



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SÜPERMARKETLERİN ÇEVİRİMİÇİ
SİPARİŞLERİNİN TESLİMATINA YÖNELİK
ZAMAN PENCERELERİ İLE ARAÇ
ROTALAMA PROBLEMİ YAKLAŞIMI

Mehmet ALTAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜPERMARKETLERİN ÇEVİRİMİÇİ SİPARİŞLERİNİN TESLİMATINA YÖNELİK ZAMAN PENCERELERİ İLE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ YAKLAŞIMI

Mehmet ALTAN

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Kemal ALAYKIRAN

2022, 41 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğretim Üyesi Vahit TONGUR
Dr. Öğretim Üyesi Kemal ALAYKIRAN
Dr. Öğretim Üyesi Bilal ERVURAL**

Bu çalışmada, günümüzde giderek artan bir şekilde gerçekleşen son müşteriye ürün teslimatıyla ilgili bir problem ele alınmıştır. Çalışma, özellikle market alışverişlerinde, müşterilerin seçtikleri zaman aralıklarında hizmet almasına yönelik dağıtım problemi üzerine yapılmıştır. Bu konuda gerçek hayata oldukça yakın bir problem seçilerek, günümüz dağıtım problemlerine bir çözüm önermek ve gelecekte bu alanda yapılacak çalışmalara katkıda bulunabilmek amaçlanmıştır. Problem, müşterilerin taleplerini, tek depodan çıkacak, birden fazla sefer yapacak, eşit kapasiteli araçlar ve araçların yetişemediği yerlerde kurye destekli bir şekilde karşılanmasının sağlanmasıdır. Bu plana göre hazırlanan model ile toplam yol maliyetini en az indirmek amaçlanmıştır. Yazılan modelin kodlaması yapıldıktan sonra müşteri sayısı ve araç sayısı parametrelerinde değişiklikler yapılarak 54 adet varyasyon için testler gerçekleştirilmiştir. Problem boyutu kademeli olarak artırılarak çözüm zorluğu test edilmiştir. Yapılan testler sonucu problem boyutu arttıkça çözüm süresinin arttığı doğrulanmıştır. Bunun yanında optimal çözüme yaklaşma oranı da azalmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda modelin sezgisel veya meta sezgisel yöntemler ile de test edilip karşılaştırılması yerinde olacaktır.

Anahtar Kelimeler: çok seferli araç rotalama, kurye destekli dağıtım, son adım teslimat, son müşteri, süpermarket dağıtım problemi, şehir içi dağıtım, zaman pencereli araç rotalama

ABSTRACT

MS THESIS

**THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS APPROACH
FOR DELIVERY OF ONLINE ORDERS OF SUPERMARKETS**

Mehmet ALTAN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN

2022, 41 Pages

Jury

**Dr. Instructor Member of Vahit TONGUR
Dr. Instructor Member of Kemal ALAYKIRAN
Dr. Instructor Member of Bilal ERVURAL**

In this study, a problem related to product delivery to the end customer, which is increasingly occurring today, is discussed. The study was carried out on the distribution problem for customers to receive service at the time windows they choose, especially in grocery and supermarket shopping. In this regard, it is aimed to propose a solution to today's distribution problems and to contribute to future studies in this field by choosing a problem that is very close to real life. The problem is to ensure that customers' demands are met by vehicles and courier (if necessary) that will leave a single warehouse, will make more than one trip, and in places where vehicles of equal capacity. With the model prepared according to this plan, it is aimed to minimize the total road cost. After the written model was coded, changes were made in the parameters of the number of customers and the number of vehicles, and tests were carried out for 54 variations. The problem size was gradually increased and the solution difficulty was tested. As a result of the tests, it was confirmed that as the problem size increases, the solution time increases. In addition, the rate of approaching the optimal solution decreases. In future studies, it would be appropriate to test and compare the model with heuristic or meta-heuristic methods.

Keywords: courier assisted distribution, end customer, last mile delivery, multi-trip vehicle routing, supermarket distribution problem, urban distribution, vehicle routing with time windows

ÖNSÖZ

Bu çalışma ile günümüzde önemi gittikçe artan ve muhtemelen gelecek yıllarda daha da artacak olan çevrimiçi siparişlerin dağıtımını üzerine bir model kurma ve bu modelin test edilmesi üzerine çalıştım. Bu alanda yapılan çalışmalara katkı sunmak, matematiksel model ve yazılımı üzerine bilimsel metotlar ile çalışmak, büyük bir keyifti.

Tez çalışmamı hazırlama sürecinde, takıldığım her noktada, hızlı ve etkin bir şekilde yardımcı olan, kıymetli danışmanım Sayın Dr. Kemal ALAYKIRAN' a;

Her zaman ve her koşulda yanımda olan, beni sürekli destekleyen, sevgili eşim Sena'ya;

En içten duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet ALTAN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER TABLOSU.....	ix
ÇİZELGELER TABLOSU	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Süpermarket Dağıtım Problemleri	4
2.2. Araç Rotalama Problemi.....	5
2.3. Zaman Pencereyi Araç Rotalama Problemi.....	6
2.4. Çok Seferli Araç Rotalama Problemi	7
2.5. Çok Seferli ve Zaman Pencereyi Araç Rotalama Problemi.....	8
2.6. Çok Seferli, Zaman Pencereyi ve Kurye Destekli Araç Rotalama Problemi	9
3. PROBLEM FORMULASYONU	10
3.1. Problem Tanımı	10
3.1.1. Problem Varsayımları	10
3.2. Matematiksel Model	11
3.2.1. Problem Notasyonu.....	11
3.2.2. Set ve İndeksler.....	12
3.2.3. Parametreler	12
3.2.4. Karar Değişkenleri.....	13
3.2.5. Model Formülasyonu	13
4. UYGULAMA	16
4.1. Test Problemine İlişkin Bilgiler.....	16
4.2. Sayısal Sonuçlar.....	17
4.2.1. Küçük boyutlu problem	18
4.2.2. Orta boyutlu problem.....	21
4.2.3. Büyük boyutlu problem testleri	23
4.2.4. Sabit açıklıklı (GAP) problem testleri	26
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	27
KAYNAKLAR	29
EKLER	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

- ARP** : Araç Rotalama Problemi
ZP-ARP : Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi
ÇS-ARP : Çok Seferli Araç Rotalama Problemi
ÇS-ZP-ARP : Çok Seferli Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi
ÇS-ZP-K-ARP : Çok Seferli Zaman Pencereci Kurye Destekli Araç Rotalama Problemi



ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1.1. 2021 yılı Tük bilişim teknolojisi kullanım oranları	1
Şekil 1.2. Model görseli.....	3
Şekil 2.1. Kaynak araştırma şeması.....	4
Şekil 4.1. Küçük boyutlu problem zaman-açıklık grafiği	19
Şekil 4.2. KP3 problemi oluşan rota görseli.....	20
Şekil 4.3. KP11 problemi oluşan rota görseli.....	20
Şekil 4.4. KP17 problemi oluşan rota görseli.....	20
Şekil 4.5. Orta boyutlu problem zaman-açıklık grafiği	22
Şekil 4.6. OP4 problemi oluşan rota görseli.....	22
Şekil 4.7. OP12 problemi oluşan rota görseli.....	23
Şekil 4.8. Büyük boyutlu problem zaman-açıklık grafiği	24
Şekil 4.9. BP11 problemi oluşan rota görseli.....	25
Şekil 4.10. Sabit açıklıklı problem zaman zaman grafiği	26

