdeki problemlerden ayıran en önemli farklardan biri, müşteri siparişlerinin geldiği birden fazla günden oluşan belirli bir planlama döneminin göz önüne alınmasıdır. Talepler planlama dönemi boyunca her gün gelmekte, ertelenen talepler varsa yeni gelen talepler ile birleştirilebilmektedir. Rotalama, tüm planlama dönemi göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Bu planlama dönemi boyunca farklı günlerde gelen müşteri siparişlerinin ertelenmesi ve birleştirilmesi söz konusudur. Ertelenen müşteri taleplerinin yeni gelen taleplerle birleştirilmesiyle araç doluluklarında artış ve dolayısıyla taşıma maliyetlerinde azalma sağlanabilir. Ancak erteleme, depoda tutma maliyetlerinin de artmasına neden olmaktadır.

ÇP-ET-AUARP için iki farklı tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. Bu modeller toplam taşıma maliyetlerinin ve toplam elde tutma maliyetlerinin en küçüklendiği optimal çözümü bulmayı amaçlamaktadır.

Birinci model olan ertelemeli modelde aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır.

- 6 günlük müşteri talepleri önceden bilinmektedir. 6. günün sonunda, tüm taleplerin karşılanması gerekmektedir.
- Tüm müşteri talepleri en fazla iki gün ertelenebilir. Bu talepler, 3 gün içerisinde gönderilmek zorundadır.
- Gönderilmeyen talepler için gnderilmedikleri her gün başına elde tutma maliyeti ortaya çıkmaktadır.
- Belirli bir kapasiteye sahip araçlardan oluşan homojen bir filo bulunmaktadır. Bir araca atanan müşteri taleplerinin toplamı, o aracın kapasitesinden fazla olamaz.
- Ertelenen taleplerin yeni gelen taleplerle birleştirilmesi sonucu oluşan birikimli talep, araç kapasitesinden fazla olamaz.
- rnlerin tutulduğu tek bir depo vardır. Deponun kapasitesi, gelen tüm talepleri saklamak için yeterlidir.
- Araçlar müşterilere servis verdikten sonra depoya geri dönmek zorunda değillerdir.

Ertelenmeli model olarak ele alınan birinci modelden yola çıkararak müşterilerin gruplara ayrıldığı ikinci bir matematiksel model önerilmiştir. İkinci modelin varsayımları ertelenmeli model ile aynıdır. Yalnızca ikinci varsayım olan “Tüm müşteri talepleri en fazla iki gün ertelenebilir.” varsayımı yerine aşağıdaki varsayım eklenmiştir.

- Tüm müşteriler ertelenebilme durumlarına göre gruplara ayrılmıştır. Bu gruplar; talebi ertelenemeyen (ok önemli) müşteriler, talebi bir gün ertelenebilen (nemli müşteriler) ve talebi iki gün ertelenebilen (normal) müşteriler şeklinde-dir.

3.2. Problemin nemi

Gerçek hayat uygulamalarında, müşterilerden her gün talepler gelmekte ancak bu taleplerin geldiği gün içerisinde karşılanması her zaman mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda firmalar, acil olmayan siparişleri erteleyebilmektedirler. Buna ek olarak, kendi araç filosuna sahip olmayan ve araçları kiralayan dağıtım firmaları,

kiraladıkları araçların tüm müşterilere hizmet verdikten sonra depoya geri dönüşüyle ilgilenmemektedirler. Bu tür firmalar, AUARP'yi ele almaktadırlar. Bu tez kapsamında yapılan çalışmanın amacı, gerçek hayatta karşılaşılan çok periyotlu araç rotalama, erteleme ve açık uçlu araç rotalama durumlarını göz önünde bulundurmadır.

Literatürde, klasik araç rotalamanın bir çeşidi olan ÇP-ARP farklı çalışmalarda ele alınmıştır. Ancak, bu çalışmalarda açık uçlu araç rotalama ve çok periyotlu araç rotalama bir arada düşünülmemiştir. Bu tezde, bahsedilen çok periyotlu araç rotalama ve açık uçlu araç rotalama problemlerinin bir arada ele alınması çalışmanın literatüre katkılarından biridir.

Literatürde, yer alan bazı ÇP-ARP çalışmalarında erteleme durumu göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmalarda, tüm planlama dönemi boyunca her bir müşterinin talebi yalnızca bir kez gelmektedir.

Angelelli, Speranza ve Savelsbergh (2007, s. 308-317), ele aldıkları çalışmada her bir siparişin geldiği gün gönderilmesi ya da bir sonraki güne ertelenmesi durumunu ele almışlardır. Bu çalışmada kapasite kısıtı olmayan tek bir araç kullanıldığı varsayılmıştır. Angelelli, Savelsbergh ve Speranza (2007, s. 713-721) tarafından yapılan çalışmada ise aynı problem sabit bir araç filosu ile ele alınmıştır. Planlama döneminin iki günden fazla olduğu durumlar da incelenmiştir. Bu problemlerde her gün taleplerin ertelenip ertelenmemesi kararı verilmektedir. Her iki çalışmada da her bir müşteri talebi planlama dönemi boyunca yalnızca bir kez gelmektedir.

Angelelli ve diğerleri (2009, s. 106-119), bir zaman periyodunda, kapasite kısıtı olmayan bir araç filosuyla gelen taleplerin karşılanmasını ele almışlardır. Gelen taleplerin bazıları ertelenebilir, bazıları ertelenemez taleplerdir. Bu çalışmada hiyerarşik bir amaç kullanılmış ve öncelikle ertelenen talep sayısının en küçüklenmesi, daha sonra toplam gidilen rota uzunluğunun en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada ele alınan problemde, yine her bir müşteri talebi planlama dönemi boyunca yalnızca bir kez gelmektedir.

Wen ve diğerlerinin (2010, s. 1615-1623) yaptıkları çalışmada, talepler günlük olarak karşılanmak üzere çizelgelenmekte ve bazı talepler karşılanırken bazıları daha sonra karşılanmak üzere bekletilmektedir. Bekletilen ve yeni gelen

talepler ise bir sonraki gün çizelgelenmek üzere ele alınmaktadır. Bu çalışmada, çizelgeleme boyunca her bir müşterinin yalnız bir kez talebi gelmektedir. Albareda-Sambola, Fernandez ve Laporte (2014, s. 31-39) tarafından yapılan çalışmada, dinamik ÇP-ARP'nin çözümü için bir uyum indeksi türetilerek iki müşterinin taleplerinin birlikte karşılanmasının potansiyel faydası hesaplanmaktadır. Komşu olan müşterilerin taleplerinin aynı zaman periyodunda rotalanması, maliyette azalmaya neden olabileceğinden bazı müşterilerin talepleri ertelenebilmektedir. Mancini (2016, s. 100-112) tarafından yapılan çalışma, her bir müşterinin talebi o müşterinin uygun olduğu zaman aralığında karşılandığından çok periyotlu olarak ele alınmıştır.

Archetti, Jabali ve Speranza (2015, s. 122-134) çok periyotlu ve teslim zamanlı araç rotalama problemi üzerine çalışmışlardır. Problemin amacı; taşıma maliyeti, stok maliyeti ve ceza maliyetini içeren dağıtım maliyetlerini en küçükleyen araç rotalarının gün bazında belirlenmesidir. Bu çalışmanın çok periyotlu olmasının nedeni, birden fazla günden oluşan planlama döneminin bulunmasıdır. Bu planlama dönemi boyunca her bir müşteriden yalnızca bir kez talep gelmekte ve bu talebin geldiği gün gönderilmesi ya da ertelenmesi kararı verilmektedir.

Bahsedilen tüm bu çalışmalarda, birden fazla günden/periyottan oluşan bir planlama dönemi söz konusudur. Bu nedenle çalışmalar çok periyotlu araç rotalama problemi olarak ele alınmıştır. Ayrıca her birinde müşteri taleplerinin geldiği gün gönderilmesi ya da ertelenmesi kararı verilmektedir. Ancak, her bir müşteri talebi tüm planlama dönemi boyunca yalnızca bir kez gelmektedir. Ertelenen talepler, yeni gelen taleplerle birlikte ele alınmakta ve komşu olan müşterilerin taleplerinin aynı zaman periyodunda rotalanması maliyette azalmaya neden olabilmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada, literatürdeki çalışmalara benzer şekilde birden fazla günden/periyottan oluşan bir planlama dönemi ve gelen müşteri talepleri için erteleme kararının verilmesi söz konusudur. Ancak literatürden farklı olarak, bir planlama dönemi boyunca her bir müşterinin birden fazla siparişi olabilmektedir. Farklı günlerde gelen müşteri siparişlerinin ertelenmesi ve birleştirilmesi söz konusudur. Ertelenen talepler yeni gelen taleplerle birlikte ele alınmakta ve komşu olan müşterilerin taleplerinin aynı zaman periyodunda rotalanmasının yanında aynı müşteriden gelen birden fazla talebin birleştirilmesi

durumu da göz önüne alınmaktadır. Bu sayede araç doluluk oranının arttırılması ve taşıma maliyetlerinin azaltılması amaçlanmıştır. Ayrıca, literatürden farklı olarak bu çalışmada kurulan matematiksel modelin müşteri grupları içeren farklı bir türü de önerilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan problemin literatürde en fazla benzerlik gösterdiği çalışma, Archetti, Jabali ve Speranza (2015, s. 122-134) tarafından yapılan çalışmadır. İki çalışma arasındaki en temel farklılıklardan biri, bu tez çalışmasında müşterilerin bir dönem boyunca birden fazla talebinin olabilmesidir. Diğer bir farklılık ise; Archetti, Jabali ve Speranza tarafından yapılan çalışmada erteleme bir planlama dönemini aşabiliyorken, yapılan bu çalışmada bir planlama döneminde gelen tüm talepler karşılanmakta ve erteleme planlama dönemi içindeki günler arasında yapılmaktadır.

Ele alınan problem için oluşturulan matematiksel modellerin gerçek hayatı temsil etmesi, bu modellerin lojistik firmaları tarafından kullanılabilir olmasına olanak tanımaktadır. Ülkemizde araç yakıtları oldukça maliyetlidir ve araçların dolu gitmesi maliyetin azaltılması açısından önemlidir. En kısa mesafeye sahip rotaların oluşturulmasının yanında, araç doluluklarının da arttırılması ile yakıt kullanımının ve dolayısıyla karbon salınımının azalması beklenmektedir. Bu sayede hem çevreye hem de ülke ve dünya ekonomisine katkı sağlanması düşünülmektedir.

Kısaca özetlemek gerekirse; bu çalışmanın katkıları şu şekilde sıralanabilir:

- Bu çalışmada; gerçek hayatta karşılaşılan çok periyotlu araç rotalama, erteleme ve açık uçlu araç rotalama durumları göz önüne alınmaktadır.
- Literatürde, AUARP ve ÇP-ARP'nin bir arada ele alındığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tezde, bahsedilen iki ARP türü bir arada ele alınmaktadır.
- Literatürdeki ÇP-ARP çalışmalarından farklı olarak, bu çalışmada müşterilerin bir planlama dönemi boyunca birden fazla siparişi olabilmektedir. Farklı günlerde gelen müşteri siparişleri ertelenip birleştirilerek araç doluluklarında artış sağlanabilmektedir.
- Ele alınan problem için oluşturulan matematiksel modeller, gerçek hayatı temsil etmektedir ve lojistik firmaları tarafından kullanılabilir.

- En kısa mesafeye sahip rotaların oluşturulmasının yanında, araç doluluklarının da arttırılması ile yakıt kullanımının ve karbon salınımının azaltılacağı düşünülmektedir.

3.3. ÇP-ET-AUARP için Önerilen Matematiksel Modeller

ÇP-ET-AUARP için önerilen modeller; ertelemeli model ve müşteri grupları içeren model şeklindedir.

3.3.1. Ertelemeli model

ÇP-ET-AUARP için önerilen ertelemeli modele ait parametreler, karar değişkenleri ve modelin gösterimi aşağıdaki şekilde verilmiştir.

İndisler

i, j : Talep noktaları ($i, j = 0, 1, \dots, N$), (0 noktası depoyu gösterir.)

k : Araçlar ($k = 1, 2, \dots, K$)

t : Dönem ($t = 1, 2, \dots, T$)

Parametreler

c_{ij} : i noktasından j noktasına gidiş maliyeti

q_{it} : i noktasının t dönemindeki talep miktarı

cap : Araçların kapasitesi (tüm araçların kapasitesi eşittir)

h : Dönem başına elde tutma maliyeti

Karar Değişkenleri

x_{ijkt} : $\begin{cases} 1 & , i \text{ noktasından } j \text{ noktasına } k \text{ aracı } t \text{ döneminde gidiyorsa} \\ 0 & , \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$

y_{ikt} : $\begin{cases} 1 & , i \text{ noktasına } k \text{ aracı } t \text{ döneminde uğruyorsa} \\ 0 & , \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$

d_{it} : t döneminde, i noktasının daha önceki dönemlerde ertelenmiş taleplerinin eklenmesiyle oluşan birikimli talep miktarı

Model:

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T c_{ij} x_{ijkt} +$$

$$h * \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^N d_{it} - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N d_{it} * y_{ikt} \right), i \neq j \quad (3.24)$$

$$q_{it} * \sum_{k=1}^K (y_{ikt} + y_{ik(t+1)} + y_{ik(t+2)}) \geq q_{it},$$

$$\forall i = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T - 2 \quad (3.25)$$

$$\sum_{i=1}^N d_{it} y_{ikt} \leq cap, \forall (k, t) \quad (3.26)$$

$$d_{it} \leq cap, \forall i = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T \quad (3.27)$$

$$d_{it} = q_{it} + \left[d_{i(t-1)} * \left(1 - \sum_{k=1}^K y_{ik(t-1)} \right) \right],$$

$$\forall i = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T \quad (3.28)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ikt} \leq 1, \forall i = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T \quad (3.29)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ijkt} = y_{jkt}, \forall j = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T, i \neq j \quad (3.30)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ijkt} \leq y_{ikt}, \forall (i, k, t), i \neq j \quad (3.31)$$

$$y_{0kt} = 1, \forall (k, t) \quad (3.32)$$

$$e_i - e_j + (N + 1) \sum_{k=1}^K x_{ijkt} \leq N,$$

$$\forall i = 1, \dots, N, \forall j = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T, i \neq j \quad (3.33)$$

Amaç fonksiyonu (3.24), toplam taşıma maliyetleri ve toplam elde tutma maliyetleri olmak üzere iki fonksiyondan oluşmaktadır.

$$f_1 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T c_{ij} x_{ijkt} \quad (3.34)$$

Birinci fonksiyon (3.34); planlama dönemi boyunca hizmet verilen müşteriler için toplam rota maliyetini göstermektedir.

$$f_2 = h * \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^N d_{it} - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N d_{it} * y_{ikt} \right) \quad (3.35)$$

İkinci fonksiyon (3.35) ise; talebi ertelenen müşteriler için, ertelenen tüm günler boyunca elde tutma maliyetini göstermektedir. (3.25) numaralı kısıt, her bir müşterinin talebinin en fazla üç gün içinde gönderilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bir i müşterisinin talebinin ertelenmiş gün sayısı ikiye eşitse, üçüncü gün o müşteriye mutlaka bir araç hizmet vermelidir. (3.26) numaralı kısıt, araç kapasite kısıtıdır. Bir araca atanan taleplerin toplamı, o aracın kapasitesinden fazla olmamalıdır. (3.27) numaralı kısıt, ertelenen taleplerin yeni gelen taleplerle birleştirilmesi sonucu oluşan birikimli talebin araç kapasitesinden fazla olamayacağını ifade etmektedir. (3.28) numaralı kısıt, ertelenen taleplerin yeni gelen taleplerle birleştirilmesi sonucu oluşan birikimli talebi ifade etmektedir. (3.29) numaralı kısıt, taleplerin ertelenebilir olduğunu göstermektedir. Bir t gününde bir i müşterisinin talebi karşılanabilir ya da karşılanmayabilir. (3.30) numaralı kısıt, akış kısıtıdır. Bir müşteriye bir araç hizmet verdiyse, o araç depodan ya da başka bir şehirden gelmiş olmalıdır. (3.31) numaralı kısıt, açık uçlu rotalamayı ifade etmektedir. Bir araç bir müşteriye hizmet verdikten sonra başka bir müşteriye ya da depoya gitmeyebilir. (3.32) numaralı kısıt, tüm rotaların depodan başladığını göstermektedir. (3.33), alt tur eleme kısıtlarıdır.