ÇİZELGELER TABLOSU

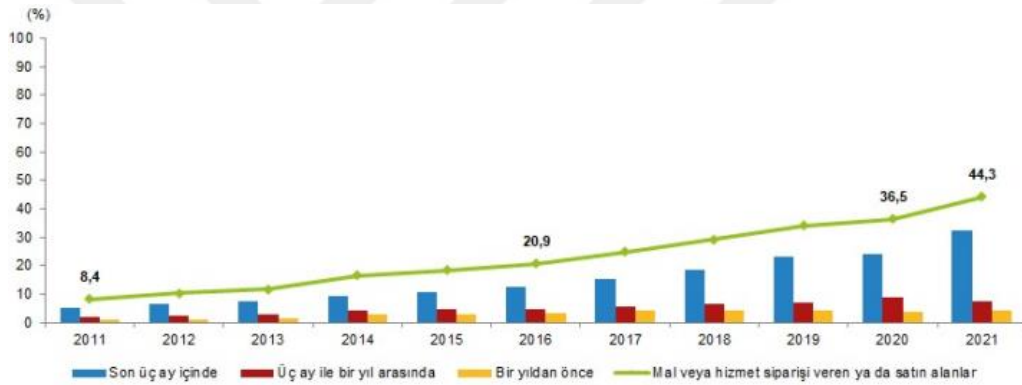
Çizelge 4.1. Küçük boyutlu problem zaman-açıklık grafiği	16
Çizelge 4.2. KP3 problemi oluşan rota görseli	18
Çizelge 4.3. KP11 problemi oluşan rota görseli	21
Çizelge 4.4. Büyük boyutlu problem sonuçları	23
Çizelge 4.5. Sabit açıklıklı problem sonuçları	26



1. GİRİŞ

Son müşteri olarak kabul edilen evlere yönelik taşımacılık, son yıllarda özellikle e-ticaretin de gelişmesi sonucu belirgin bir şekilde artmıştır. 2020 yılında başlayan pandemi süreci insanları ufak ihtiyaçlarını bile çevrimiçi siparişler ile sağlamaya yöneltmiştir. E-ticaret, insanlara fiyat kıyaslamasını daha kolay yapma ve daha hızlı bir şekilde ihtiyaçlarını karşılama olanağı sağlamıştır.

Bunun doğal bir sonucu olarak firmalar odaklarını, doğrudan müşterilerin taleplerini en kısa zamanda, en kaliteli şekilde yerine getirebilmek ve müşteri memnuniyeti sağlamaya çevirmişlerdir. Günümüz rekabetçi piyasası bunu gerektirmektedir. Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere çevrimiçi ürün sipariş verme oranı yıllar içinde sürekli artmaktadır. Tüik (2021)



Şekil 1.1. 2021 yılı Tüik bilişim teknolojisi kullanım oranları

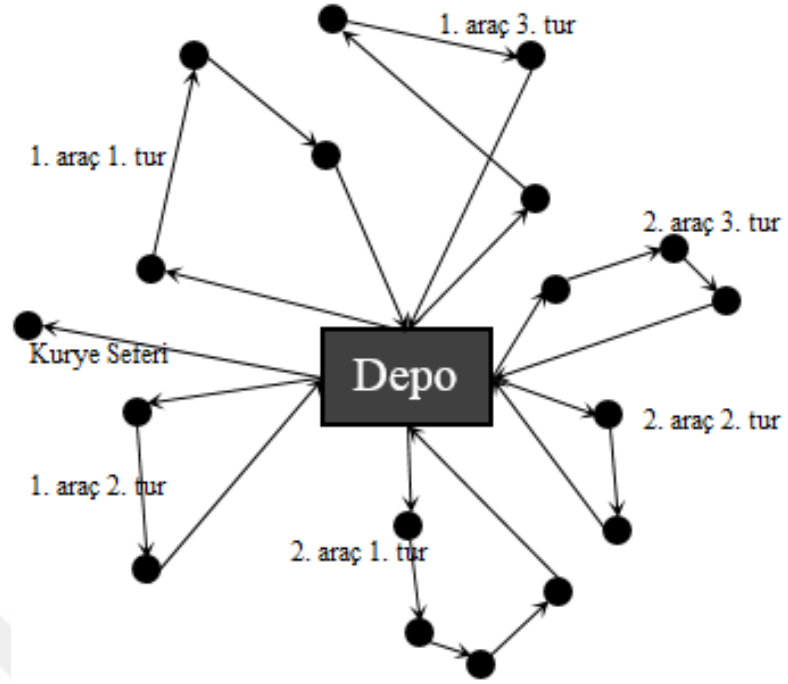
İşletmelerin, müşteri memnuniyetinden ödün vermeden, faaliyetlerini kârlı bir şekilde sürdürebilmeleri için, ürünlerini müşterilerinin evlerine kadar ulaştırmaları bu noktada önem kazanmıştır. Bu amaçla çoğu işletme ya kendi e-ticaret uygulamasını hayata geçirmiş ya da işletmelerin bütün halinde katılabildikleri platformlarda yerlerini almışlardır. Süpermarket tarzı işletmeler genel olarak, kendi web sitesinden satış ve kendi araçları ile teslimat için çalışmalar yapmakta ve hizmete geçirmektedir.

Kendi ulaşım ağını kurması gereken iş dalları için yakıt maliyetlerinin artması ile beraber lojistik çok önemli bir maliyet kaynağı olmaktadır. İşletmelerin lojistik maliyetlerini azaltması için araç rotalama problemleri devreye girmektedir. Toth ve Vigo (2002)'ye göre araç rotalama problemi (ARP); belirli bir müşteri grubuna hizmet

etmek için bir araç filosu tarafından gerçekleştirilecek en uygun rota setinin belirlenmesini gerektiren en önemli optimizasyon problemlerinden biridir.

Yapılan bu araştırmanın ana motivasyonu da bahsedilen günümüz e-ticaret koşullarına uyum sağlaması gereken perakende market sektörünü ele alarak, bu sektördeki dağıtım operasyonlarına uygun bir ARP modeli önerilmesi ve değişik boyutlarda çözülerek, test edilmesidir.

Bu amaçla öncelikle literatür taraması yapılmış, market dağıtım operasyonuna uygun modeller araştırılmıştır. Günümüz dağıtım işlerine bakıldığında, perakende market alışverişleri için genellikle müşterilerin zaman aralığı seçerek sipariş verme eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu nedenle zaman pencereli ARP modelinin uygun olacağı görülmüştür. Sonrasında dağıtım için çıkan araçların market deposuna döndüğünde tekrar sefere çıkması daha olası olduğundan, çok seferli ve zaman pencereli ARP modelleri üzerinde durulmuştur. Gerçek hayata oldukça yakınlaşabilmek için, müşteri noktalarında servis zamanı ve depoda araçlar için hazırlık süresi de eklenmiştir. Büyükşehirlerdeki trafik sorunu ve mesafe uzunlukları da göz önüne alınarak, tüm müşterilere istenilen zaman aralığında teslimat yapabilmek için, kurye seçeneği de modele eklenmiştir. Sonuç olarak çok seferli, zaman pencereli ve kurye destekli araç rotalama problemi (ÇS-ZP-K-ARP) üzerine bir model oluşturulmuştur. Literatürde böyle bir modelin uygulandığı perakende dağıtım operasyonu optimizasyonu ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Şekil 1.2.'de oluşturulan modelin 18 müşteri 2 araç için görselleştirilmiş hali gösterilmektedir.

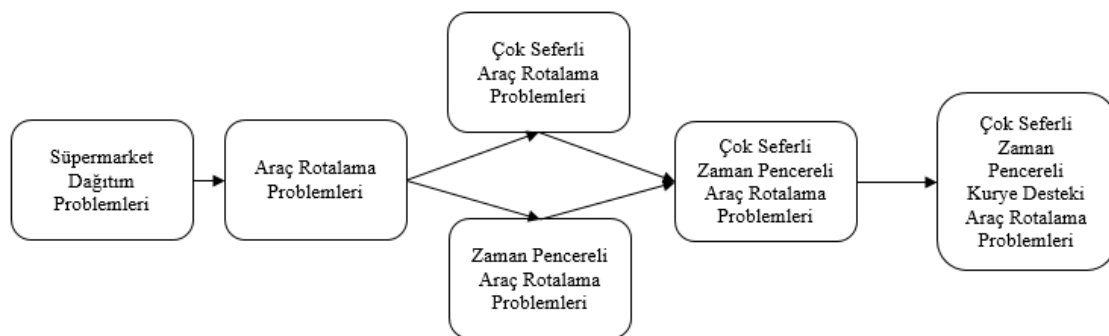


Şekil 1.2. Model görseli

Çalışmanın devamında gerçek hayata uygun veri seti hazırlanarak, hazırlanan model python programlama dili ile kodlanmış ve Gurobi Solver ile çözdürülmüştür. Problem boyutu değiştirilerek bulunan sayısal sonuçlar tablolar halinde sunulmuş ve son bölümde sayısal sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırmasına öncelikle literatürdeki süpermarket dağıtım problemleri ile başlanmıştır. Sonrasında klasik araç rotalama probleminden başlanarak, detaylandırılarak ilerlenmiştir. Zaman pencereli araç rotalama problemleri ardından çok seferli araç rotalama problemleri incelenmiştir. Sonrasında ikisinin birleşimi çok seferli ve zaman pencereli araç rotalama problemleri incelenmiştir. Son olarak da bu çalışmada da kullanılan çok seferli, zaman pencereli, kurye destekli araç rotalama problemleri incelenmiştir. Şekil 2.1.'de kaynak araştırması sırası gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Kaynak araştırma şeması

2.1. Süpermarket Dağıtım Problemleri

Son yıllarda son müşteriye yapılan teslimatlarda artış ve müşteri talebinin bu yönde artması, perakende sektörünü de bu yöne sevk etmiştir. Spesifik olarak perakende marketçilik sektöründen son müşteriye yapılan dağıtım operasyonu ile ilgili literatürde çalışma çok fazla olmamakla beraber, araç rotalama ile ilgili çalışmalar bu tür problemlere uyarlanabilmektedir. Bu durumda elimizde uyarlanabilecek oldukça fazla çalışma bulunmaktadır.

Yanık ve ark. (2014), çalışmasında süpermarketlerin çevrimiçi siparişi alınan üst sınıf ürünlerinin dağıtım problemini ele almıştır. Topla-dağıtım, zaman pencereli araç rotalama yaklaşımını kullanarak hazırlanan model, genetik algoritma sezgiseli ile çözülmüştür. Emeç ve ark. (2016), çalışmasında yine süpermarketlerin çevrimiçi aldıkları üst sınıf (lüks) ürünlerin siparişleri için dağıtım problemi çalışılmıştır. Büyük komşu arama sezgiseli kullanarak çözülmüştür. Lin ve ark. (2017) çalışmasında, perakende market siparişleri için, zaman pencereli araç rotalama problemi modelini esas olarak, bu

modele eklemeler yapmıştır. Araçlar dağıtımdan sonra aynı rotadan geri dönerek gereken toplama işlemi de yapmıştır. TABU arama ve GRASP tekniği ile çözülmüş ve değerleri karşılaştırılmıştır. Lagorio ve Pinto (2021) çalışmasında gıda ve market alışverişlerinin dağıtımı hakkında sınıflandırma çalışması yapmıştır.

2.2. Araç Rotalama Problemi

Temel olarak araç rotalama problemleri (ARP), belirli sayıda müşteriye hizmet verecek, hizmet verirken kat edilecek mesafeyi en aza indirecek rotaları bulmayla ilgilenmektedir.

Eksioglu ve ark. (2009), ARP problemlerinin varyantları için yapılmış çalışmalar hakkında taksonomik sınıflandırma yapmıştır. Yapılan bu sınıflandırmaya göre Dantzig ve ark. (1954) çalışması büyük çaplı ve genişletilmiş bir gezgin satıcı problemi olarak ARP literatüründe ilk çalışma olarak geçmektedir. Bu çalışmada, ABD’de benzin istasyonlarının yakıt taleplerinin karşılanması için minimum yol hesaplaması yapılmıştır. Dantzig ve ark. (1959) çalışmasında ise ilk defa ARP için formülasyon geliştirilmiştir. Clarke ve Wright (1964)^de birden fazla araç ile ARP çözümü yapılmıştır. Bu çalışma ile literatüre sabit ve değişken kapasiteli araçlı filoların kullanıldığı problemler de girmiş olmuştur. Eksioglu ve ark. (2009)’a göre ARP çalışmaları her yıl %6 oranında artmaktadır.

ARP’lerin boyutu arttıkça çözülme zorluğu ve süresi çok daha fazla artmaktadır, bu nedenle, NP-Zor problem sınıfına girmektedir. (Toth & Vigo, 2002) Problem çözümü için kesin çözüm teknikleri, sezgisel ve metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Braekers ve ark. (2016)’ya göre 2009 – 2015 yılları arasında yapılan ARP ile ilgili çalışmaların 277 adedi seçilmiş, bu çalışmalardan %71,25’i (233 adet) metasezgisel algoritmalar, %17,13’ü (56 adet) kesin çözüm teknikleri ve %9,79 (32 adet) klasik sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Geriye kalan çalışmalarda simulasyon ve gerçek zamanlı çözüm teknikleri uygulanmıştır.