Bahsedilen modelde, amaç fonksiyonunun ikinci bölümü (3.35) ile (3.26) ve (3.28) numaralı kısıtlarda iki karar değişkeninin çarpımını içeren ifadeler bulunmaktadır. Bu durum modelin doğrusal olmamasına ve çözüm süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bu nedenle iki karar değişkeninin çarpımını içeren fonksiyonlar, doğrusallaştırma metodu kullanılarak doğrusal hale getirilmiştir. Doğrusallaştırma yöntemi 3.4 numaralı bölümde anlatılmıştır.

3.3.2. Müşteri grupları içeren model

ÇP-ET-AUARP için önerilen ertelemeli modelden yola çıkılarak müşteri grupları içeren matematiksel model oluşturulmuştur. Bu gruplar; çok önemli müşteriler, önemli müşteriler ve normal müşteriler şeklindedir. Çok önemli müşterilerin talebi ertelenmeden, geldiği günde gönderilmek zorundadır. Önemli müşterilerin talebi bir gün ertelenebilmektedir. Bu müşterilerin talebi ikinci gün gönderilmek zorundadır. Normal müşterilerin talebi ise iki gün ertelenebilmektedir. Bu müşterilerin talepleri, ertelemeli modelde olduğu gibi en fazla üç gün içinde gönderilmek zorundadır.

Bahsedilen matematiksel model ile ertelemeli modelin amaç fonksiyonu aynıdır. Ayrıca kısıtlardan; (3.26), (3.27), (3.28), (3.29), (3.30), (3.31), (3.32) ve (3.33) ertelemeli modelde ve müşteri grupları içeren modelde aynı şekilde bulunmaktadır. Ertelemeli modelde bulunan (3.25) numaralı kısıt yerine, müşteri grupları içeren modelde üç farklı kısıt bulunmaktadır. Aşağıda, eklenen bu yeni kısıtlar gösterilmiştir.

$$\sum_{k=1}^K y_{ikt} = 1, \forall i \in \text{çok önemli}, \forall t = 1, \dots, T \quad (3.36)$$

$$q_{it} * \sum_{k=1}^K (y_{ikt} + y_{ik(t+1)}) \geq q_{it}, \forall i \in \text{önemli}, \forall t = 1, \dots, T - 1 \quad (3.37)$$

$$q_{it} * \sum_{k=1}^K (y_{ikt} + y_{ik(t+1)} + y_{ik(t+2)}) \geq q_{it}, \\ \forall i \in \text{normal}, \forall t = 1, \dots, T - 2 \quad (3.38)$$

(3.36) numaralı kısıt, çok önemli müşteri grubundaki her bir müşterinin talebinin ertelenemeyeceğini ifade etmektedir. Bu gruptaki müşterilerin talepleri aynı gün içinde gönderilmek zorundadır. (3.37) numaralı kısıt, önemli müşteri grubundaki her bir müşterinin talebinin yalnızca bir gün ertelenebileceğini ifade etmektedir. Bu gruptaki bir i müşterisinin talebinin ertelenmiş gün sayısı bir e eşitse, ikinci gün o müşteriye mutlaka bir araç hizmet vermelidir. (3.38) numaralı kısıt, normal müşteri grubundaki her bir müşterinin talebinin en fazla üç gün içinde gönderilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bu gruptaki bir i müşterisinin talebinin

ertelenmiş gün sayısı ikiye eşitse, üçüncü gün o müşteriye mutlaka bir araç hizmet vermelidir.

Müşteri grupları içeren matematiksel modele ait parametreler, karar değişkenleri ve modelin gösterimi aşağıdaki şekilde verilmiştir.

İndisler

i, j : Talep noktaları ($i, j = 0, 1, \dots, N$), (0 noktası depoyu gösterir.)

k : Araçlar ($k = 1, 2, \dots, K$)

t : Dönem ($t = 1, 2, \dots, T$)

m : Müşteri grubu ($m = \text{çok önemli, önemli, normal}$)

Parametreler

c_{ij} : i noktasından j noktasına gidiş maliyeti

q_{it} : i noktasının t dönemindeki talep miktarı

cap : Araçların kapasitesi

h : Dönem başına elde tutma maliyeti

Karar Değişkenleri

x_{ijkt} : $\begin{cases} 1 & , i \text{ noktasından } j \text{ noktasına } k \text{ aracı } t \text{ döneminde gidiyorsa} \\ 0 & , \text{ diğ er durumlarda} \end{cases}$

y_{ikt} : $\begin{cases} 1 & , i \text{ noktasına } k \text{ aracı } t \text{ döneminde uğ ruyorsa} \\ 0 & , \text{ diğ er durumlarda} \end{cases}$

d_{it} : t döneminde, i noktasının daha önceki dönemlerde ertelenmiş taleplerinin eklenmesiyle oluşan birikimli talep miktarı

Model:

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T c_{ij} x_{ijkt} + h * \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^N d_{it} - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N d_{it} * y_{ikt} \right), i \neq j \quad (3.24)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ikt} = 1, \forall i \in \text{çok önemli}, \forall t = 1, \dots, T \quad (3.36)$$

$$q_{it} * \sum_{k=1}^K (y_{ikt} + y_{ik(t+1)}) \geq q_{it}, \forall i \in \text{önemli}, \forall t = 1, \dots, T-1 \quad (3.37)$$

$$q_{it} * \sum_{k=1}^K (y_{ikt} + y_{ik(t+1)} + y_{ik(t+2)}) \geq q_{it},$$

$$\forall i \in \text{normal}, \forall t = 1, \dots, T-2 \quad (3.38)$$

$$\sum_{i=1}^N d_{it} y_{ikt} \leq \text{cap}, \forall (k, t) \quad (3.26)$$

$$d_{it} \leq \text{cap}, \forall i = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T \quad (3.27)$$

$$d_{it} = q_{it} + \left[d_{i(t-1)} * \left(1 - \sum_{k=1}^K y_{ik(t-1)} \right) \right],$$

$$\forall i = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T \quad (3.28)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ikt} \leq 1, \forall i = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T \quad (3.29)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ijkt} = y_{jkt}, \forall j = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T, i \neq j \quad (3.30)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ijkt} \leq y_{ikt}, \forall (i, k, t), i \neq j \quad (3.31)$$

$$y_{0kt} = 1, \forall (k, t) \quad (3.32)$$

$$e_i - e_j + (N+1) \sum_{k=1}^K x_{ijkt} \leq N,$$

$$\forall i = 1, \dots, N, \forall j = 1, \dots, N, \forall t = 1, \dots, T, i \neq j \quad (3.33)$$

3.4. Doğrusallaştırma Yöntemi

Çok Periyotlu ve Ertelenebilir Talepli Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi için oluşturulan iki matematiksel modelde, amaç fonksiyonunun ikinci bölümü (3.35) ile (3.26) ve (3.28) numaralı kısıtlarda iki karar değişkeninin çarpımını içeren ifadeler

bulunmaktadır. Bu durum modelin doğrusal olmamasına neden olduğundan, bahsedilen fonksiyonlar için doğrusallaştırma metodu uygulanmıştır.

İki karar değişkeninin çarpımını içeren fonksiyonlarda, karar değişkenlerinden en az biri ikili değişken, bir diğeri alt ve üst sınırı olan gerçek sayı ise aşağıdaki işlemler yapılarak model doğrusal hale getirilir.

x ikili değişken, y ise alt sınırı L ve üst sınırı U olan ($L \leq y \leq U$) herhangi bir gerçek sayı olsun.

- (i) Karar değişkenlerinin çarpımını yerine yeni bir değişken tanımlanır: $z = x * y$. Modelde " $x * y$ " olan ifadeler " z " olarak değiştirilir.
- (ii) Modele dört yeni kısıt eklenir:

$$z \leq Ux \quad (3.39)$$

$$z \geq Lx \quad (3.40)$$

$$z \leq y - L(1 - x) \quad (3.41)$$

$$z \geq y - U(1 - x) \quad (3.42)$$

$z = xy$ olduğundan, $x = 0$ olduğunda $z = 0$; $x = 1$ olduğunda $z = y$ olmalıdır. Modele eklenen kısıtlara bakıldığında;

- $x = 0$ durumunda: $z \leq 0$, $z \geq 0$, $z \leq y - L$, $z \geq y - U$ olmaktadır.

Dolayısıyla $z = 0$, $L \leq y \leq U$ olur.

- $x = 1$ durumunda: $z \leq U$, $z \geq L$, $z \leq y$, $z \geq y$ olmaktadır. Dolayısıyla $z = y$, $L \leq y \leq U$ olur.

Doğrusallaştırma metodunun uygulandığı fonksiyonlar aşağıda anlatılmıştır.

- Amaç fonksiyonuna (3.35) uygulanan doğrusallaştırma:

(3.35) fonksiyonunda yer alan $d_{it} * y_{ikt}$ ifadesi yerine yeni bir karar değişkeni tanımlanmıştır: $B_{ikt} = d_{it} * y_{ikt}$. Burada y_{ikt} ikili değişken, d_{it} alt ve üst sınırı olan herhangi bir gerçek sayıdır. d_{it} 'nin alt sınırı "0" üst sınırı ise tüm planlama dönemi boyunca müşterilerden gelen taleplerin toplamı (M) olarak belirlenmiştir. Doğrusallaştırmanın yapılabilmesi için modele aşağıdaki kısıtlar eklenmiş ve fonksiyondaki $d_{it} * y_{ikt}$ ifadesi yerine B_{ikt} yazılmıştır.

$$f_2 = h * \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^N d_{it} - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N B_{ikt} \right) \quad (3.43)$$

$$B_{ikt} \leq U * y_{ikt} \quad (3.44)$$

$$B_{ikt} \geq L * y_{ikt} \quad (3.45)$$

$$B_{ikt} \leq d_{it} - L(1 - y_{ikt}) \quad (3.46)$$

$$B_{ikt} \geq d_{it} - U(1 - y_{ikt}) \quad (3.47)$$

$L = 0 ; U = M$ olduğundan; kısıtlar şu hale gelmektedir:

$$B_{ikt} \leq M * y_{ikt} \quad (3.48)$$

$$B_{ikt} \geq 0 \quad (3.49)$$

$$B_{ikt} \leq d_{it} \quad (3.50)$$

$$B_{ikt} \geq d_{it} - M(1 - y_{ikt}) \quad (3.51)$$

- Kısıt (3.26)'ya uygulanan doğrusallaştırma:

(3.26) fonksiyonunda yer alan fonksiyonunda yer alan $d_{it} * y_{ikt}$ ifadesi yerine daha önce tanımlanan karar değişkeni kullanılmıştır: $B_{ikt} = d_{it} * y_{ikt}$. Doğrusallaştırmanın yapılabilmesi için fonksiyondaki $d_{it} * y_{ikt}$ ifadesi yerine B_{ikt} yazılmıştır. Modele daha önce eklenen kısıtlar, bu fonksiyonda da geçerli olacaktır. Bu nedenle modele yeni kısıt eklenmemiştir.

$$\sum_{i=1}^N B_{ikt} \leq cap, \forall(k, t) \quad (3.52)$$

- Kısıt (3.28)'e uygulanan doğrusallaştırma:

(3.28) fonksiyonunda yer alan $d_{i(t-1)} * (1 - \sum_{k=1}^K y_{ik(t-1)})$ ifadesi yerine yeni bir karar değişkeni tanımlanmıştır: $A_{i(t-1)} = d_{i(t-1)} * (1 - \sum_{k=1}^K y_{ik(t-1)})$. Burada $(1 - \sum_{k=1}^K y_{ik(t-1)})$ ikili değişken, $d_{i(t-1)}$ alt ve üst sınırı olan herhangi bir gerçek sayıdır. $d_{i(t-1)}$ 'nin alt sınırı "0" üst sınırı ise tüm planlama dönemi boyunca müşterilerden gelen taleplerin toplamı (M) olarak belirlenmiştir.

Doğrusallaştırmanın yapılabilmesi için modele aşağıdaki kısıtlar eklenmiş ve fonksiyondaki $d_{i(t-1)} * (1 - \sum_{k=1}^K y_{ik(t-1)})$ ifadesi yerine $A_{i(t-1)}$ yazılmıştır.

$$d_{it} = q_{it} + A_{i(t-1)} \quad (3.53)$$

$$A_{i(t-1)} \leq U(1 - y_{ik(t-1)}) \quad (3.54)$$

$$A_{i(t-1)} \geq L(1 - y_{ik(t-1)}) \quad (3.55)$$

$$A_{i(t-1)} \leq d_{i(t-1)} - Ly_{ik(t-1)} \quad (3.56)$$

$$A_{i(t-1)} \geq d_{i(t-1)} - Uy_{ik(t-1)} \quad (3.57)$$

$L = 0 ; U = M$ olduğundan; kısıtlar şu hale gelmektedir:

$$A_{i(t-1)} \leq M(1 - y_{ik(t-1)}) \quad (3.58)$$

$$A_{i(t-1)} \geq 0 \quad (3.59)$$

$$A_{i(t-1)} \leq d_{i(t-1)} \quad (3.60)$$

$$A_{i(t-1)} \geq d_{i(t-1)} - My_{ik(t-1)} \quad (3.61)$$

4. UYGULAMA

Bu tezde ele alınan ÇP-ET-ARP için iki farklı karma tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel model oluşturulmuştur. Bu modeller bir doğrusallaştırma metodu ile tam sayılı doğrusal modeller haline getirilmiş ve uygulama yapılmıştır. Uygulamada, GAMS 24.7.3 yazılımının BARON çözücüsü kullanılmıştır. Bu çözücü, doğrusal olan modeller için ILOG CPLEX alt çözücüsünü, doğrusal olmayan modeller için ise MINOS, SNOPT, GAMS external NLP, IPOPT ve FILTERSD alt çözücülerini kullanabilmektedir. GAMS yazılımı kodları, ertelemeli model için EK-1’de, müşteri grupları içeren model için EK-2’de verilmiştir. Yazılımı çalıştırmak için kullanılan bilgisayar, Intel® Core™ i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz özellikli işlemciye ve 16,0 GB RAM kapasitesine sahiptir.

ÇP-ET-AUARP için önerilen matematiksel modeller, kendi araç filosuna sahip olmayan ve ürün dağıtımını kiralık araçlarla gerçekleştirilen bir işletme için uygulanmıştır. Bu işletme, bir haftalık müşteri talepleri önceden bilmekte ve hafta başında araç rotalarını oluşturmaktadır. İşletmeden; beş müşteri, yedi müşteri ve dokuz müşteri içeren üç ayrı sipariş veri seti alınarak, önerilen modeller ile probleme çözüm aranmıştır.