ARP, başlangıçta bir depoda bulunan m aracın n müşteriye ayrı miktarlarda mal teslim edeceğini belirtir. Bir grup kullanıcıya hizmet verirken bir grup araç tarafından kullanılan en uygun rotanın belirlenmesi bir ARP problemini temsil eder. Amaç, toplam taşıma maliyetini en aza indirmektir. Klasik ARP probleminin çözümü, tümü depoda başlayan ve biten ve tüm müşterilere yalnızca bir kez hizmet verilmesi kısıtını karşılayan bir dizi rotadır. Toplam seyahat mesafesi azaltılarak ve gerekli araç sayısı azaltılarak

nakliye maliyeti iyileştirilebilir. Gerçek dünya problemleri genellikle klasik ARP'den çok daha karmaşık olmaktadır. Bu nedenle zamanla ARP problemleri dallanarak bir çok farklı türü ortaya çıkmıştır. Zaman pencereli ARP, periyodik ARP, dağıt-topla ARP, bölünmüş dağıtımlı ARP, dinamik ARP, çok seferli ARP, yeşil ARP, stokastik ARP ve benzeri çok fazla dala ayrılmıştır. (Caric & Gold, 2008)

2.3. Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama problemleri içerisinde en çok çalışılanlardan bir tanesi zaman pencereli araç rotalama problemidir (ZP-ARP). Bu tür problemlerde belirli bir alana yayılmış müşterilerin her biri için belirli zaman aralıkları tanımlanmaktadır. Müşteriye önceden belirlenmiş zaman aralığında 1 adet araç uğrayarak talebinin karşılanması esastır. Bu temel üzerine birçok farklı varyantı da türetilmiştir. ZP-ARP'nin birden fazla amacı olabilmekle beraber, asıl konu tüm kısıtları sağlayacak biçimde, araç veya araçlar için en düşük maliyetli güzergâh alternatifinin seçilmesidir. Bu düşük maliyet, problemin kısıtlarına göre farklılıklar gösterebilmektedir.

ZP-ARP, kendi içerisinde katı (hard) ve yumuşak (soft) olarak ikiye ayrılmaktadır. Katı zaman pencereli problemlerde, başlangıçta müşterilere atanan zaman penceresi içerisinde teslimat yapılması kuraldır, model bu şekilde kurulur. Araç müşteriye erken gelirse saatini bekler, geç gelmesi ise model kısıtı olarak tanımlandığı için mümkün değildir. Yumuşak zaman pencereli problemlerde ise zaman penceresi öncesi veya sonrası teslimat yapılabilir ancak bu durumlar için ceza maliyeti yansıtılacak şekilde model kurulur. Braekers ve ark (2016) derleme çalışmasında sınıflandırılan ZP-ARP kullanılan 124 modelin % 80,64'ü katı zaman pencereli %15,32'si yumuşak zaman pencereli ve kalanı da ikisinin karışımı mix modeller üzerinden yapılmıştır. Ayrıca yine aynı çalışmaya göre sınıflandırılan 277 ARP çalışmasının 124'ünde zaman pencereli modellerle çalışılmıştır.

Zhang ve ark. (2021), yaptıkları derleme çalışmasına göre, Solomon (1987) çalışması ile ZP-ARP ilk kez ele alınmış ve çözüm önerilmiştir. Thangiah ve ark. (1991) ve Blanton ve Wainwright (1993) çalışmalarında ZP-ARP genetik algoritma ile çözülmüştür. İlkinde toplam maliyet azaltılmaya çalışılmış, ikincisinde maliyetle birlikte araç sayısı da azaltılmaya çalışılmıştır. Koskosidis ve ark. (1992) çalışmasında yumuşak zaman penceresi kullanılmış ve penaltı maliyetleri modele eklenerek çözüm aranmıştır. Taillard ve ark. (1997) çalışmasında yine yumuşak zaman penceresi kullanmış ancak,

müşteriye erken gelmede, teslimat süresine kadar bekleme, geç gelmede ceza ödeme şeklinde model kurmuştur. Tabu arama sezgisel algoritması ile çözüme gidilmiştir. Gendreau ve ark. (1999) çalışmasında dinamik şekilde değişecek parametreler ile model kurup tabu arama algoritması ile çözüm aramıştır. Hashimoto ve ark. (2006) çalışmasında katı ve yumuşak zaman penceresini hibrit bir şekilde kullanarak dinamik değişen bir model oluşturmuştur. Müşteri önlerinde bekleme sürelerini de hesaba katmıştır. Iqbal ve ark. (2015) çalışmasında arı yiyecek arama davranışından uyarlanan yapay arı kolonisi hibrit sezgisel algoritması kullanmıştır. Zhang ve ark. (2019) çalışmasında çok amaçlı, esnek zaman pencereli problemi karınca koloni algoritması ile çözmüştür. Molina ve ark. (2020) değişik kapasiteli araçlar ile heterojen araç filolu bir problemi alarak karınca koloni algoritmasını esas alan memetik algoritma ile çözüm aramıştır.

2.4. Çok Seferli Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama problemlerinin bir diğer varyantı çok seferli araç rotalama problemleridir (ÇS-ARP). Bu tür problemlerde, araç kapasiteleri sınırlıdır. Araçlar, önceden belirlenmiş rotasını tamamladıktan sonra depoya döner. Sonrasında tekrar depodan ürün alarak yeni atanan rotasına dağıtımaya çıkar. Gün içerisinde belirlenen çalışma saatleri kapsamında araçlar, bir den fazla rotayı bu şekilde tamamlarlar.

Araç rotalama problemlerinde ki araçların bir den fazla sefer yapmasının bir çok nedeni bulunmaktadır. Özellikle çevrimiçi alışverişlerin artması ile perakende alışverişlerin son müşterilere dağıtım problemlerinde, zaman kısıtlı, zaman pencereli problemler ön plana çıkmıştır. Özellikle müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi için bir şekilde müşteriye ürünü istediği zaman aralığında ulaştırmak gerekmektedir. Dağıtım da zaman pencerelerine nedeniyle, her zaman aralığında müşteri sayısı azalmış, bu sebeple de küçük kapasiteli araçları tekrarlı bir şekilde kullanmak daha optimal olabilmektedir.

Genelde şehir merkezi ve yoğun nüfuslu bölgelerde ki taşıma problemleri için, hava kirliliği, gürültü gibi etkenler ile küçük araç kullanımı daha uygun olmaktadır. Bunun yanı sıra bazı şehir merkezlerinde kamyon veya kamyonet tarzı araçların gün içerisinde girişi yasaklanmış durumdadır. Küçük araç kullanımında araç kapasitesi düşük olacağı için araçların sefer sayıları artacaktır. Bir diğer gereklilik de elektrikli araçları dağıtımda kullanılmaya başlamasıdır. Bu tür araçların, belirli aralıklar ile şarj edilmeleri gerekliliği de araçların çok sefer yapmalarını beraberinde getirmiştir.

Cattaruzza ve ark. (2016), çok seferli araç rotalama problemleri (ÇS-ARP) hakkında yapılan çalışmaları derleyerek sınıflandırmıştır. Yapılan bu sınıflandırmaya göre 1959 yılında ARP problemlerinin ortaya çıkmaya başlaması sonrasında, hızlı bir şekilde yeni varyantları, problemleri, çözüm yöntemleri türemiştir. Ama çoğunlukla bu problemlerde araçların tek sefer yapması öngörülmüştür. Hâlbuki gerçek hayat problemlerinde özellikle kısa mesafeli rotalama problemlerinde az aracın çok sefer yapması daha optimal olmaktadır. Fleischmann (1990) çalışması bu konuda ilk kabul edilmiştir. Bu çalışmadan sonra da yıllar içinde git gide çok seferli araçlar ARP'lerde kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmalar genellikle, tek araçlı ve çok araçlı olarak ayrılmıştır.

ÇS-ARP için çözüm teknikleri çeşitli olmakla beraber ilk defa kesin çözüm tekniği önermesi Koç ve Karaoğlan (2011) yapılmıştır. Dal ve kesme algoritması ile ARP literatüründeki kesme eşitsizlikleri ÇS-ARP'ye uygulanmıştır. Sonrasında Mingozzi ve ark. (2013) tarafından daha karmaşık bir kesin çözüm tekniği önerilmiştir. ÇS-ARP'ler için sezgisel yöntemler daha önceden kullanılmaya başlanmıştır. Taillard ve ark. (1996) çalışmalarında 2 aşamalı sezgisel bir algoritma önermişlerdir. Birinci aşamada tabu arama algoritması ile rotalar listelenmiş, sonra bu rotalar, kutu paketleme problemine benzer mantıkta açgözlü algoritma ile yer değiştirilerek (swap) optimum arama yapılmıştır. Kutulara en uygun ürünlerin konulmasına benzer şekilde rotalara en uygun müşterilerin atanması amaçlanmıştır. Salhi ve Petch (2007) çalışmasında genetik algoritma kullanarak probleme çözüm aramıştır.

2.5. Çok Seferli ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama problemleri içerisinde özellikle şehir içinde son müşteriye dağıtım konusunda öne çıkan bir diğer varyant da çok seferli ve zaman pencereli araç rotalama problemi (ÇS-ZP-ARP) yaklaşımıdır. Bu tür problemlerde, depodan çıkan araçlar birden çok kez sefer yapabilir ve son müşterilere verilen saatler arasında uğraması beklenir. Daha önce üzerinde durduğumuz ZP-ARP ve ÇS-ARP problemlerinin birleşmiş hali şeklinde görebiliriz. Hem ulaşım maliyetlerini azaltma hem de müşteri memnuniyetini sağlama önemlidir.

Azi ve ark. (2007) çalışmasında tek araçlı ve tüm müşterilere uğrama zorunluluğu olmayan bir problem üzerinde çalışılmıştır. Araç için sefer süreleri limitli olarak belirlenmiş olup amaç olarak en fazla müşterinin talebini karşılamak seçilmiştir. Azi ve

ark. (2010) çalışmasında ise aynı problemi çok araçlı olarak ele almışlardır. Bu çalışmalarda müşterilere değer atanmakta ve olabildiğince çok müşteriye uğrayarak bu toplam değeri maksimize etmek amaçlanmaktadır. Bu çalışmalarda araçların seferlerine müşteriler atanmasından ziyade hazırlanan rotalar araçlara atanmıştır. Hernandez ve ark. (2014) bu sefer probleme biraz farklı yaklaşp, tüm müşterilerin hizmet alacak şekilde toplam yol maliyetini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Hernandez ve ark. (2016) çalışmasında ise araçlar için her seferden önce bir de yükleme zamanı eklemiştir. Kesin çözüm tekniği ile çözüm aranmıştır. Liu ve ark. (2018) çalışmasında aynı problemi farklı bir konu üzerinden ele alarak, evlere servise giden tamirciler üzerine, zamana bağlı maliyeti düşürme üzerinde durulmuştur. Tek sefer ile çok sefer arasındaki farklar araştırılmış olup, yine kesin çözüm tekniği kullanılmıştır.

2.6. Çok Seferli, Zaman Pencereli ve Kurye Destekli Araç Rotalama Problemi

Bu tür araç rotalama problemleri, rotada çalışacak sabit miktarda araçlarının yanı sıra daha hafif yükleri daha az müşteriye ulaştıracak kurye veya kuryelerde içermektedir. Büyük araçlar, büyük kapasite ile daha fazla noktaya hizmet verebilmekteyken, kuryeler az düşük kapasite ile az sayıda noktaya hizmet verebilmektedir. Özellikle zaman kısıtının belirleyici olduğu ve aşlamayacağı problemlerde kurye kullanımı ile maliyeti azaltmak ve daha optimal sonuçlara ulaşabilmek mümkün olmaktadır. Bunun yanı sıra şehir içi teslimatlarda, dar yollar ve trafik sıkışıklığı gibi sorunlu durumlarda kurye ile teslimat daha avantajlı olabilmektedir. Bazı sektörlerde, aylar veya mevsimlere göre ürün talepleri değişken olabilmekte, bunun sonucu olarak sabit araç bulundurma maliyeti nedeniyle, yoğun sezonlarda kurye veya hafif araç yardımı almak daha uygun olabilmektedir.

Bu konu üzerinde ilk olarak Ball ve ark. (1983) yapılacak teslimatlar için sabit bir araç filosuna ek olarak kiralanacak kuryeler üzerine çalışmışlardır. Chu (2005) çalışmasında sabit sayıda, sınırlı ve eşit kapasiteli araç filosu yanında kurye kullanımı ile müşteri taleplerini karşılayacak sezgisel bir algoritma ile çözüm aramıştır. Ceschia ve ark. (2011) çalışmalarında aynı problemi zaman penceresi ekleyerek genişletmiş ve tabu arama algoritması ile çözmüşlerdir. Chu ve Hsu (2019) çalışmalarında ise problem günlük hayata daha yakın bir şekile sokulmuş olup, araçlar için sabit ve değişken maliyetler atanarak çözülmüştür.

3. PROBLEM FORMULASYONU

Yapılan kaynak araştırması sonrası ele alacağımız problemin tanımı netleşmiştir. Problem net bir şekilde tanımlandıktan sonra modelin matematiksel ifadeler haline getirilmesi ve modelde kullanılan parametre sembollerinin açıklaması bu bölümde yapılacaktır.

3.1. Problem Tanımı

Çalışma kapsamında, bir süpermarketin, müşterilerinin çevrimiçi siparişleri için dağıtım problemi ele alınmıştır. Dağıtım problemi ile ilgili; Müşteri siparişleri, teslimat günü öncesinde toplanmaktadır. Müşteriler, 3 saatlik 3 adet zaman aralığından birini seçmektedir. Seçtikleri zaman aralığında siparişleri teslim edilmektedir. Süpermarket çevrimiçi gelen siparişleri tek bir depodan göndermektedir. Birbiriyle eşdeğer araçlardan oluşmuş bir araç filosu bulunmaktadır. Buna ek olarak siparişlerin kurye ile gönderme imkânı da bulunmaktadır. Araç ile gönderilecek siparişler için sabit maliyet ve aracın gittiği yol uzunluğuna göre değişken maliyet bulunmaktadır. Kurye ile gönderilecek siparişte ise tek, sabit bir maliyet bulunmaktadır. Araçlar birden fazla sefer yapabilmektedir. Araçların sefer süreleri sınırlıdır. Her sefer için, sefere atanmış müşteri siparişlerinin büyüklüğüne oranlı bir hazırlık zamanı bulunmaktadır. Ayrıca, müşteri noktalarında aracın bekleyeceği servis süresi de bulunmaktadır.

Bu şartlar altında yapılacak dağıtım işi için araç ve kuryenin, yol ve sabit maliyetini en aza indirecek model önerisi ile bu modelin kesin çözüm tekniği ile doğrulanması amaçlanmaktadır. Problem, müşteri ve araç sayısı parametreleri değiştirilerek çeşitlendirilecek, problem boyutu ve çözülme zorluğu arasındaki ilişki gözlemlenecektir.

Problem planlanırken kurye kullanımı, problemin çözümsüz (infeasible) olmasını da engellemektedir. Araç sayısı yetersiz kaldığında, kurye kullanımı devreye girebilmektedir. Bu sayede tüm müşteriler, kesin olarak talep ettikleri zaman aralığında hizmet alabilmektedir. Kurye kullanımına görece yüksek sabit maliyet atanmaktadır.