Ertelemeli model için alınan veriler; müşterilerin bulunduğu şehirler, kilometre başına harcanan ortalama yakıt maliyeti (1,5TL), bir palet ürünü dönem başına elde tutma maliyeti (10 TL), müşterilerin talep miktarları (palet) ve araç kapasitesinden (20 palet) oluşmaktadır. Şehirlerarası mesafe, T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü’nün internet sitesinde yer alan “İller Arası Mesafe Cetveli” kullanılarak belirlenmiştir. İki şehir arasındaki taşıma maliyeti ise, şehirlerarası mesafe ile kilometre başına harcanan ortalama yakıt maliyeti çarpılarak hesaplanmıştır. Ürünlerin dağıtımının yapıldığı depo, Eskişehir’de bulunmaktadır. Bir haftalık müşteri talepleri içeren beş müşteriden oluşan birinci veri seti Tablo 4.1’de, yedi müşteriden oluşan ikinci veri seti Tablo 4.2’de, dokuz müşteriden oluşan üçüncü veri seti ise Tablo 4.3’te gösterilmiştir. Tablolardaki talepler palet cinsinden verilmiştir.

Tablo 4.1. Bir Haftalık Müşteri Talepleri – Birinci Veri Seti

Şehir	Müşteri No.	Talepler					
		1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün	6. Gün
ANKARA	1	9	4	5	0	9	10
GAZİANTEP	4	0	15	0	5	0	0
İSTANBUL	5	11	9	10	7	12	15
İZMİR	6	8	7	3	10	9	0
KOCAELİ	7	8	4	6	3	0	0

Tablo 4.2. Bir Haftalık Müşteri Talepleri – İkinci Veri Seti

Şehir	Müşteri No.	Talepler					
		1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün	6. Gün
ANKARA	1	9	4	5	0	9	10
DIYARBAKIR	3	0	15	0	0	0	0
GAZİANTEP	4	0	15	0	5	0	0
İSTANBUL	5	11	9	10	7	12	15
İZMİR	6	8	7	3	10	9	0
KOCAELİ	7	8	4	6	3	0	0
KARABÜK	9	0	0	0	16	0	0

Tablo 4.3. Bir Haftalık Müşteri Talepleri – Üçüncü Veri Seti

Şehir	Müşteri No.	Talepler					
		1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün	6. Gün
ANKARA	1	9	4	5	0	9	10
AYDIN	2	0	14	0	0	0	0
DIYARBAKIR	3	0	15	0	0	0	0
GAZİANTEP	4	0	15	0	5	0	0
İSTANBUL	5	11	9	10	7	12	15
İZMİR	6	8	7	3	10	9	0
KOCAELİ	7	8	4	6	3	0	0
SAMSUN	8	0	0	7	0	0	7
KARABÜK	9	0	0	0	16	0	0

Müşteri grupları içeren modelin çözümü için yukarıda belirtilen verilere ek olarak her bir müşterinin “çok önemli”, “önemli” ve “normal” müşteri sınıflarından hangisine ait olduğu bilgisi alınmıştır. Müşteri gruplarını gösteren veriler Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.4. Müşteri Grupları

Müşteri Grubu	Müşteri No.	Şehir
Çok Önemli	1	ANKARA
	5	İSTANBUL
	7	KOCAELİ
Önemli	3	DİYARBAKIR
	4	GAZİANTEP
	6	İZMİR
Normal	2	AYDIN
	8	SAMSUN
	9	KARABÜK

Tablo 4.4'te görüldüğü gibi, “çok önemli” müşteri sınıfında üç, “önemli” müşteri sınıfında üç ve “normal” müşteri sınıfında üç müşteri bulunmaktadır.

4.1. Birinci Veri Seti ile Uygulama

Müşterilerin talepleri, araç kapasitesi ve şehirlerarası mesafeler kullanılarak, beş müşterili birinci veri seti, ertelemeli model, literatürde yer alan model ve müşteri grupları içeren model ile çözülmüştür. Literatürde yer alan model, erteleme olmaması ve amaç fonksiyonunun toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi olarak ele alındığı modeldir. Çözümlerin CPU zamanları sırasıyla 1,19 saniye, 0,31 saniye ve 0,69 saniyedir. Ertelemeli model ile elde edilen çözüm sonuçları Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Bir Haftalık Verinin Ertelemeli Model ile Çözüm Sonuçları – Birinci Veri Seti

Dönem	Rota maliyeti	Elde tutma maliyeti	Rota	Ertelenen talep
1. Gün	486	170	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	Ankara, İzmir
2. Gün	-	560	-	Ankara, Gaziantep, İstanbul, İzmir, Kocaeli
3. Gün	349,5	150	Eskişehir – Ankara	Gaziantep
	486		Eskişehir – İstanbul	
	616,5		Eskişehir – İzmir	
4. Gün	319,5	200	Eskişehir – Kocaeli	İstanbul, İzmir, Kocaeli
	1.333,5		Eskişehir – Gaziantep	
	486		Eskişehir – İstanbul	
5. Gün	616,5	120	Eskişehir – İzmir	Ankara, Kocaeli
	349,5		Eskişehir – Ankara	
6. Gün	486	-	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	-
Toplam	5.529	1200	Toplam maliyet:	6.729

Tablo 4.5'te görüldüğü gibi beş müşteri için 6 günde toplam 10 rota oluşturulmuş ve 6 gün boyunca gelen tüm müşteri siparişleri karşılanmıştır. Birinci gün, Ankara ve İzmir illerindeki müşterilerden gelen talepler ertelenerek, ikinci ve üçüncü günlerde gelen taleplerle birleştirilmiştir. İkinci gün bunlara ek olarak Gaziantep, İstanbul ve Kocaeli'ndeki müşterilerin talepleri de ertelenmiştir. Üçüncü gün, Gaziantep'teki müşterinin talebi bir kez daha ertelenmiş ve ertesi gün gönderilmiştir. Dördüncü gün İstanbul ve İzmir'deki müşterilerin talepleri bir gün ertelenip bir sonraki gün gönderilmiş; Kocaeli'ndeki müşterinin talebi ise iki gün ertelenerek altıncı günde gönderilmiştir. Beşinci gün, Kocaeli iline ek olarak Ankara'daki müşteriden gelen talep ertelenerek altıncı günün talebiyle birleştirilmiştir. Çözüm sonucunda toplam rota maliyeti 5.529 TL, ertelemeden kaynaklanan toplam elde tutma maliyeti ise 1.200 TL olarak bulunmuştur. İki maliyetin toplamı 6.729 TL'dir.

Tablo 4.6. Ertelemeli Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Birinci Veri Seti

Dönem	Rota	Toplam Talep	Araç Doluluk Oranı (%)
1. Gün	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	19	95
2. Gün	-	-	-
3. Gün	Eskişehir – Ankara	18	90
	Eskişehir – İstanbul	19	95
	Eskişehir – İzmir	18	90
	Eskişehir – Kocaeli	10	50
4. Gün	Eskişehir – Gaziantep	20	100
5. Gün	Eskişehir – İstanbul	19	95
	Eskişehir – İzmir	19	95
6. Gün	Eskişehir – Ankara	19	95
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	18	90
Ortalama Doluluk Oranı (%)			89,50

Tablo 4.6'da beş müşterili birinci veri setinin ertelemeli model ile çözümü sonucunda elde edilen araç doluluk oranları verilmiştir. 6 günlük planlama dönemi boyunca elde edilen rotaların ortalama araç doluluk oranı %89,50 olarak bulunmuştur.

Ertelemeli model ile çözülen beş müşterili veri seti, erteleme durumu olmadan; başka bir deyişle tüm siparişlerin geldiği gün gönderilmesi kısıtı

kullanılarak yeniden çözülmüştür. Erteleme durumunun olmadığı model, literatürde yer alan modeldir. Elde edilen çözümler Tablo 4.7’de gösterilmiştir. Literatürde yer alan model için yazılan GAMS yazılımı kodları, EK-3’te verilmiştir.

Tablo 4.7. *Bir Haftalık Verinin Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonuçları – Birinci Veri Seti*

Dönem	Rota maliyeti	Rota
1. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
2. Gün	1.350	Eskişehir – Ankara – Gaziantep
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
3. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
4. Gün	1.333,5	Eskişehir – Gaziantep
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
5. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – İstanbul
6. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	486	Eskişehir – İstanbul
Toplam maliyet		10.080

Tablo 4.7’ye bakıldığında, beş müşterili örnek için literatürde yer alan modelin çözümü sonucunda; 6 günde toplam 17 rota olduğu görülmektedir. Çözüm sonucunda toplam rota maliyeti 10.800TL olarak bulunmuştur.

Tablo 4.8’de 5 müşterili birinci veri seti için literatürde yer alan modelin çözümü sonucunda elde edilen araç doluluk oranları verilmiştir. 6 günlük planlama dönemi boyunca elde edilen rotaların ortalama araç doluluk oranı %52,65 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.8. *Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Birinci Veri Seti*

Dönem	Rota	Toplam Talep	Araç Doluluk Oranı (%)
1. Gün	Eskişehir – Ankara	9	45
	Eskişehir – İzmir	8	40
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	19	95
2. Gün	Eskişehir – Ankara – Gaziantep	19	95
	Eskişehir – İzmir	7	35
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	13	65
3. Gün	Eskişehir – Ankara	5	25
	Eskişehir – İzmir	3	15
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	16	80
4. Gün	Eskişehir – Gaziantep	5	25
	Eskişehir – İzmir	10	50
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	10	50
5. Gün	Eskişehir – Ankara	9	45
	Eskişehir – İzmir	9	45
	Eskişehir – İstanbul	12	60
6. Gün	Eskişehir – Ankara	10	50
	Eskişehir – İstanbul	15	75
Ortalama Doluluk Oranı (%)			52,65

Ertelemeli modelde, aynı müşteriye ait farklı günlerde gelen siparişler birleştirilmiş ve ayrı ayrı araçlar yerine tek bir araçla gönderilmiştir. Bu sayede araç doluluk oranları arttırılmış ve toplam rotalama maliyetleri düşürülmüştür.

Müşteri grupları, müşterilerin talepleri, araç kapasitesi ve şehirlerarası mesafeler kullanılarak, önerilen müşteri grupları içeren matematiksel model ile firmaya ait beş müşterili problem çözülmüştür. Elde edilen çözümler Tablo 4.9’da gösterilmiştir. Bu tabloya bakıldığında beş müşteri için 6 günde toplam 14 rota oluşturulduğu ve 6 gün boyunca gelen tüm müşteri siparişlerinin karşılandığı görülmektedir. Ankara, İstanbul ve Kocaeli illerindeki müşteriler “çok önemli” müşteri grubuna ait olduğundan, 6 günlük planlama dönemi boyunca bu müşterilerin talepleri hiç ertelenmemiştir. Gaziantep ve İzmir illerindeki müşteriler “önemli” müşteri grubuna aittir. Sonuçlara bakıldığında bu illerdeki müşterilerin taleplerinin en fazla bir gün ertelenip ikinci gün gönderildiği görülmektedir.

Tablo 4.9. Bir Haftalık Verinin Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonuçları – Birinci Veri Seti

Dönem	Rota maliyeti	Elde tutma maliyeti	Rota	Ertelenen talep
1. Gün	349,5	80	Eskişehir – Ankara	İzmir
	486		Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	
2. Gün	1.350	-	Eskişehir – Ankara – Gaziantep	-
	616,5		Eskişehir – İzmir	
3. Gün	486	30	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	İzmir
	349,5		Eskişehir – Ankara	
4. Gün	486	50	Eskişehir – İzmir	Gaziantep
	616,5		Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	
5. Gün	1.350	-	Eskişehir – Ankara – Gaziantep	-
	486		Eskişehir – İstanbul	
6. Gün	616,5	-	Eskişehir – İzmir	-
	349,5		Eskişehir – Ankara	
Toplam	486	160	Toplam maliyet:	8.674
	8.514			

Tablo 4.9'daki sonuçlara göre; birinci gün, İzmir ilindeki müşteriden gelen talep ertelenerek ikinci gün gelen taleple birleştirilmiştir. İkinci gün gelen taleplerin hiç biri ertelenmemiştir. Üçüncü gün gelen taleplerden İzmir'deki müşterinin talebi, dördüncü gün gelen taleplerden ise Gaziantep'teki müşterinin talebi ertelenmiştir. Bu illerdeki müşterilerin talepleri bir gün ertelenerek ertesi gün gönderilmiştir. Beşinci günde talebi ertelenen müşteri bulunmamaktadır. Çözüm sonucunda toplam rota maliyeti 8.514 TL, ertelemeden kaynaklanan toplam elde tutma maliyeti ise 160 TL olarak bulunmuştur. İki maliyetin toplamı 8.674 TL'dir.

Tablo 4.10'da beş müşterili birinci veri setinin müşteri grupları içeren model ile çözümü sonucunda elde edilen araç doluluk oranları verilmiştir. 6 günlük planlama dönemi boyunca elde edilen rotaların ortalama araç doluluk oranı %63,93 olarak bulunmuştur.

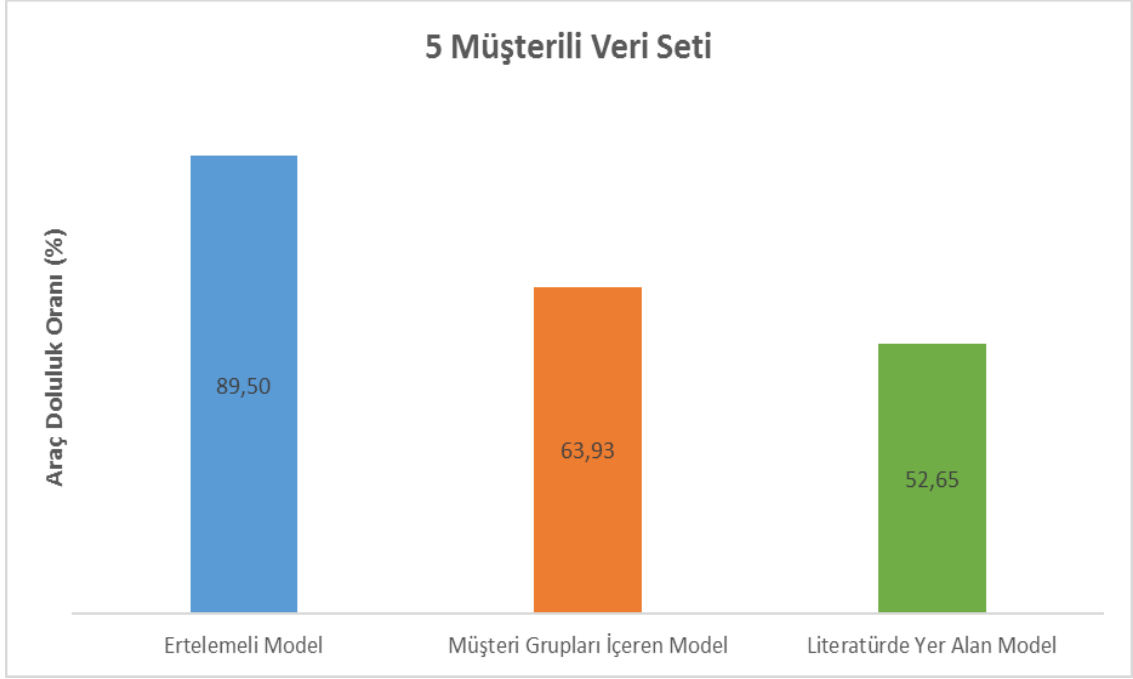
Tablo 4.10. *Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Birinci Veri Seti*

Dönem	Rota	Toplam Talep	Araç Doluluk Oranı (%)
1. Gün	Eskişehir – Ankara	9	45
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	19	95
2. Gün	Eskişehir – Ankara – Gaziantep	19	95
	Eskişehir – İzmir	15	75
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	13	65
3. Gün	Eskişehir – Ankara	5	25
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	16	80
4. Gün	Eskişehir – İzmir	13	65
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	10	50
5. Gün	Eskişehir – Ankara – Gaziantep	14	70
	Eskişehir – İstanbul	12	60
	Eskişehir – İzmir	9	45
6. Gün	Eskişehir – Ankara	10	50
	Eskişehir – İstanbul	15	75
Ortalama Doluluk Oranı (%)			63,93

Verilen örneklerde; ertelemenin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumlardaki rotalama maliyetleri kıyaslandığında, ertelemenin olduğu durumlardaki rotalama maliyetinin daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak, ertelemeden kaynaklanan elde tutma maliyetleri ortaya çıkmıştır ve bu durum firmanın toplam giderlerini arttırmaktadır. Kurulan ertelemeli matematiksel model ve müşteri grupları içeren matematiksel model, siparişlerin elde tutulması ve gönderilmesi arasındaki ödünleşmeye bakmaktadır. Bu nedenle, ertelemenin olduğu durumlardaki toplam maliyet (rotalama + elde tutma), ertelemenin olmadığı duruma göre daha düşüktür.