3.1.1. Problem Varsayımları

Matematiksel model aşağıdaki varsayımlar temel alınarak hazırlanmıştır.

- Tek depo vardır, her araç bu depodan çıkar ve sefer sonunda geri bu depoya döner.
- Tüm müşterilerin talepleri karşılanır. Her müşteriye, bir araç veya bir kurye uğrar.
- Her araç birden fazla sefere çıkabilir.
- Müşteri talepleri belirlidir. Her seferdeki toplam talep, araç kapasitesini geçemez.
- Tüm araçların yapacağı her bir sefer için sabit maliyet ve yapacağı yol uzunluğu ile ilişkili değişken maliyet vardır.
- Kuryenin her bir seferi için sabit maliyet vardır.
- Servis araçları bir biriyle eşdeğerdir. (homojendir)
- Her müşteri için zaman aralığı belirlenmiştir.
- Her servis aracı için belirlenmiş maksimum sefer süresi bulunmaktadır.

3.2. Matematiksel Model

Problemin matematiksel modeli oluşturulurken öncelikle Toth ve Vigo (2002) kitabındaki temel zaman pencereci araç rotalama modelinden başlanmıştır, Chu ve Hsu (2019) çalışmasındaki modelin amaç fonksiyonu ve kurye desteği kısımları kullanılıp, modele hazırlık zamanı karar değişkeni eklenmiş, araç kapasitesi üzerinden giden akış, zamana göre akışa çevrilmiştir. Martinez ve Amaya (2012) çalışmasında kullanılan modelden de özellikle çoklu sefer için zaman kısıtlarının oluşturulmasında yararlanılmıştır.

3.2.1. Problem Notasyonu

Model kapsamında, toplam M adet araç, $k: \{i=1,2,3,\dots,M\}$, vardır. Her araç toplam R adet tur (sefer), $r: \{i=1,2,3,\dots,R\}$, yapar. Her araç eşit kapasiteye, v_k , sahiptir. Toplam N adet müşteri, $i: \{i=0,2,3,\dots,N\}$, çevrimiçi olarak sipariş vermiştir. Her müşteri için, müşteri talebi, d_i , tanımlanmıştır. Başlangıç deposu, $i=0$, ve en son varış deposu, $i=N+1$, birbiriyle aynıdır. Depo ve müşteri noktaları arası yollar, (i,j) , için araç yol maliyeti, c_{ij} , araç yol süresi, t_{ij} , ile ilişkilidir. Depodan ilk çıkış saati, F , ile depoya son giriş saati, L , baştan tanımlanmıştır. Bu süreler arası 3 eşit aralığa bölünerek zaman pencereleri oluşturulmuştur. Her bir müşteri için, en erken varış saati, e_i , ve en geç varış saati, l_i , tanımlanmıştır. Aynı zamanda her bir müşteride geçen servis süresi, s_i , için belirli bir zaman belirlenmiştir. Her araç, her rotasının başında belirli bir hazırlık zamanı, H_{rk} ,

kadar bekledikten sonra sefere çıkar. Hazırlık zamanı, aracın atandığı rotadaki toplam sipariş miktarının, sabit hazırlık katsayısı, β , ile çarpımı sonucu ortaya çıkar. Her bir aracın her bir rotasını, belirlenen maksimum sürede, t_m , tamamlaması gerekmektedir. Servis araçlarının yanı sıra gerekirse belirli bir sabit maliyet, m_c , ile kurye tarafından siparişler teslim edilebilir. Kurye tek seferinde tek müşteriye gider. Değişken maliyeti yoktur. Müşterinin talebini zaman penceresi içerisinde gerçekleştirir. Kurye sayısı karar değişkeni, K_i , ile belirlenir.

3.2.2. Set ve İndeksler

N : Toplam Müşteri Sayısı

M : Toplam Araç Sayısı

R : Toplam Sefer Sayısı

N^+ : Toplam Nokta Sayısı

i : $\{i=0,2,3,\dots,N\}$

j : $\{j=1,2,3,\dots,N+1\}$

c : $\{c=1,2,3,\dots,N\}$

k : $\{k=1,2,3,\dots,M\}$

r : $\{r=1,2,3,\dots,R\}$

3.2.3. Parametreler

v_k : Araç Kapasitesi

d_i : Müşteri Talebi

m_k : Araç Sabit Maliyeti

m_c : Kurye Sabit Maliyeti

c_{ij} : Araç Yol Maliyeti (i 'den j 'ye)

t_{ij} : Araç Yol Süresi (i 'den j 'ye)

s_i : Müşteri Hizmet Süresi (i noktasında)

e_i : Müşteri En Erken Ziyaret Zamanı

l_i : Müşteri En Geç Ziyaret Zamanı

F : Depodan İlk Çıkış Saati

L : Depoya Son Giriş Saati

t_m : Maksimum sefer süresi

β : Depoda araçların hazırlık çarpanı

B: Büyük Sayı

3.2.4. Karar Değişkenleri

$$X_{ijrk} = \begin{cases} 1 & , i \text{ noktasından } j \text{ noktasına} \\ & r \text{ seferinde } k \text{ aracı gidiyor ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$Z_{irk} = \begin{cases} 1 & , i \text{ noktasını } r \text{ seferinde} \\ & k \text{ aracı ziyaret ediyor ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$K_i = \begin{cases} 1 & , i \text{ noktasını kurye ziyaret} \\ & \text{ediyor ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

T_{irk} : i noktasına r seferinde k aracının geliş saati

H_{rk} : r seferine k aracının hazırlık süresi

3.2.5. Model Formülasyonu

Amaç Fonksiyonu;

$$\text{Min } Z = \sum_{r \in R} \sum_{k \in M} m_k * Z_{0rk} + \sum_{i \in N^+} \sum_{j \in N^+} \sum_{r \in R} \sum_{k \in M} c_{ij} * X_{ijrk} + \sum_{i \in N} m_c * K_i \quad (0)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j \in N^+} X_{ijrk} = Z_{irk} \quad \forall i \in N, \forall r \in R, \forall k \in M, i \neq j \quad (1)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{k \in M} Z_{irk} + K_i = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} X_{0irk} = 1 \quad \forall r \in R, \forall k \in M \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N^+} X_{icrk} = \sum_{j \in N^+} X_{cjr k} \quad \forall c \in N, \forall r \in R, \forall k \in M, i \neq c, j \neq c \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} X_{i,n+1,r,k} = 1 \quad \forall r \in R, \forall k \in M \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N^+} d_i^* X_{ijrk} = v_k \quad \forall r \in R, \forall k \in M, i \neq j \quad (6)$$

$$\beta^* \sum_{i \in N} d_i^* Z_{irk} = H_{rk} \quad \forall r \in R, \forall k \in M \quad (7)$$

$$F + H_{1k} \leq T_{0,1,k} \quad \forall k \in M \quad (8)$$

$$L \geq T_{n+1,r,k} \quad \forall r \in R, \forall k \in M \quad (9)$$

$$T_{n+1,r,k} + H_{r+1,k} \leq T_{0,r+1,k} \quad \forall r \in R - |R_m|, \forall k \in M \quad (10)$$

$$T_{irk} + s_i + t_{ij} - B^*(1 - X_{ijrk}) \leq T_{jrk} \quad \forall i \in N^+, \forall j \in N^+, \forall r \in R, \forall k \in M, i \neq j \quad (11)$$

$$e_i^* Z_{irk} \leq T_{irk} \leq Z_{irk}^* l_i \quad \forall i \in N, \forall r \in R, \forall k \in M \quad (12)$$

$$T_{irk} + s_i \leq T_{0,r,k} + t_m \quad \forall i \in N, \forall r \in R, \forall k \in M \quad (13)$$

$$X_{ijrk} \in \{0,1\}, Z_{irk} \in \{0,1\}, K_i \in \{0,1\}, T_{irk} \geq 0, H_{rk} \geq 0 \quad (14)$$