Müşteri grupları olan modelde talebi hiç ertelenemeyen, bir gün ertelenebilen ve iki gün ertelenebilen müşteriler bulunmaktadır. Erteleme süresinin kısıtlanması, taleplerin birleştirilmesini dolayısıyla araç doluluklarının artmasını da kısıtlayan bir durumdur. Bu nedenle rotalama maliyetlerinde ve problemin toplam maliyetinde (rotalama + elde tutma) artış olmuştur. Verilen örneklerde, ertelemeli model ile müşteri grupları içeren modelin rota maliyetleri kıyaslandığında; müşteri grupları içeren modelin daha yüksek maliyete sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca; müşteri grupları içeren model, ertelemeli modele göre daha fazla toplam maliyete (rotalama + elde tutma) sahiptir.

Beş müşterili veri seti için araç doluluk oranlarının kıyaslandığı grafik Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Model Türlerine Göre Araç Doluluk Oranları Kıyaslaması – Birinci Veri Seti

Şekil 4.1’e bakıldığında beş müşterili birinci veri seti için en yüksek araç doluluk oranının ertelemeli modelde, en düşük araç doluluk oranının ise literatürde yer alan modelde elde edildiği görülmektedir.

4.2. İkinci Veri Seti ile Uygulama

Müşterilerin talepleri, araç kapasitesi ve şehirlerarası mesafeler kullanılarak, yedi müşterili ikinci veri seti, ertelemeli model, literatürde yer alan model ve müşteri grupları içeren model ile çözülmüştür. Çözümlerin CPU zamanları sırasıyla 5,22 saniye, 1,62 saniye ve 3,28 saniyedir.

Ertelemeli model ile elde edilen çözüm sonuçları Tablo 4.11’de gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi yedi müşteri için 6 günde toplam 12 rota oluşturulmuş ve 6 gün boyunca gelen tüm müşteri siparişleri karşılanmıştır.

Tablo 4.11. Bir Haftalık Verinin Ertelemeli Model ile Çözüm Sonuçları – İkinci Veri Seti

Dönem	Rota maliyeti	Elde tutma maliyeti	Rota	Ertelenen talep
1. Gün	486	170	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	Ankara, İzmir
2. Gün	1.692	560	Eskişehir – Diyarbakır	Ankara, Gaziantep İstanbul, İzmir, Kocaeli
3. Gün	349,5	150	Eskişehir – Ankara	Gaziantep
	486		Eskişehir – İstanbul	
	616,5		Eskişehir – İzmir	
	319,5		Eskişehir – Kocaeli	
4. Gün	1.333,5 636	200	Eskişehir – Gaziantep Eskişehir – Karabük	İstanbul, İzmir, Kocaeli
5. Gün	486 616,5	120	Eskişehir – İstanbul Eskişehir – İzmir	Ankara, Kocaeli
6. Gün	349,5 486	-	Eskişehir – Ankara Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	-
Toplam	7.857	1.200	Toplam maliyet:	9.057

Tablo 4.11'deki sonuçlara göre; birinci gün, Ankara ve İzmir illerindeki müşterilerden gelen talepler ertelenerek, ikinci ve üçüncü günlerde gelen taleplerle birleştirilmiş, bu müşterilerin talepleri üçüncü gün gönderilmiştir. İkinci gün bunlara ek olarak Gaziantep, İstanbul ve Kocaeli'ndeki müşterilerin talepleri de ertelenmiştir. Üçüncü gün, Gaziantep'teki müşterinin talebi bir kez daha ertelenmiş ve ertesi gün gönderilmiştir. Dördüncü gün İstanbul ve İzmir'deki müşterilerin talepleri bir gün ertelenip bir sonraki gün gönderilmiş; Kocaeli'ndeki müşterinin talebi ise iki gün ertelenerek altıncı günde gönderilmiştir. Beşinci gün, Kocaeli iline ek olarak Ankara'daki müşteriden gelen talep ertelenerek altıncı günün talebiyle birleştirilmiştir. Çözüm sonucunda toplam rota maliyeti 7.857 TL, ertelemeden kaynaklanan toplam elde tutma maliyeti ise 1.200 TL olarak bulunmuştur. İki maliyetin toplamı 9.057 TL'dir.

Tablo 4.12'de yedi müşterili ikinci veri setinin ertelemeli model ile çözümü sonucunda elde edilen araç doluluk oranları verilmiştir. 6 günlük planlama dönemi boyunca elde edilen rotaların ortalama araç doluluk oranı %87,50 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.12. Ertelemeli Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – İkinci Veri Seti

Dönem	Rota	Toplam Talep	Araç Doluluk Oranı (%)
1. Gün	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	19	95
2. Gün	Eskişehir – Diyarbakır	15	75
3. Gün	Eskişehir – Ankara	18	90
	Eskişehir – İstanbul	19	95
	Eskişehir – İzmir	18	90
	Eskişehir – Kocaeli	10	50
4. Gün	Eskişehir – Gaziantep	20	100
	Eskişehir – Karabük	16	80
5. Gün	Eskişehir – İstanbul	19	95
	Eskişehir – İzmir	19	95
6. Gün	Eskişehir – Ankara	19	95
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	18	90
Ortalama Doluluk Oranı (%)			87,50

Tablo 4.13. Bir Haftalık Verinin Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonuçları – İkinci Veri Seti

Dönem	Rota maliyeti	Rota
1. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
2. Gün	1.708,5	Eskişehir – Ankara – Diyarbakır
	1.333,5	Eskişehir – Gaziantep
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
3. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
4. Gün	1.333,5	Eskişehir – Gaziantep
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
	636	Eskişehir – Karabük
5. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	486	Eskişehir – İstanbul
	616,5	Eskişehir – İzmir
6. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	486	Eskişehir – İstanbul
Toplam maliyet		12.408

Ertelemeli model ile çözülen yedi müşterili veri seti, erteleme durumu olmadan; başka bir deyişle tüm siparişlerin geldiği gün gönderilmesi kısıtı

kullanılarak yeniden çözülmüştür. Elde edilen çözümler Tablo 4.13'te gösterilmiştir. Bu tabloya bakıldığında, yedi müşterili örnek için literatürde yer alan modelin çözümü sonucunda; 6 günde toplam 19 rota olduğu görülmektedir. Çözüm sonucunda toplam rota maliyeti 12.408 TL olarak bulunmuştur.

Tablo 4.14'te yedi müşterili ikinci veri seti için literatürde yer alan modelin çözümü sonucunda elde edilen araç doluluk oranları verilmiştir. 6 günlük planlama dönemi boyunca elde edilen rotaların ortalama araç doluluk oranı %55,26 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.14. *Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – İkinci Veri Seti*

Dönem	Rota	Toplam Talep	Araç Doluluk Oranı (%)
1. Gün	Eskişehir – Ankara	9	45
	Eskişehir – İzmir	8	40
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	19	95
2. Gün	Eskişehir – Ankara – Diyarbakır	19	95
	Eskişehir – Gaziantep	15	75
	Eskişehir – İzmir	7	35
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	13	65
3. Gün	Eskişehir – Ankara	5	25
	Eskişehir – İzmir	3	15
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	16	80
4. Gün	Eskişehir – Gaziantep	5	25
	Eskişehir – İzmir	10	50
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	10	50
	Eskişehir – Karabük	16	80
5. Gün	Eskişehir – Ankara	9	45
	Eskişehir – İstanbul	12	60
	Eskişehir – İzmir	9	45
6. Gün	Eskişehir – Ankara	10	50
	Eskişehir – İstanbul	15	75
Ortalama Doluluk Oranı (%)			55,26

Beş müşterili örnekte olduğu gibi, yedi müşterili örnekte de, ertelemeli modelde aynı müşteriye ait farklı günlerde gelen siparişler birleştirildiğinden araç doluluk oranları arttırılmış ve toplam rotalama maliyetleri düşürülmüştür.

Müşteri grupları, müşterilerin talepleri, araç kapasitesi ve şehirlerarası mesafeler kullanılarak, önerilen müşteri grupları içeren matematiksel model ile firmaya ait yedi müşterili problem çözülmüştür. Elde edilen çözümler Tablo 4.15'te

gösterilmiştir. Bu tabloya bakıldığında yedi müşteri için 6 günde toplam 15 rota oluşturulduğu ve 6 gün boyunca gelen tüm müşteri siparişlerinin karşılandığı görülmektedir. Ankara, İstanbul ve Kocaeli illerindeki müşteriler “çok önemli” müşteri grubuna ait olduğundan, 6 günlük planlama dönemi boyunca bu müşterilerin talepleri hiç ertelenmemiştir. Diyarbakır, Gaziantep ve İzmir illerindeki müşteriler “önemli” müşteri grubuna aittir. Sonuçlara bakıldığında bu illerdeki müşterilerin taleplerinin en fazla bir gün ertelenip ikinci gün gönderildiği görülmektedir. Karabük’teki müşteri ise “normal” müşteri grubuna aittir. Bu müşterinin talebi iki gün ertelenip üçüncü gün gönderilebilmektedir. Ancak verilen örnek için Karabük’teki müşterinin talebinin hiç ertelenmediği görülmektedir.

Tablo 4.15. Bir Haftalık Verinin Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonuçları – İkinci Veri Seti

Dönem	Rota maliyeti	Elde tutma maliyeti	Rota	Ertelenen talep
1. Gün	349,5 486	80	Eskişehir – Ankara Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	İzmir
2. Gün	1.350 616,5 486	150	Eskişehir – Ankara – Gaziantep Eskişehir – İzmir Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	Diyarbakır
3. Gün	1.708,5 486	30	Eskişehir – Ankara – Diyarbakır Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	İzmir
4. Gün	616,5 486 636	50	Eskişehir – İzmir Eskişehir – Kocaeli – İstanbul Eskişehir – Karabük	Gaziantep
5. Gün	1.350 486 616,5	-	Eskişehir – Ankara – Gaziantep Eskişehir – İstanbul Eskişehir – İzmir	-
6. Gün	349,5 486	-	Eskişehir – Ankara Eskişehir – İstanbul	-
Toplam	10.509	310	Toplam maliyet:	10.819

Tablo 4.15’teki sonuçlara göre; birinci gün, İzmir ilindeki müşteriden gelen talep ertelenerek ikinci gün gelen taleple birleştirilmiştir. İkinci gün Diyarbakır’daki müşterinin talebi, üçüncü gün İzmir’deki müşterinin talebi, dördüncü gün ise Gaziantep’teki müşterinin talebi ertelenmiştir. Bu illerdeki müşterilerin talepleri bir gün ertelenerek ertesi gün gönderilmiştir. Beşinci günde talebi ertelenen müşteri bulunmamaktadır. Çözüm sonucunda toplam rota maliyeti 10.509 TL, ertelemeden

kaynaklanan toplam elde tutma maliyeti ise 310 TL olarak bulunmuştur. İki maliyetin toplamı 10.819 TL'dir.

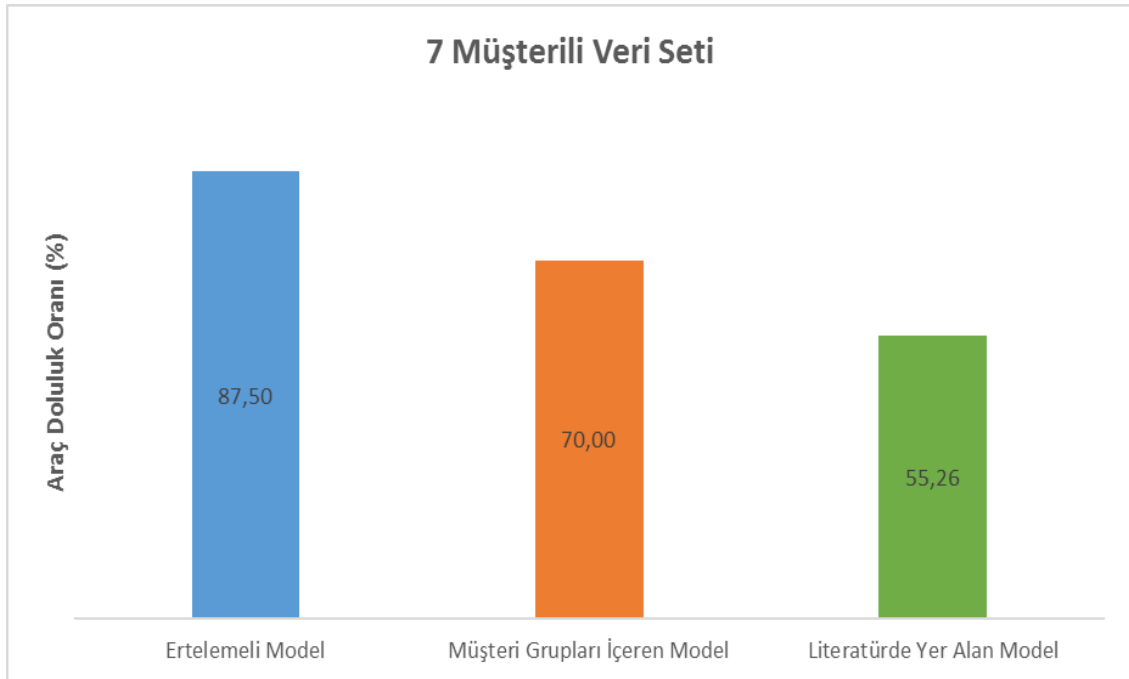
Tablo 4.16'da yedi müşterili ikinci veri setinin müşteri grupları içeren model ile çözümü sonucunda elde edilen araç doluluk oranları verilmiştir. 6 günlük planlama dönemi boyunca elde edilen rotaların ortalama araç doluluk oranı %70,00 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.16. *Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – İkinci Veri Seti*

Dönem	Rota	Toplam Talep	Araç Doluluk Oranı (%)
1. Gün	Eskişehir – Ankara	9	45
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	19	95
2. Gün	Eskişehir – Ankara – Gaziantep	19	95
	Eskişehir – İzmir	15	75
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	13	65
3. Gün	Eskişehir – Ankara – Diyarbakır	20	100
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	16	80
4. Gün	Eskişehir – İzmir	13	65
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	10	50
	Eskişehir – Karabük	16	80
5. Gün	Eskişehir – Ankara – Gaziantep	14	70
	Eskişehir – İstanbul	12	60
	Eskişehir – İzmir	9	45
6. Gün	Eskişehir – Ankara	10	50
	Eskişehir – İstanbul	15	75
Ortalama Doluluk Oranı (%)			70,00

Verilen örneklerde; ertelemenin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumlardaki rotalama maliyetleri kıyaslandığında, ertelemenin olduğu durumlardaki rotalama maliyetinin bu veri setinde de daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak, ertelemeyen kaynaklanan elde tutma maliyetleri ortaya çıkmıştır ve bu durum firmanın toplam giderlerini arttırmaktadır. Kurulan ertelemeli matematiksel model ve müşteri grupları içeren matematiksel model, siparişlerin elde tutulması ve gönderilmesi arasındaki ödünleşmeye bakmaktadır. Bu nedenle, ertelemenin olduğu durumlardaki toplam maliyet (rotalama + elde tutma), ertelemenin olmadığı duruma göre daha düşüktür.

Müşteri grupları olan modelde talebi hiç ertelenemeyen, bir gün ertelenebilen ve iki gün ertelenebilen müşteriler bulunmaktadır. Erteleme süresinin kısıtlanması, taleplerin birleştirilmesini de kısıtlayan bir durumdur. Dolayısıyla, müşteri grupları içeren modelin çözümü sonucunda rotalama maliyetlerinde ve problemin toplam maliyetinde (rotalama + elde tutma) artış olmuştur. Verilen örneklerde, ertelemeli model ile müşteri grupları içeren modelin rota maliyetleri kıyaslandığında; müşteri grupları içeren modelin daha yüksek maliyete sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca; müşteri grupları içeren model, ertelemeli modele göre daha fazla toplam maliyete (rotalama + elde tutma) sahiptir.



Şekil 4.2. Model Türlerine Göre Araç Doluluk Oranları Kıyaslaması – İkinci Veri Seti

Şekil 4.2'ye bakıldığında yedi müşterili veri seti için en yüksek araç doluluk oranının ertelemeli modelde, en düşük araç doluluk oranının ise literatürde yer alan modelde elde edildiği görülmektedir.

4.3. Üçüncü Veri Seti ile Uygulama

Müşterilerin talepleri, araç kapasitesi ve şehirlerarası mesafeler kullanılarak, dokuz müşterili üçüncü veri seti, ertelemeli model, literatürde yer alan model ve

müşteri grupları içeren model ile çözülmüştür. Çözümlerin CPU zamanları sırasıyla 63,52 saniye, 6,83 saniye ve 14,62 saniyedir.

Ertelemeli model ile elde edilen çözüm sonuçları Tablo 4.17’de gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi dokuz müşteri için 6 günde toplam 14 rota oluşturulmuş ve 6 gün boyunca gelen tüm müşteri siparişleri karşılanmıştır.

Tablo 4.17. *Bir Haftalık Verinin Ertelemeli Model ile Çözüm Sonuçları – Üçüncü Veri Seti*

Dönem	Rota maliyeti	Elde tutma maliyeti	Rota	Ertelenen talep
1. Gün	486	170	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	Ankara, İzmir
2. Gün	717 1.692	560	Eskişehir – Aydın Eskişehir – Diyarbakır	Ankara, Gaziantep, İstanbul, İzmir, Kocaeli
3. Gün	349,5 486 616,5 319,5	220	Eskişehir – Ankara Eskişehir – İstanbul Eskişehir – İzmir Eskişehir – Kocaeli	Gaziantep, Samsun
4. Gün	1.333,5 636	270	Eskişehir – Gaziantep Eskişehir – Karabük	İstanbul, İzmir, Kocaeli, Samsun
5. Gün	969 486 616,5	30	Eskişehir – Ankara – Samsun Eskişehir – İstanbul Eskişehir – İzmir	Kocaeli
6. Gün	969 486	-	Eskişehir – Ankara – Samsun Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	-
Toplam	10.162,5	1.250	Toplam maliyet:	11.412,5

Tablo 4.17’de görüldüğü gibi; birinci gün, Ankara ve İzmir illerindeki müşterilerden gelen talepler ertelenerek, ikinci ve üçüncü günlerde gelen taleplerle birleştirilmiş, bu müşterilerin talepleri üçüncü gün gönderilmiştir. İkinci gün bunlara ek olarak Gaziantep, İstanbul ve Kocaeli’deki müşterilerin talepleri de ertelenmiştir. Üçüncü gün, Gaziantep’teki müşterinin talebi bir kez daha ertelenmiş ve ertesi gün gönderilmiştir. Ayrıca Samsun ilindeki müşterinin talebi üçüncü ve dördüncü günlerde ertelenerek beşinci gün gönderilmiştir. Dördüncü gün Samsun’a ek olarak; İstanbul ve İzmir’deki müşterilerin talepleri bir gün ertelenip bir sonraki gün gönderilmiş; Kocaeli’deki müşterinin talebi ise iki gün ertelenerek altıncı günde gönderilmiştir. Çözüm sonucunda toplam rota maliyeti 10.162,5 TL, ertelemeden kaynaklanan toplam elde tutma maliyeti ise 1.250 TL olarak bulunmuştur. İki maliyetin toplamı 11.412,5 TL’dir.

Tablo 4.18’de dokuz müşterili üçüncü veri setinin ertelemeli model ile çözümü sonucunda elde edilen araç doluluk oranları verilmiştir. 6 günlük planlama dönemi boyunca elde edilen rotaların ortalama araç doluluk oranı %85,00 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.18. Ertelemeli Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Üçüncü Veri Seti

Dönem	Rota	Toplam Talep	Araç Doluluk Oranı (%)
1. Gün	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	19	95
2. Gün	Eskişehir – Aydın	14	70
	Eskişehir – Diyarbakır	15	75
3. Gün	Eskişehir – Ankara	18	90
	Eskişehir – İstanbul	19	95
	Eskişehir – İzmir	18	90
	Eskişehir – Kocaeli	10	50
4. Gün	Eskişehir – Gaziantep	20	100
	Eskişehir – Karabük	16	80
5. Gün	Eskişehir – Ankara – Samsun	16	80
	Eskişehir – İstanbul	19	95
	Eskişehir – İzmir	19	95
6. Gün	Eskişehir – Ankara – Samsun	17	85
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	18	90
Ortalama Doluluk Oranı (%)			85,00

Ertelemeli model ile çözülen dokuz müşterili veri seti, erteleme durumu olmadan; yeniden çözülmüştür. Elde edilen çözümler Tablo 4.19’da gösterilmiştir. Bu tabloya bakıldığında, dokuz müşterili örnek için literatürde yer alan modelin çözümü sonucunda; 6 günde toplam 20 rota olduğu görülmektedir. Çözüm sonucunda toplam rota maliyeti 14.364 TL olarak bulunmuştur.

Tablo 4.19. Bir Haftalık Verinin Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonuçları – Üçüncü Veri Seti

Dönem	Rota maliyeti	Rota
1. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
2. Gün	1.350	Eskişehir – Ankara – Gaziantep
	717	Eskişehir – Aydın
	1.692	Eskişehir – Diyarbakır
	616,5	Eskişehir – İzmir
3. Gün	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
	969	Eskişehir – Ankara – Samsun
	616,5	Eskişehir – İzmir
4. Gün	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
	1.333,5	Eskişehir – Gaziantep
	616,5	Eskişehir – İzmir
	636	Eskişehir – Karabük
5. Gün	349,5	Eskişehir – Ankara
	616,5	Eskişehir – İzmir
	486	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul
6. Gün	969	Eskişehir – Ankara – Samsun
	486	Eskişehir – İstanbul
Toplam maliyet		14.364

Tablo 4.20’de dokuz müşterili üçüncü veri seti için literatürde yer alan modelin çözümü sonucunda elde edilen araç doluluk oranları verilmiştir. 6 günlük planlama dönemi boyunca elde edilen rotaların ortalama araç doluluk oranı %59,50 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.20. Literatürde Yer Alan Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Üçüncü Veri Seti

Dönem	Rota	Toplam Talep	Araç Doluluk Oranı (%)
1. Gün	Eskişehir – Ankara	9	45
	Eskişehir – İzmir	8	40
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	19	95
2. Gün	Eskişehir – Ankara – Gaziantep	19	95
	Eskişehir – Aydın	14	70
	Eskişehir – Diyarbakır	15	75
	Eskişehir – İzmir	7	35
3. Gün	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	13	65
	Eskişehir – Ankara – Samsun	12	60
	Eskişehir – İzmir	3	15
4. Gün	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	16	80
	Eskişehir – Gaziantep	5	25
	Eskişehir – İzmir	10	50
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	10	50
5. Gün	Eskişehir – Karabük	16	80
	Eskişehir – Ankara	9	45
	Eskişehir – İzmir	9	45
6. Gün	Eskişehir – İstanbul	12	60
	Eskişehir – Ankara – Samsun	17	85
	Eskişehir – İstanbul	15	75
Ortalama Doluluk Oranı (%)			59,50

Daha önceki örneklerde olduğu gibi, dokuz müşterili örnekte de, ertelemeli modelde siparişlerin birleştirilmesi sonucunda araç doluluk oranları arttırılmış ve toplam rotalama maliyetleri düşürülmüştür.

Önerilen müşteri grupları içeren matematiksel model ile dokuz müşterili veri seti çözülmüştür. Elde edilen çözümler Tablo 4.21’de gösterilmiştir. Bu tabloya bakıldığında dokuz müşteri için 6 günde toplam 16 rota oluşturulduğu ve 6 gün boyunca gelen tüm müşteri siparişlerinin karşılandığı görülmektedir. Ankara, İstanbul ve Kocaeli illerindeki müşteriler “çok önemli” müşteri grubuna ait olduğundan, 6 günlük planlama dönemi boyunca bu müşterilerin talepleri hiç ertelenmemiştir. Diyarbakır, Gaziantep ve İzmir illerindeki müşteriler “önemli” müşteri grubuna aittir. Sonuçlara bakıldığında bu illerdeki müşterilerin taleplerinin en fazla bir gün ertelenip ikinci gün gönderildiği görülmektedir. Aydın, Samsun ve Karabük’teki müşteriler ise “normal” müşteri grubuna aittir. Bu müşterilerin talepleri iki gün ertelenip üçüncü gün gönderilebilmektedir. Ancak verilen örnek

için Aydın'daki müşteri talebinin bir kez ertelendiği, diğer müşterilerin taleplerinin ise hiç ertelenmediği görülmektedir.

Tablo 4.21. Bir Haftalık Verinin Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonuçları – Üçüncü Veri Seti

Dönem	Rota maliyeti	Elde tutma maliyeti	Rota	Ertelenen talep
1. Gün	349,5 486	80	Eskişehir – Ankara Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	İzmir
2. Gün	1.708,5 1.333,5 616,5 486	140	Eskişehir – Ankara – Diyarbakır Eskişehir – Gaziantep Eskişehir – İzmir Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	Aydın
3. Gün	969 805,5 486	-	Eskişehir – Ankara – Samsun Eskişehir – İzmir – Aydın Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	-
4. Gün	486 636	150	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul Eskişehir – Karabük	Gaziantep, İzmir
5. Gün	1.350 486 616,5	-	Eskişehir – Ankara – Gaziantep Eskişehir – İstanbul Eskişehir – İzmir	-
6. Gün	969 486	-	Eskişehir – Ankara – Samsun Eskişehir – İstanbul	-
Toplam	12.270	370	Toplam maliyet:	12.640

Tablo 4.21'deki sonuçlara göre; birinci gün, İzmir ilindeki müşteriden gelen talep ertelenerek ikinci gün gelen taleple birleştirilmiştir. İkinci gün Aydın'daki müşterinin talebi ertelenmiştir. Üçüncü gün talebi ertelenen müşteri bulunmamaktadır. Dördüncü gün Gaziantep ve İzmir'deki müşterilerin talepleri ertelenmiştir. Bu illerdeki müşterilerin talepleri bir gün ertelenerek ertesi gün gönderilmiştir. Beşinci günde talebi ertelenen müşteri bulunmamaktadır. Çözüm sonucunda toplam rota maliyeti 12.270 TL, ertelemeyen kaynaklanan toplam elde tutma maliyeti ise 370 TL olarak bulunmuştur. İki maliyetin toplamı 12.640 TL'dir.

Tablo 4.22'de dokuz müşterili üçüncü veri setinin müşteri grupları içeren model ile çözümü sonucunda elde edilen araç doluluk oranları verilmiştir. 6 günlük planlama dönemi boyunca elde edilen rotaların ortalama araç doluluk oranı %74,38 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.22. *Müşteri Grupları İçeren Model ile Çözüm Sonucunda Araç Doluluk Oranları – Üçüncü Veri Seti*

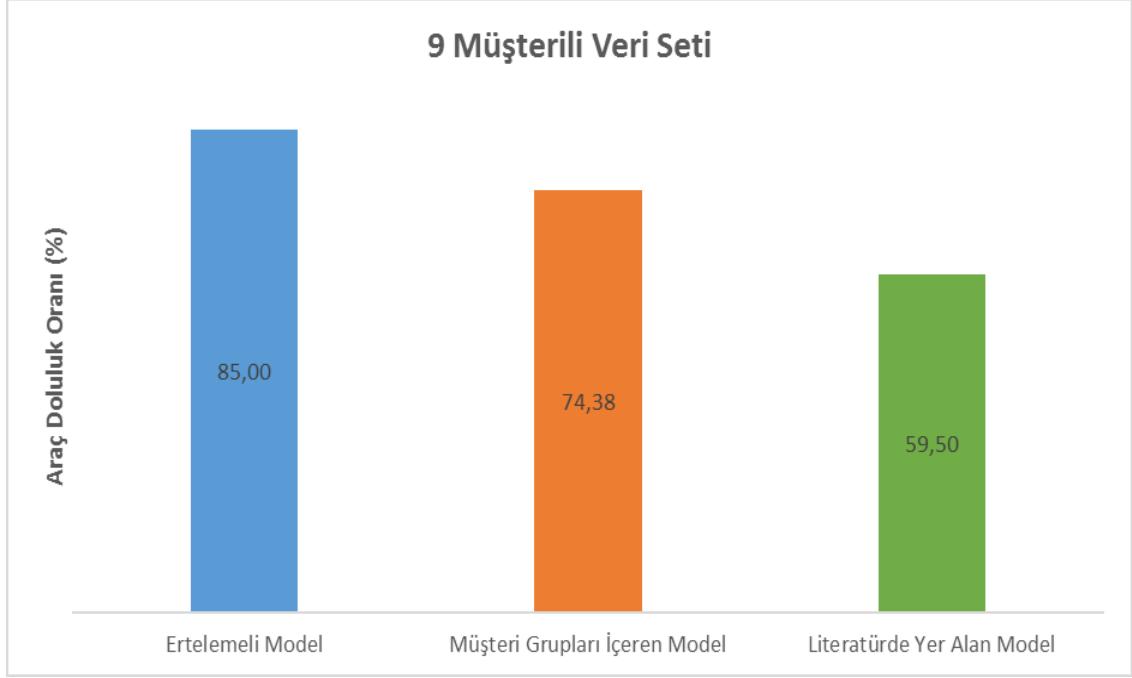
Dönem	Rota	Toplam Talep	Araç Doluluk Oranı (%)
1. Gün	Eskişehir – Ankara	9	45
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	19	95
2. Gün	Eskişehir – Ankara – Diyarbakır	19	95
	Eskişehir – Gaziantep	15	75
	Eskişehir – İzmir	15	75
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	13	65
	Eskişehir – Ankara – Samsun	12	60
3. Gün	Eskişehir – İzmir – Aydın	17	85
	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	16	80
4. Gün	Eskişehir – Kocaeli – İstanbul	10	50
	Eskişehir – Karabük	16	80
5. Gün	Eskişehir – Ankara – Gaziantep	14	70
	Eskişehir – İstanbul	12	60
	Eskişehir – İzmir	19	95
6. Gün	Eskişehir – Ankara – Samsun	17	85
	Eskişehir – İstanbul	15	75
Ortalama Doluluk Oranı (%)			74,38

Verilen örneklerde; ertelemenin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumlardaki rotalama maliyetleri kıyaslandığında, ertelemenin olduğu durumlardaki rotalama maliyetinin bu veri setinde de daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak, ertelemeyen kaynaklanan elde tutma maliyetleri ortaya çıkmıştır ve bu durum firmanın toplam giderlerini arttırmaktadır. Kurulan ertelemeli matematiksel model ve müşteri grupları içeren matematiksel model, siparişlerin elde tutulması ve gönderilmesi arasındaki ödünleşmeye baktığından, ertelemenin olduğu durumlardaki toplam maliyet (rotalama + elde tutma), ertelemenin olmadığı duruma göre daha düşüktür.