Oluşturulan doğrusal programlama modelinde, (0) numaralı eşitlik ile çok amaçlı bir şekilde toplam maliyetleri en küçükleyecek amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu amaç fonksiyonu 3 kısımdan oluşmakta olup, sabit araç maliyeti, gidilen yol miktarına bağlı değişen değişken araç maliyeti ile kurye kullanılması halinde ortaya çıkacak sabit kurye maliyetinden oluşmaktadır. Kısıt (1) ile her bir aracın, bir müşteriye tek yoldan gitmesi sağlanmaktadır. Kısıt (2) ile her müşterinin talebinin araç veya kurye ile kesin olarak karşılandığı garanti edilmektedir. Kısıt (3) ile her aracın depodan çıktığı, kısıt (4) aracın

müşteri noktasına gelip sonrasında ayrıldığı, kısıt (5) ile de aracın tur sonunda depoya döndüğü belirtilmiştir. Kısıt (6) kapasite ile ilgilidir. Her bir aracın, her çıkacağı sefer için sefer kapsamında ki müşterilerin toplam talebinin, araç kapasitesini geçmemesi sağlanır. Kısıt (7) ile araçların depodan çıkmadan bekleyecekleri hazırlık zamanları, çıkacakları seferde ki toplam talep miktarına göre oranlı olarak hesaplanması sağlanır. Kısıt (8) ile aracın depodan en erken çıkış saati, kısıt (9) ile de depoya en son dönüş saati garanti altına alınmıştır. Kısıt (10) ile sefer bitiş ve sonraki seferin başlangıç saatlerinin birbirini izlemesi ve düzgün bir sırayla gitmesi sağlanmıştır. Kısıt (11) ile her bir noktaya varış saatleri belirlenmektedir. Kısıt (12) ile müşterilerin önceden belirlenmiş zaman pencerelerine uyularak ziyaret edilmesi ve taleplerinin karşılanması sağlanmıştır. Kısıt (13) ile her araç için maksimum sefer süresi belirlenmiştir. Bu süre dolmadan aracın tekrar depoya dönmesi esastır. Son olarak (14) karar değişkenleri için sınır ve aralıklar tanımlanmıştır.

4. UYGULAMA

Önerilen modelin, matematiksel tanımlamaları tamamlandıktan sonra, yazılıma kodlanması gerçekleştirilmiştir. Müşteri sayısı ve araç sayısı parametreleri değiştirilerek, değişik boyutlarda testler gerçekleştirilmiştir.

4.1. Test Problemine İlişkin Bilgiler

Test problemi olarak seçtiğimiz, gerçek hayattaki market dağıtım problemlerine benzer “Çok Seferli, Zaman Pencere ve Kurye Destekli Araç Rotalama Problemi” (ÇS-ZP-K-ARP) üzerine hali hazırda literatürde kullanılan bir veri seti bulunmadığı için, araştırmada kullanılacak veriler gerçek hayata oldukça yakın olacak şekilde, verilen aralıklara göre rastgele, bilgisayar programı yardımıyla seçilmiştir. Depo konumu ve müşterilerin bulunduğu nokta konumları, 50 x 50 büyüklüğünde bir uzay üzerinde, 1-50 sayı aralığından rastgele seçilen X ve Y koordinatlarına göre yerleştirilmiştir. Bu koordinat konum bilgilerine göre her bir müşteri arası ve depo arası mesafeler hesaplanarak mesafe matrisi oluşturulmuştur. Kullanılan veri seti ve veri setine ait bilgiler Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Bu bilgiler eşliğinde oluşturulmuş, her müşterinin kendi verisi EK-1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Kullanılan veri setleri

Varlık	Parametreler	Değer
Depo	Sayı	1
	Konum	X Koordinat: 41 - Y Koordinat: 8
	İlk Saat	09:00
	Son saat	18:00
Müşteri	Sayı	Küçük Boyutlu Problem İçin: 5-22 Orta Boyutlu Problem İçin: 22-44 Büyük boyutlu Problem İçin: 44-64
	Konum	X Koordinat: (1-50) aralığında – Y: Koordinat: (1-50) aralığında (EK-1)
	Talep	(4-30) kg aralığında (EK-1)
	İlk Zaman	09:00 - 12:00 - 15:00 (üçünden biri)(EK-1)
	Son Zaman	İlk Zaman + 3 saat (EK-1)
	Servis Zamanı	(4-15) dakika aralığında (EK-1)
Araç	Sayı	Küçük Boyutlu Problem İçin: 1-2 Orta Boyutlu Problem İçin: 3-4 Büyük boyutlu Problem İçin: 5-6
	Kapasite	100 kg

	Sabit Maliyet	7.5 tl
	Değişken Maliyet	1.5 tl / km
	Max. Sefer Süresi	4 saat
Sefer	Sayı	3
	Hazırlık Süresi	Seferde uğranılacak müşteri siparişleri toplamı * B katsayısı
	Birim Yol Süresi	1 dakika / km
	B katsayısı	0,4
Kurye	Sabit Maliyet	125 tl

Test probleminin çözümü için hazırlanan model, pyhton programlama dili ile kodlanmış, pyhton-pyomo modülü aracılığı ile Gurobi Optimizer version 9.5.0 build v9.5.0rc5 (win64) ile çözdürülmüştür. Her bir çalıştırma Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60 GHz hızında, 8 GB RAM belleğine sahip, işletim sistemi 64-bit olan bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Modelin pyhton programlama dili ile kodlanması, modelin esnekliğini ve ilerde başka çalışmalar ile devam ettirilmesini kolaylaştırmıştır. Her bir test için görsel rota modelleri de alınabilmektedir. Alınan rota modellerinin bir kısmı çalışmada da paylaşılmaktadır.

4.2. Sayısal Sonuçlar

Test problemi, çözüm değerlendirmesinin kolaylaştırılması için 3'e ayrılmıştır. Küçük, orta ve büyük boyutlu olarak 3 farklı durum için testler yapılmıştır. Tüm test problemlerinde ortak olarak kurye kullanım sayısı, araç sayısını arttırmada gösterge olarak belirlenmiştir. Oluşturulan model ve kullanılan parametre değerlerine göre kurye kullanımının sabit maliyeti yüksektir. Bu nedenle fazla sayıda kurye kullanımı, çözümü optimalikten uzaklaştırmaktadır. Yapılan analizlerde kurye kullanım sayısı 2 adet olduğunda, araç sayısı 1 adet arttırılmıştır. Aynı sayıda müşteri ve bir fazla araç ile bir sonraki probleme geçilmiştir. Boyutuna göre problemlerden sonra birde sabit açıklık (GAP) belirlenerek, problem boyutu büyüdükçe, çözüm zamanın süresi arasındaki ilişkiye bakılmıştır.