Müşteri grupları olan modelde talebi hiç ertelenemeyen, bir gün ertelenebilen ve iki gün ertelenebilen müşteriler bulunmaktadır. Erteleme süresinin kısıtlanması, taleplerin birleştirilmesini de kısıtlayan bir durumdur. Dolayısıyla, müşteri grupları içeren modelin çözümü sonucunda rotalama maliyetlerinde ve problemin toplam maliyetinde (rotalama + elde tutma) artış olmuştur. Verilen örneklerde, ertelemeli model ile müşteri grupları içeren modelin rota maliyetleri kıyaslandığında; müşteri grupları içeren modelin daha yüksek maliyete sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca;

müşteri grupları içeren model, ertelemeli modele göre daha fazla toplam maliyete (rotalama + elde tutma) sahiptir.

Dokuz müşterili veri seti için araç doluluk oranlarının kıyaslandığı grafik Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Model Türlerine Göre Araç Doluluk Oranları Kıyaslaması – Üçüncü Veri Seti

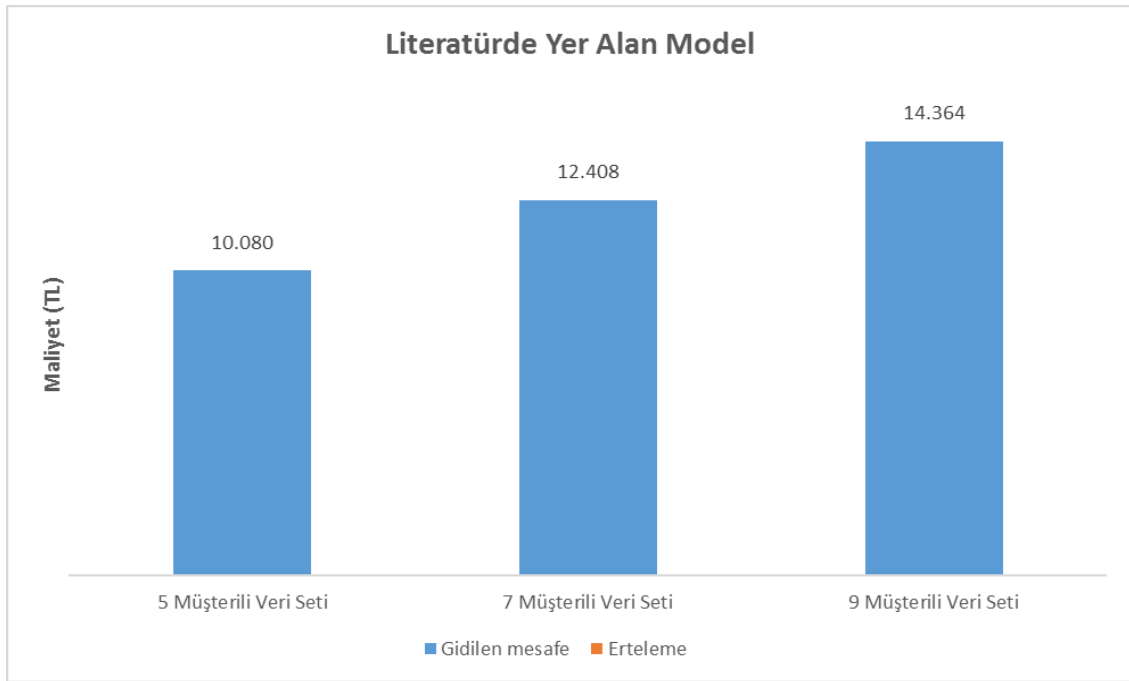
Şekil 4.3'e bakıldığında dokuz müşterili üçüncü veri seti için en yüksek araç doluluk oranının ertelemeli modelde, en düşük araç doluluk oranının ise literatürde yer alan modelde elde edildiği görülmektedir.

4.4. Uygulama Sonuçları

Gerçek hayatta karşılaşılan çok periyotlu araç rotalama, açık uçlu araç rotalama ve müşteri siparişlerinin ertelenmesi durumlarını göz önüne alan bu çalışmada; beş, yedi ve dokuz müşteriden oluşan üç ayrı veri setiyle uygulama yapılmıştır. Bir planlama dönemi boyunca birden fazla siparişi olan müşterilerin siparişleri ertelenip yeni gelen siparişlerle birleştirildiğinde araç doluluklarında artış, taşıma maliyetlerinde ise düşüş olduğu görülmüştür. Ertelemeli model, literatürde yer alan modele göre daha düşük maliyetli sonuçlar vermiştir.

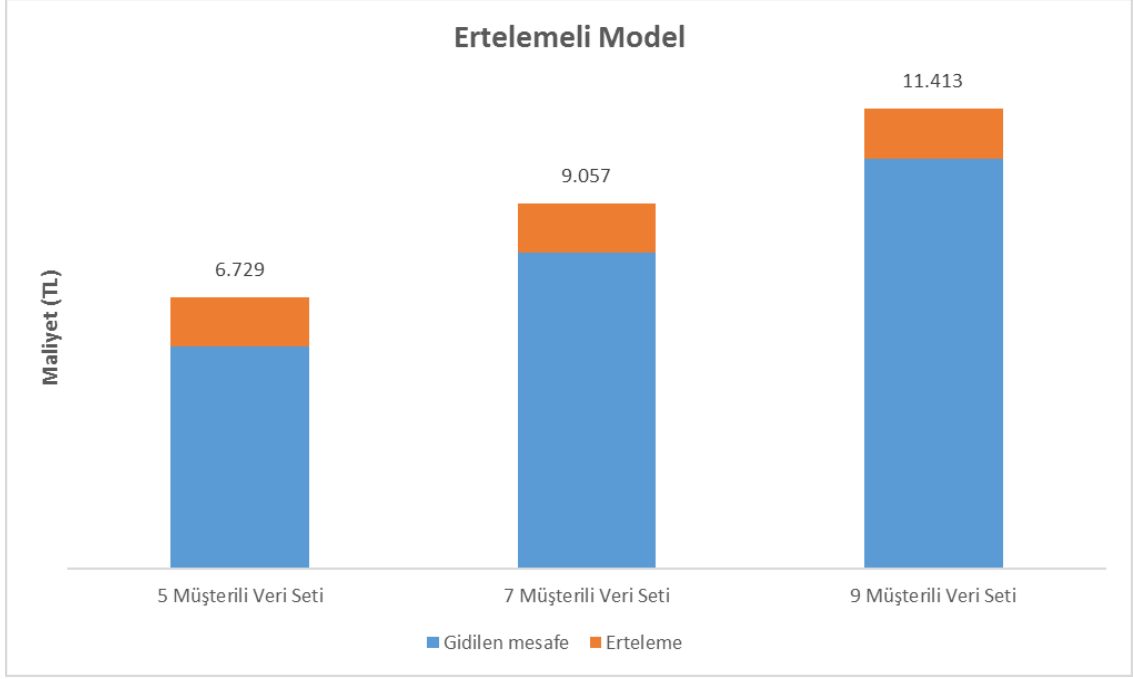
Müşteri memnuniyetini de göz önünde bulundurmak amacıyla oluşturulan müşteri grupları, siparişi hiç ertelenemeyen, bir gün ertelenebilen ve iki gün ertelenebilen müşterilerden oluşmaktadır. Bu müşterileri dikkate alarak oluşturulan, müşteri grupları içeren matematiksel model de literatürde yer alan modele göre daha düşük maliyetli sonuçlar vermiştir. Müşteri grupları içeren model, ertelemeli modele göre daha düşük araç doluluklarına ve daha yüksek taşıma maliyetlerine sahiptir. Ancak, müşteri isteklerini daha fazla dikkate almaktadır.

Şekil 4.4'te literatürde yer alan model, Şekil 4.5'te ertelemeli model ve Şekil 4.6'da müşteri grupları içeren model için veri setlerine göre maliyetleri gösteren grafikler verilmiştir.



Şekil 4.4. Literatürde Yer Alan Model için Veri Setlerine Göre Maliyetler

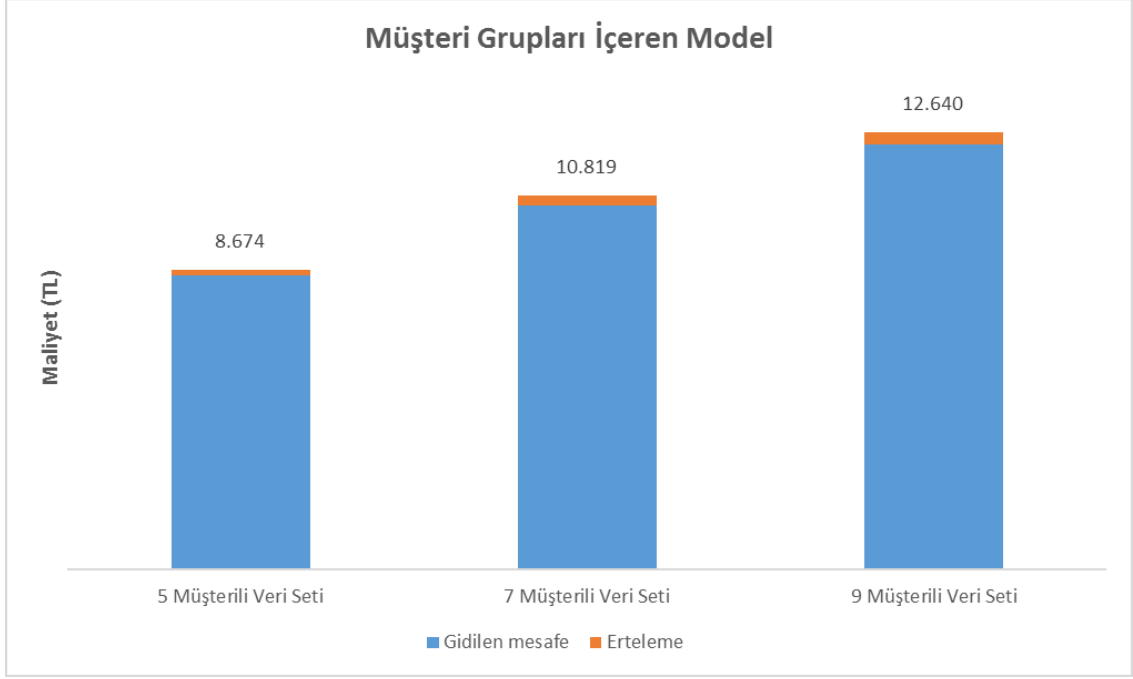
Literatürde yer alan modelin amacı toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesidir ve bu modelde erteleme yoktur.



Şekil 4.5. Ertelemeli Model için Veri Setlerine Göre Maliyetler

Ertelemeli modelin çözülmesi sonucunda elde edilen maliyetler, literatürde yer alan modelin sonuçlarıyla kıyaslandığında, ertelemeli modelde daha düşük maliyetlerin elde edildiği görülmektedir. Verilen örnekler için, ertelemeli modelde literatürde yer alan modele göre;

- Beş müşterili veri seti için %33 oranında,
- Yedi müşterili veri seti için %27 oranında,
- Dokuz müşterili veri seti için %21 oranında maliyetlerde azalma olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. *Müşteri Grupları İçeren Model için Veri Setlerine Göre Maliyetler*

Müşteri grupları içeren modelin çözülmesi sonucunda elde edilen maliyetler, literatürde yer alan modelin sonuçlarıyla kıyaslandığında, müşteri grupları içeren modelde daha düşük maliyetlerin elde edildiği görülmektedir. Verilen örnekler için, müşteri grupları içeren modelde literatürde yer alan modele göre;

- Beş müşterili veri seti için %14 oranında,
 - Yedi müşterili veri seti için %13 oranında,
 - Dokuz müşterili veri seti için %12 oranında
- maliyetlerde azalma olduğu hesaplanmıştır.

Grafiklere bakıldığında, müşteri sayısı arttıkça maliyetlerin arttığı görülmektedir. Ayrıca, çözüm sonuçlarına göre her bir veri seti için maliyetler kıyaslandığında, en yüksekten en düşüğe doğru sonuç veren modeller sırasıyla: literatürde yer alan model > müşteri grupları içeren model > ertelemeli model şeklindedir.

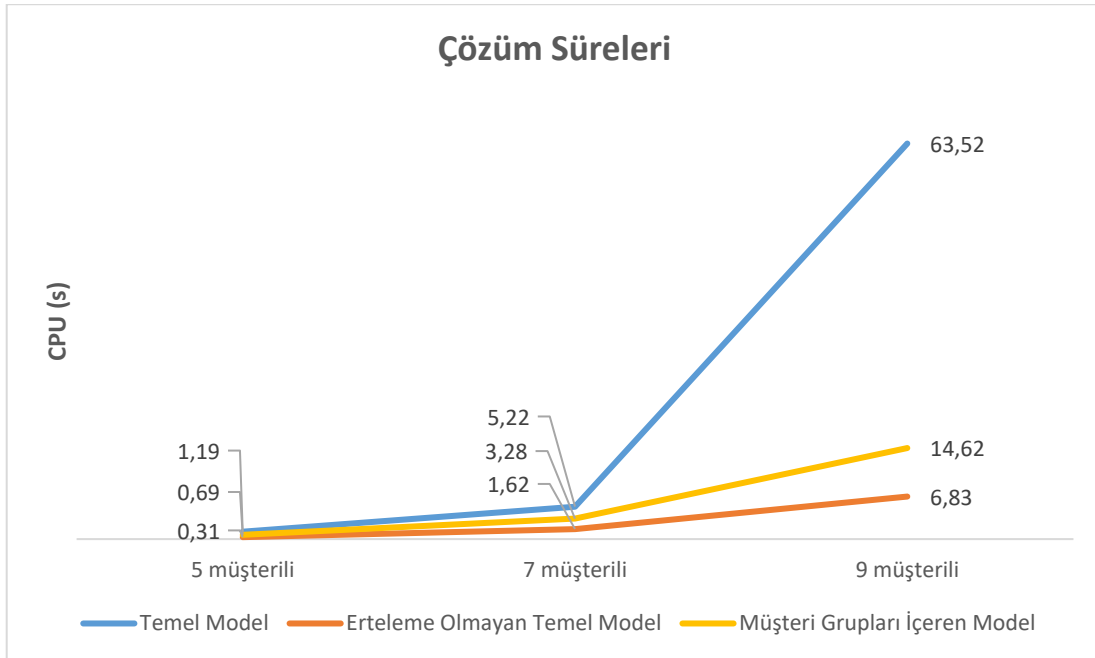
Tüm veri setleri için araç dolulukları kıyaslandığında, en yüksekten en düşüğe doğru sonuç veren modeller sırasıyla: ertelemeli model > müşteri grupları içeren model > literatürde yer alan model şeklindedir.

Tablo 4.23'te tüm veri setleri ve tüm modeller için çözüm süreleri saniye cinsinden verilmiştir.

Tablo 4.23. Model Türü ve Veri Setine Göre Çözüm Süreleri

Veri Seti	Problem Türü	Çözüm Süresi (CPU)
5 müşterili	Ertelemeli Model	1,19
	Literatürde Yer Alan Model	0,31
	Müşteri Grupları İçeren Model	0,69
7 müşterili	Ertelemeli Model	5,22
	Literatürde Yer Alan Model	1,62
	Müşteri Grupları İçeren Model	3,28
9 müşterili	Ertelemeli Model	63,52
	Literatürde Yer Alan Model	6,83
	Müşteri Grupları İçeren Model	14,62

Tablo 4.23'teki verilerden yola çıkarak Şekil 4.7'de gösterilen grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.7. Model Türü ve Veri Setine Göre Çözüm Süreleri

Şekil 4.7'deki grafiğe bakıldığında, problem boyutu arttıkça çözüm süresinin uzadığı görülmektedir. Ayrıca en kısa çözüm süreleri literatürde yer alan modelde, en uzun çözüm süreleri ise ertelemeli modelde elde edilmiştir.

5. SONUÇ

Bu tez kapsamında, gerçek hayatta karşılaşılan Çok Periyotlu Ertelenebilir Talepli Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Literatürdeki ÇP-ARP çalışmalarıyla benzerlik gösteren bu çalışmada, birden fazla günden oluşan bir planlama dönemi ve gelen müşteri talepleri için erteleme kararının verilmesi söz konusudur. Bir planlama dönemi boyunca müşterilerin birden fazla siparişi olabilmektedir. Rotalama yapılırken, bir planlama dönemi boyunca gelen tüm siparişlerin karşılanması esas alınmaktadır. Siparişler, planlama dönemi içindeki günler arasında ertelenmektedir. Ertelenen siparişler, yeni gelen siparişlerle birleştirilerek araç doluluklarında artış ve dolayısıyla taşıma maliyetlerinde azalma sağlanabilmektedir. Ele alınan problem için oluşturulan ertelemeli matematiksel modelin yanında, müşteri grupları içeren ikinci bir matematiksel model de önerilmiştir. İkinci model, farklı erteleme kısıtları olan (hiç ertelenemez, bir gün ertelenebilir, iki gün ertelenebilir) müşteri gruplarını dikkate almaktadır.

Bu çalışmada ele alınan problem literatürde en fazla Archetti, Jabali ve Speranza (2015, s. 122-134) tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir. Her iki çalışmada da birden fazla günden oluşan bir zaman periyodu ve müşteri taleplerinin ertelenmesi durumu göz önüne alınmaktadır. Archetti, Jabali ve Speranza yaptıkları çalışmada müşterilerin son teslim zamanlarını dikkate almışlardır ve son teslim zamanları farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca tüm talepler, müşterilerin istediği zaman aralıkları içinde karşılanmaktadır. Archetti, Jabali ve Speranza tarafından yapılan çalışmada erteleme durumu; bir planlama döneminde gelen siparişlerin, bir sonraki dönemde rotalanması olarak ele alınmıştır. Bu tezde ele alınan problemde ise müşterilerin son teslim zamanları sipariş geldikten bir sonraki gündür ve erteleme durumunda müşterinin istediği zaman aralığı aşılmaktadır. Ertelemeler, bir planlama dönemi içindeki farklı günlerde yapılmaktadır.

Literatürde ÇP-ARP farklı çalışmalarda ele alınmış, ancak, bu çalışmalarda açık uçlu rotalar göz önünde bulundurulmamıştır. Bu tezde, çok periyotlu araç rotalama problemi ile açık uçlu araç rotalama problemi bir arada düşünülmüş ve siparişlerin ertelenebilmesi durumu göz önünde bulundurulmuştur. Ele alınan problem, gerçek hayatta karşılaşılabilecek bir problem türüdür. Bu nedenle, bu problem için

oluşturulan matematiksel modeller, lojistik firmaları tarafından kullanılabilir niteliktedir. Bunlara ek olarak, en kısa mesafeye sahip rotaların oluşturulmasının yanında, araç doluluklarının da arttırılması ile yakıt kullanımının ve karbon salınımının azaltılacağı düşünülmektedir.

Bu tezde, ÇP-ET-AUARP için iki farklı karma tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. Bu modeller, bir firmadan alınan veriler ile beş, yedi ve dokuz müşteriden oluşan üç örnek için GAMS 24.7.3 yazılımının BARON çözücüsü ile çözdürülmüştür. Ele alınan örneklerde, 6 günlük planlama dönemleri dikkate alınmıştır. 5 müşterili örnek için müşterilerden üçü “çok önemli”, ikisi “önemli” müşteri grubunda; 7 müşterili örnek için müşterilerden üçü “çok önemli”, üçü “önemli” ve biri “normal” müşteri grubunda; 9 müşterili örnek için ise müşterilerden üçü “çok önemli”, üçü “önemli” ve üçü “normal” müşteri grubundadır. Müşteri grupları içeren matematiksel model, erteleme nedeniyle müşteri memnuniyetinde düşüş yaşanmaması için müşteri özelliklerini daha fazla dikkate almaktadır. Daha iyi hizmet bekleyen müşterilerin talepleri hiç ertelenmeyerek, müşteri memnuniyetinde azalma olması engellenmektedir. Diğer müşterilerin talepleri ise, müşterilerin özelliklerine göre bir ya da iki gün ertelenebilmektedir.

Müşteri grupları olan modelde talebi hiç ertelenemeyen, bir gün ertelenebilen ve iki gün ertelenebilen müşteriler bulunmaktadır. Erteleme süresinin kısıtlanması, taleplerin birleştirilmesini dolayısıyla araç doluluklarının artmasını da kısıtlayan bir durumdur. Bu nedenle rotalama maliyetleri ve problemin toplam maliyetleri (rotalama + elde tutma) ertelemeli modele göre daha fazladır.

Ertelemeli model ile çözülen firma verileri, hiç ertelemenin olmadığı literatürde yer alan model ile kıyaslanmıştır. Erteleme durumu göz önünde bulundurulduğunda, aynı müşteriye ait farklı günlerde gelen siparişler birleştirilmiş ve ayrı ayrı araçlar yerine tek bir araçla gönderilmiştir. Bu sayede araç doluluk oranları arttırılmış ve toplam rotalama maliyetleri düşürülmüştür. Toplam rotalama maliyetleri ve erteleme nedeniyle ortaya çıkan elde tutma maliyetleri, erteleme olmadığında oluşan rota maliyetlerinden daha düşüktür.

Yapılan uygulamalar sonucunda, en yüksek araç dolulukları ertelemeli modelde, en düşük araç dolulukları ise literatürde yer alan modelde elde edilmiştir. Müşteri grupları içeren model, ertelemeli modele göre daha düşük araç

doluluklarına ve daha yüksek taşıma maliyetlerine sahiptir. Ancak, müşteri isteklerini daha fazla dikkate almaktadır.

Ertelemeli model ve müşteri grupları içeren modelin çözüm sonuçlarına bakıldığında, çözüm için harcanan CPU sürelerinin makul ölçüde olduğu görülmektedir. Problem boyutu arttıkça çözüm süresi uzamaktadır. Ayrıca en kısa çözüm süreleri literatürde yer alan modelde, en uzun çözüm süreleri ise ertelemeli modelde elde edilmiştir.

Bu tezde yapılan çalışmadan yola çıkılarak, daha sonraki çalışmalarda kurulan modeller farklı açılardan ele alınabilir. Heterojen filolu, çok depolu, bölünebilir talepli araç rotalama problemi gibi farklı ARP türleri ele alınan probleme eklenebilir. Ayrıca, elde tutma maliyetinin yanında farklı müşteri grupları için farklı ceza maliyetleri göz önünde bulundurularak, müşteri memnuniyetini daha fazla dikkate alan modeller oluşturulabilir. Ele alınan problem için sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlar dikkate alınarak daha büyük boyutlu problemlerin daha kısa sürelerde çözülmesi için çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Aksen, D., Özyurt, Z. and Aras, N. (2007). The open vehicle routing problem with driver nodes and time deadlines. *Journal of the Operational Research Society*, 58(9), 1223–1234.
- Albareda-Sambola, M., Fernandez, E. and Laporte, G. (2014). The dynamic multiperiod vehicle routing problem with probabilistic information. *Computers and Operations Research*, 48, 31–39.
- Angelelli, E., Bianchessi, N., Mansini, R., Speranza, M. G. (2009). Short Term Strategies for a Dynamic Multi-Period Routing Problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(2), 106–119.
- Angelelli, E., Savelsbergh, M. W. P. and Speranza, M. G. (2007). Competitive analysis of a dispatch policy for a dynamic multi-period routing problem. *Operations Research Letters*, 35(6), 713–721.
- Angelelli, E., Speranza, M. G. and Savelsbergh, M. W. P. (2007). Competitive analysis for dynamic multiperiod uncapacitated routing problems. *Networks*, 49(4), 308-317.
- Archetti, C., Jabali, O. and Speranza, M. G. (2015). Multi-period vehicle routing problem with due dates. *Computers and Operations Research*, 61, 122–134.
- Baker, E. K. and Schaffer, J. R. (1986). Solution improvement heuristics for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints, *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 6(3-4), 261-300.
- Baldacci, R., Battarra, M. and Vigo, D. (2008). Routing a heterogeneous fleet of vehicles. B. L. Golden, S. Raghavan and E. A. Wasil (Eds.), In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* (pp. 3-27). Springer: US.
- Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E. and Mingozzi, A. (2004). An exact algorithm for the capacitated vehicle routing problem based on a two-commodity network flow formulation. *Operations Research*, 52(5), 723-738.
- Baños, R., Ortega, J., Gil, C., Márquez, A. L., De Toro, F. (2013). A hybrid meta-heuristic for multi-objective vehicle routing problems with time windows. *Computers and Industrial Engineering*, 65(2), 286–296.

- Bodin, L. D., Golden, B. L., Assad, A., Ball, M. (1981). *The state of the art in the routing and scheduling of vehicles and crews*. Washington, DC: US Department of Transportation.
- Bodin, L. D. and Sexton, T. (1986). The multi-vehicle subscriber dial-a-ride problem. *TIMS Studies in the Management Sciences*, 22, 73-86.
- Brandão, J. (2004). A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 157(3), 552–564.
- Brito, J., Martinez, F. J., Moreno, J. A., Verdegay, J. L. (2015). An ACO hybrid metaheuristic for close-open vehicle routing problems with time windows and fuzzy constraints. *Applied Soft Computing Journal*, 32, 154–163.
- Chiang, W. C. and Russell R. A. (1996). Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows. *Annals of Operations Research*, 63(1), 3-27.
- Clarke, G. U. and Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568-581.
- Cordeau, J.-F., Laporte, G. and Mercier, A. (2001). A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of Operational Research Society*, 52(8), 928–936.
- Daneshzand, F. (2011). The vehicle-routing problem. R. Z. Farahani, S. Rezapour and L. Kardar (Eds.), In *Logistics Operations and Management: Concepts and Models* (pp. 127-153). Elsevier.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- Dayarian, I., Crainic, T. G., Gendreau, M., Rei, W. (2015). A branch-and-price approach for a multi-period vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 55, 167–184.
- Deif, I. and Bodin, L. (1984). Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling. *Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistics Management*, Babson Park, MA, pp. 75-96.

- Derigs, U. and Reuter, K. (2009). A simple and efficient tabu search heuristic for solving the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 60, 1658–1669.
- Desrochers, M., Desrosiers, J. and Solomon, M. (1992). A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *Operations Research*, 40(2), 342-354.
- Dinç Yalçın, G. and Erginel, N. (2015). Fuzzy multi-objective programming algorithm for vehicle routing problems with backhauls. *Expert Systems with Applications*, 42(13), 5632-5644.
- Dullaert, W. and Braysy, O. (2003). Routing relatively few customers per route. *Top*, 11(2), 325-336.
- Dumas, Y., Desrosiers, J. and Soumis, F. (1991). The pickup and delivery problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 54(1), 7-22.
- Erbao, C. and Mingyong, L. (2010). The open vehicle routing problem with fuzzy demands. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2405–2411.
- Erbao, C., Mingyong, L. and Hongming, Y. (2014). Open vehicle routing problem with demand uncertainty and its robust strategies. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3569–3575.
- Fleszar, K., Osman, I. H. and Hindi, K. S. (2009). A variable neighbourhood search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 803–809.
- Fu, Z., Eglese, R. and Li, L. Y. O. (2005). A new tabu search heuristic for the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 56(3), 267–274.
- Fukasawa, R., Longo, H., Lysgaard, J., de Aragão, M. P., Reis, M., Uchoa, E., Werneck, R. F. (2006). Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 106(3), 491-511.
- Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J. Y., Séguin, R. (2006). Neighborhood search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(3), 157-174.

- Goetschalckx, M. and Jacobs-Blecha, C. (1989). The vehicle routing problem with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 42(1), 39-51.
- Jaw, J. J., Odoni, A. R., Psaraftis, H. N., Wilson, N. H. (1986). A heuristic algorithm for the multi-vehicle advance request dial-a-ride problem with time windows. *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(3), 243-257.
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 345-358.
- Letchford, A. N., Lysgaard, J. and Eglese, R. W. (2007). A branch-and-cut algorithm for the capacitated open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 58(12), 1642-1651.
- Li, F., Golden, B. and Wasil, E. (2007). The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results. *Computers and Operations Research*, 34(10), 2918-2930.
- López-Sánchez, A. D., Hernández-Díaz, A. G., Vigo, D., Caballero, R., Molina, J. (2014). A multi-start algorithm for a balanced real-world Open Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 104-113.
- Lysgaard, J., Letchford, A. N. and Eglese, R. W. (2004). A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 100(2), 423-445.
- Maffioli, F. (2003). The vehicle routing problem: A book review. *Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies*, 1(2), 149-153.
- Mancini, S. (2016). A real-life multi depot multi period vehicle routing problem with a heterogeneous fleet: formulation and adaptive large neighborhood search based matheuristic. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 70, 100-112.
- Mingozi, A. and Giorgi, S. (1999). An exact algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. *Transportation Science*, 33(3), 315-329.
- MirHassani, S. A. and Abolghasemi, N. (2011). A particle swarm optimization algorithm for open vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11547-11551.

- Pessoa, A., Poddi de Aragão, M. P. and Uchoa, E. (2008). Robust branch-cut-and-price algorithms for vehicle routing problems. B. L. Golden, S. Raghavan and E. A. Wasil (Eds.), In *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges* (pp. 297-325). US: Springer.
- Pisinger, D. and Ropke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers and Operations Research*, 34(8), 2403–2435.
- Psaraftis, H. N. (1983). Analysis of an $O(N^2)$ heuristic for the single vehicle many-to-many Euclidean dial-a-ride problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 17(2), 133-145.
- Repoussis, P. P., Tarantilis, C. D. and Ioannou, G. (2007). The open vehicle routing problem with time windows. *Journal of Operational Research Society*, 58(3), 355-367.
- Salhi, S. and Nagy, G. (1999). A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling. *Journal of the Operational Research Society*, 50(10), 1034-1042.
- Sariklis, D. and Powell, S. (2000). A heuristic method for the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 51(5), 564–573.
- Savelsbergh, M. W. (1985). Local search in routing problems with time windows. *Annals of Operations Research*, 4(1), 285-305.
- Tarantilis, C. D., Ioannou, G., Kiranoudis, C. T., Prastacos, G. P. (2005). Solving the open vehicle routing problem via a single parameter metaheuristic algorithm. *Journal of the Operational Research Society*, 56(5), 588-596.
- Thangiah, S. R., Potvin, J. Y. and Sun, T. (1996). Heuristic approaches to vehicle routing with backhauls and time windows. *Computers and Operations Research*, 23(11), 1043-1057.
- Toth, P. and Vigo, D. (1997a). An exact algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. *Transportation Science*, 31(4), 372-385.
- Toth, P. and Vigo, D. (1997b). Heuristic algorithms for the handicapped persons transportation problem. *Transportation Science*, 31(1), 60-71.
- Toth, P. and Vigo, D. (1999). A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 113(3), 528-543.

- Toth, P. and Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. USA: SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications.
- Van der Bruggen, L. J. J., Lenstra, J. K. and Schuur, P. C. (1993). Variable-depth search for the single-vehicle pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Science*, 27(3), 298-311.
- Wen, M., Cordeau, J. F., Laporte, G., Larsen, J. (2010). The dynamic multi-period vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 37(9), 1615–1623.
- Wilson, N. H. and Colvin, N. J. (1977). *Computer control of the Rochester dial-a-ride system*. Cambridge: MIT.
- Wilson, N. H., Sussman, J. M., Wong, H. K., Higonnet, T. (1971). *Scheduling algorithms for a dial-a-ride system*. Cambridge: MIT.
- Wilson, N. H., Weissberg, R. W. and Hauser, J. (1976). *Advanced dial-a-ride algorithms research project: Final report*. Cambridge: MIT.
- Yano, C. A., Chan, T. J., Richter, L. K., Cutler, T., Murty, K. G., McGettigan, D. (1987). Vehicle routing at quality stores. *Interfaces*, 17(2), 52-63.
- Yeun, L. C., Ismail, W. R., Omar, K., Zirour, M. (2008). Vehicle routing problem: models and solutions. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, 4(1), 205-218.
- Yu, S., Ding, C. and Zhu, K. (2011). A hybrid GA-TS algorithm for open vehicle routing optimization of coal mines material. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10568–10573.
- Yu, V. F., Jewpanya, P. and Redi, A. A. N. P. (2016). Open vehicle routing problem with cross-docking. *Computers and Industrial Engineering*, 94, 6–17.
- Zachariadis, E. E. and Kiranoudis, C. T. (2010). An open vehicle routing problem metaheuristic for examining wide solution neighborhoods. *Computers and Operations Research*, 37(4), 712–723.

EK-1. Ertelemeli Model için Yazılan GAMS Kodları

```
option iterlim = 100000000;
```

```
option reslim = 100000000;
```

```
option optca = 0;
```

```
option optcr = 0;
```

```
sets
```

```
i/0*5/
```

```
k/1*5/
```

```
t/0*6/
```

```
s(t)/1,2,3,4/;
```

```
alias (i,j);
```

```
table c(i,j) i sehrinin j sehrine maliyeti
```

	0	1	2	3	4	5
0	0	349.5	1333.5	486	616.5	319.5
1	349.5	0	1000.5	679.5	868.5	513
2	1333.5	1000.5	0	1680	1668	1513.5
3	486	679.5	1680	0	846	166.5
4	616.5	868.5	1668	846	0	679.5
5	319.5	513	1513.5	166.5	679.5	0

```
;
```

```
parameters
```

```
h dönem basına elde tutma maliyeti
```

```
/10/
```

```
cap araçların kapasitesi
```

```
/20/
```

table q(i,t) i. sehrin t. dönemdeki talebi

	0	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	9	4	5	0	9	10
2	0	0	15	0	5	0	0
3	0	11	9	10	7	12	15
4	0	8	7	3	10	9	0
5	0	8	4	6	3	0	0

;

variables

z,z1,z2;

binary variables

x(i,j,k,t),y(i,k,t);

positive variables

e(i),e(j),d(i,t), A(i,t),B(i,k,t);

equations

amac

amac1

amac2

kisit1(i,t)

kisit2(i)

kisit3(i)

kisit4(k,t)

kisit5(i,k,t)

kisit6(i,k,t)

kisit7(i,k,t)

kisit8(i,k,t)

kisit9(i,t)

kisit10(i,t)

kisit11(i,t)

kisit12(i,t)
 kisit13(i,t)
 kisit14(i,t)
 kisit15(i,t)
 kisit16(j,k,t)
 kisit17(i,k,t)
 kisit18(i,j,t)
 kisit19(i,k)
 kisit20(i)
 kisit21(i)
 kisit22(i,k);

kisit1(i,t)\$((ord(i) gt 1) and s(t)).. (sum(k,y(i,k,t)+y(i,k,t+1)+y(i,k,t+2))*q(i,t)) =g=
 q(i,t);
 kisit2(i)\$ (ord(i) gt 1).. sum(k,y(i,k,'5')+y(i,k,'6'))*q(i,'5') =g= q(i,'5');
 kisit3(i)\$ (ord(i) gt 1).. sum(k,y(i,k,'6'))*q(i,'6') =g= q(i,'6');
 kisit4(k,t)\$ (ord(t) gt 1).. sum(i\$(ord(i) gt 1),B(i,k,t)) =l= cap;
 kisit5(i,k,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. B(i,k,t)=l=1000*y(i,k,t);
 kisit6(i,k,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. B(i,k,t)=g=0;
 kisit7(i,k,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. B(i,k,t)=l=d(i,t);
 kisit8(i,k,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. B(i,k,t)=g=d(i,t)-1000*(1-y(i,k,t));
 kisit9(i,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. d(i,t) =l= cap;
 kisit10(i,t)\$ ((ord(i) gt 1)and (ord(t) gt 1))..d(i,t)=e=q(i,t)+ A(i,t-1);
 kisit11(i,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. A(i,t)=l=1000*(1-sum(k,y(i,k,t)));
 kisit12(i,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. A(i,t)=g=0;
 kisit13(i,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. A(i,t)=l=d(i,t);
 kisit14(i,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. A(i,t)=g=d(i,t)-1000*sum(k,y(i,k,t));
 kisit15(i,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1))..sum(k,y(i,k,t)) =l= 1;
 kisit16(j,k,t)\$ ((ord(j) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. sum(i\$(ord(i) ne ord(j)),x(i,j,k,t)) =e=
 y(j,k,t);
 kisit17(i,k,t)\$ (ord(t) gt 1).. sum(j\$((ord(j) gt 1)and(ord(i) ne ord(j))),x(i,j,k,t)) =l=
 y(i,k,t);

```

kisit18(i,j,t)$((ord(t) gt 1)and(ord(i) gt 1)and(ord(j) gt 1)and(ord(i) ne ord(j)))..
e(i)-e(j)+6*sum(k,x(i,j,k,t)) =l= 5;
kisit19(i,k)$ (ord(i) gt 1)..y(i,k,'0')=e=0;
kisit20(i).. d(i,'0') =e= 0;
kisit21(i).. A(i,'0') =e= 0;
kisit22(i,k).. B(i,k,'0') =e= 0;
amac1..z1 =e= sum((i,j,k,t)$((ord(t) gt 1)and(ord(i) ne ord(j))and(ord(j) gt
1)),c(i,j)*x(i,j,k,t));
amac2.. z2 =e= h*sum(t$(ord(t) gt 1),sum(i$(ord(i) gt 1),d(i,t))-sum((i,k)$ (ord(i) gt
1),B(i,k,t)));
amac..z =e= z1+z2;

model VRP /all/;
option lp = cplex;
solve VRP using mip minimizing z;

```

EK-2. Müşteri Grupları İçeren Model için Yazılan GAMS Kodları

```
option iterlim = 100000000;  
option reslim = 100000000;  
option optca = 0;  
option optcr = 0;
```

```
sets
```

```
i/0*5/
```

```
k/1*5/
```

```
t/0*6/
```

```
co(i)/1,3,5/
```

```
o(i)/2,4/
```

```
n(i)/0/
```

```
v(t)/1,2,3,4,5/
```

```
s(t)/1,2,3,4/;
```

```
alias (i,j);
```

```
table c(i,j) i sehrinin j sehrine maliyeti
```

	0	1	2	3	4	5
0	0	349.5	1333.5	486	616.5	319.5
1	349.5	0	1000.5	679.5	868.5	513
2	1333.5	1000.5	0	1680	1668	1513.5
3	486	679.5	1680	0	846	166.5
4	616.5	868.5	1668	846	0	679.5
5	319.5	513	1513.5	166.5	679.5	0

```
;
```

```
parameters
```

```
h dönem basına elde tutma maliyeti
```

```
/10/
```


cap araclarin kapasitesi

/20/

table q(i,t) i. sehrin t. dönemdeki talebi

	0	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	9	4	5	0	9	10
2	0	0	15	0	5	0	0
3	0	11	9	10	7	12	15
4	0	8	7	3	10	9	0
5	0	8	4	6	3	0	0

;

variables

z,z1,z2;

binary variables

x(i,j,k,t),y(i,k,t);

positive variables

e(i),e(j),d(i,t), A(i,t),B(i,k,t);

equations

amac

amac1

amac2

kisit1(i,t)

kisit2(i,t)

kisit3(i,t)

kisit4(i)

kisit5(i)

kisit6(k,t)

kisit7(i,k,t)

kisit8(i,k,t)

kisit9(i,k,t)
 kisit10(i,k,t)
 kisit11(i,t)
 kisit12(i,t)
 kisit13(i,t)
 kisit14(i,t)
 kisit15(i,t)
 kisit16(i,t)
 kisit17(i,t)
 kisit18(j,k,t)
 kisit19(i,k,t)
 kisit20(i,j,t)
 kisit21(i,k)
 kisit22(i)
 kisit23(i)
 kisit24(i,k);

kisit1(i,t) $\$(co(i) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. \text{sum}(k,y(i,k,t))*q(i,t) =g= q(i,t);$
 kisit2(i,t) $\$(o(i) \text{ and } v(t)).. (\text{sum}(k,y(i,k,t)+y(i,k,t+1))*q(i,t)) =g= q(i,t);$
 kisit3(i,t) $\$(n(i) \text{ and } s(t)).. (\text{sum}(k,y(i,k,t)+y(i,k,t+1)+y(i,k,t+2))*q(i,t)) =g= q(i,t);$
 kisit4(i) $\$(ord(i) \text{ gt } 1).. \text{sum}(k,y(i,k,'5')+y(i,k,'6'))*q(i,'5') =g= q(i,'5');$
 kisit5(i) $\$(ord(i) \text{ gt } 1).. \text{sum}(k,y(i,k,'6'))*q(i,'6') =g= q(i,'6');$
 kisit6(k,t) $\$(ord(t) \text{ gt } 1).. \text{sum}(i\$(ord(i) \text{ gt } 1),B(i,k,t)) =l= \text{cap};$
 kisit7(i,k,t) $\$((ord(i) \text{ gt } 1) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. B(i,k,t)=l=1000*y(i,k,t);$
 kisit8(i,k,t) $\$((ord(i) \text{ gt } 1) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. B(i,k,t)=g=0;$
 kisit9(i,k,t) $\$((ord(i) \text{ gt } 1) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. B(i,k,t)=l=d(i,t);$
 kisit10(i,k,t) $\$((ord(i) \text{ gt } 1) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. B(i,k,t)=g=d(i,t)-1000*(1-y(i,k,t));$
 kisit11(i,t) $\$((ord(i) \text{ gt } 1) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. d(i,t) =l= \text{cap};$
 kisit12(i,t) $\$((ord(i) \text{ gt } 1) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. d(i,t)=e=q(i,t)+ A(i,t-1);$
 kisit13(i,t) $\$((ord(i) \text{ gt } 1) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. A(i,t)=l=1000*(1-\text{sum}(k,y(i,k,t)));$
 kisit14(i,t) $\$((ord(i) \text{ gt } 1) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. A(i,t)=g=0;$
 kisit15(i,t) $\$((ord(i) \text{ gt } 1) \text{ and } (ord(t) \text{ gt } 1)).. A(i,t)=l=d(i,t);$

```

kisit16(i,t)$((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. A(i,t)=g=d(i,t)-1000*sum(k,y(i,k,t));
kisit17(i,t)$((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1))..sum(k,y(i,k,t)) =l= 1;
kisit18(j,k,t)$((ord(j) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. sum(i$(ord(i) ne ord(j)),x(i,j,k,t)) =e=
y(j,k,t);
kisit19(i,k,t)$ (ord(t) gt 1).. sum(j$((ord(j) gt 1)and(ord(i) ne ord(j))),x(i,j,k,t)) =l=
y(i,k,t);
kisit20(i,j,t)$((ord(t) gt 1)and(ord(i) gt 1)and(ord(j) gt 1)and(ord(i) ne ord(j)))..
e(i)-e(j)+6*sum(k,x(i,j,k,t)) =l= 5;
kisit21(i,k)$ (ord(i) gt 1)..y(i,k,'0')=e=0;
kisit22(i).. d(i,'0') =e= 0;
kisit23(i).. A(i,'0') =e= 0;
kisit24(i,k).. B(i,k,'0') =e= 0;
amac1..z1 =e= sum((i,j,k,t)$((ord(t) gt 1)and(ord(i) ne ord(j))and(ord(j) gt
1)),c(i,j)*x(i,j,k,t));
amac2.. z2 =e= h*sum(t$(ord(t) gt 1),sum(i$(ord(i) gt 1),d(i,t))-sum((i,k)$ (ord(i) gt
1),B(i,k,t)));
amac..z =e= z1+z2;

model VRP /all/;
option lp = cplex;
solve VRP using mip minimizing z;

```

EK-3. Literatürde Yer Alan Model için Yazılan GAMS Kodları

```
option iterlim = 100000000;
```

```
option reslim = 100000000;
```

```
option optca = 0;
```

```
option optcr = 0;
```

```
sets
```

```
i/0*5/
```

```
k/1*5/
```

```
t/0*6/;
```

```
alias (i,j);
```

```
table c(i,j) i sehrinin j sehrine maliyeti
```

	0	1	2	3	4	5
0	0	349.5	1333.5	486	616.5	319.5
1	349.5	0	1000.5	679.5	868.5	513
2	1333.5	1000.5	0	1680	1668	1513.5
3	486	679.5	1680	0	846	166.5
4	616.5	868.5	1668	846	0	679.5
5	319.5	513	1513.5	166.5	679.5	0

```
;
```

```
parameters
```

```
h dönem basına elde tutma maliyeti
```

```
/10/
```

```
cap araçların kapasitesi
```

```
/20/
```

table q(i,t) i. sehrin t. dönemdeki talebi

	0	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	9	4	5	0	9	10
2	0	0	15	0	5	0	0
3	0	11	9	10	7	12	15
4	0	8	7	3	10	9	0
5	0	8	4	6	3	0	0

;

variables

z,z1;

binary variables

x(i,j,k,t),y(i,k,t);

positive variables

e(i),e(j);

equations

amac

amac1

kisit1(k,t)

kisit2(i,t)

kisit3(j,k,t)

kisit4(i,k,t)

kisit5(i,j,t);

kisit1(k,t)\$ (ord(t) gt 1).. sum(i\$(ord(i) gt 1),q(i,t)*y(i,k,t)) =l= cap;

kisit2(i,t)\$ ((ord(i) gt 1)and(ord(t) gt 1))..sum(k,y(i,k,t))*q(i,t) =g= q(i,t);

kisit3(j,k,t)\$ ((ord(j) gt 1)and(ord(t) gt 1)).. sum(i\$(ord(i) ne ord(j)),x(i,j,k,t)) =e= y(j,k,t);

kisit4(i,k,t)\$ (ord(t) gt 1).. sum(j\$((ord(j) gt 1)and(ord(i) ne ord(j))),x(i,j,k,t)) =l= y(i,k,t);

```

kisit5(i,j,t)$((ord(t) gt 1)and(ord(i) gt 1)and(ord(j) gt 1)and(ord(i) ne ord(j))).. e(i)-
e(j)+6*sum(k,x(i,j,k,t)) =l= 5;
amac1..z1 =e= sum((i,j,k,t)$((ord(t) gt 1)and(ord(i) ne ord(j))and(ord(j) gt
1)),c(i,j)*x(i,j,k,t));
amac..z =e= z1;

model VRP /all/;
option lp = cplex;
solve VRP using mip minimizing z;

```