Çalışmanın sayısal sonuçlarında sıkça kullanılan "açıklık" (GAP) kavramı, programın çözüm tekniği ile ilgilidir. Modelin kesin çözüm tekniği ile çözümünde çözücü program, dal-sınır algoritması kullanmaktadır. Dal-sınır algoritmasının çalışma esnasında, bulunan her çözümden sonra, bu çözümden ilerleyen yeni çözüm dalları çıkar. Bu yeni çıkan dallarda parametre değerleri değişmiş olur ve sonuçta yeni bir amaç fonksiyonu

değeri ortaya çıkar. Her dal ile ortaya çıkan amaç fonksiyonu değeri önceki bulunan amaç fonksiyonu değerleri ile karşılaştırılarak o ana kadar bulunanların en iyisi sabitlenir. Birde program algoritmasının ilk aşamada tespit ettiği, en iyi alt veya üst sınır değeri bulunmaktadır. Problemimiz minimizasyon olduğu için en iyi alt sınır değeri önem kazanmaktadır. Kullanılan çözücü bu değeri birçok farklı şekilde elde etmektedir. Tam sayılı parametreler yerine tam sayılı olmayan parametreler kullanarak, kısıtları gevşeterek, ortalamalar alarak ve benzeri yolları bulunmaktadır. Bu noktada elimizde en iyi alt sınır ve o ana kadar bulunan en iyi amaç fonksiyonu değeri bulunmaktadır. Bu iki değer arasındaki fark bize “açıklık” değerini vermektedir. Örneğin bir minimizasyon probleminde çözücü çalıştıktan sonra 145. saniyede bulunduğu en iyi optimal çözüm 745 olsun. Çözünün başlangıçta modelde yaptığı çeşitli gevşemeler ve farklı teknikleri ile bulunduğu en iyi alt sınır değeri de 624 olsun. Bu durumda açıklık değeri yaklaşık %19 olmaktadır. Yani en iyi alt sınır değerine %19 yaklaşılmış olmaktadır. Bu oran 0 olduğunda ise optimal sonuca ulaşılmış olmaktadır. Başlangıçta çözünün bulunduğu en iyi alt sınır değeri optimal değer olmayıp, optimal değerden daha düşük bir değerdir.

4.2.1. Küçük boyutlu problem

Küçük boyutlu test problemlerinin çözümü için 5 adet müşteri ve 1 adet araçlık veri seti ile başlanmıştır. Müşteri ve araç sayısı kademeli olarak artırılarak, toplam 18 adet test yapılmıştır. Küçük boyutlu problem testleri için çözücüye maksimum zaman 600 saniye (10 dakika) girilmiş olup, bu süre sonunda çözücü sonlanmıştır. Çizelge 4.2.’de analiz sonuçları sunulmaktadır.

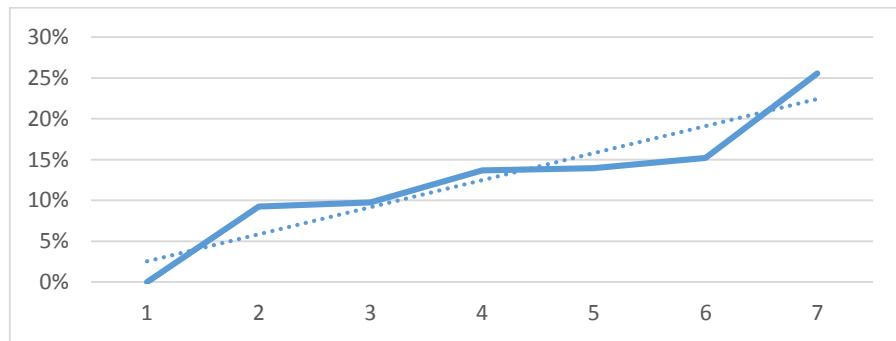
Çizelge 4.2. Küçük boyutlu problem sonuçları tablosu

Problem No	Müşteri Sayısı	Araç Sayısı	Optimal Değer	Zaman (sn)	Açıklık (GAP %)	Kurye Seferi
KP1	5	1	312,632	0,0	0%	0
KP2	6	1	346,988	0,1	0%	0
KP3	7	1	386,845	0,3	0%	1
KP4	8	1	426,360	0,4	0%	1
KP5	9	1	440,475	0,5	0%	1
KP6	10	1	491,550	1,2	0%	1
KP7	11	1	504,470	2,0	0%	1
KP8	12	1	504,473	5,2	0%	1
KP9	13	1	511,375	7,5	0%	1
KP10	14	1	636,375	74,8	0%	2

KP11	14	2	559,175	116,9	0%	0
KP12	15	2	559,215	138,5	0%	0
KP13	16	2	584,250	600,0	9,2%	0
KP14	17	2	612,473	600,0	9,8%	0
KP15	18	2	644,930	600,0	13,7%	1
KP16	19	2	645,029	600,0	14,0%	1
KP17	20	2	664,650	600,0	15,2%	1
KP18	22	2	758,554	600,0	25,6%	2

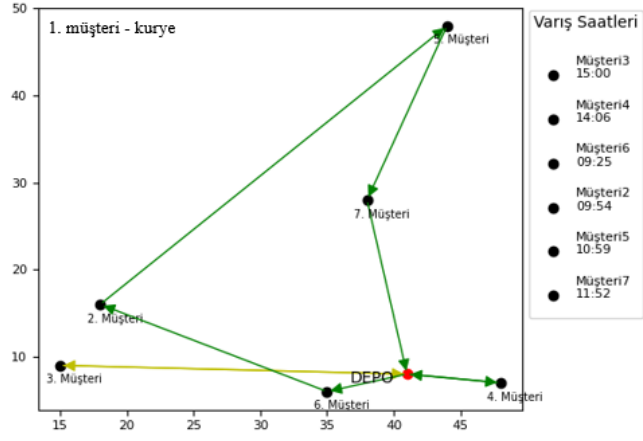
Çizelge 4.2.'deki sonuçlara göre 15 müşteri 2 araçlık boyuta kadar olan problemler 600 saniye içerisinde çözülebilmiş, optimal değeri bulunmuştur. Bunun üzerinde büyüklüğe sahip problemlerde, 600 saniye optimal çözüme ulaşmaya yetmemiş, belirli açıklık değerleri ile sonuca ulaşılmıştır. KP11 numaralı problemde kuryenin 2 adet sefer yaptığı görülmüş, kurye seferlerinin maliyet artırıcı etkisinden dolayı, araç sayısı 1 adet artırılmıştır.

Şekil 4.1.'de ki grafik, test problemleri için açıklık değerlerinin değişimini göstermektedir. Grafikte sabit zaman değerinde problem büyüdükçe optimal çözüme ulaşma açıklığının da git gide arttığı görülmektedir. Küçük boyutlu problemler 600 saniye boyunca çözdürüldüğünde, problem boyutu arttıkça grafikte gösterilen eğim oranında optimallikten uzaklaşmaktadır. 600 saniyelik süre sonunda 22 müşteri ve 2 araçlık problem için optimal çözüme %25,6 oranında yaklaşılabilmektedir.

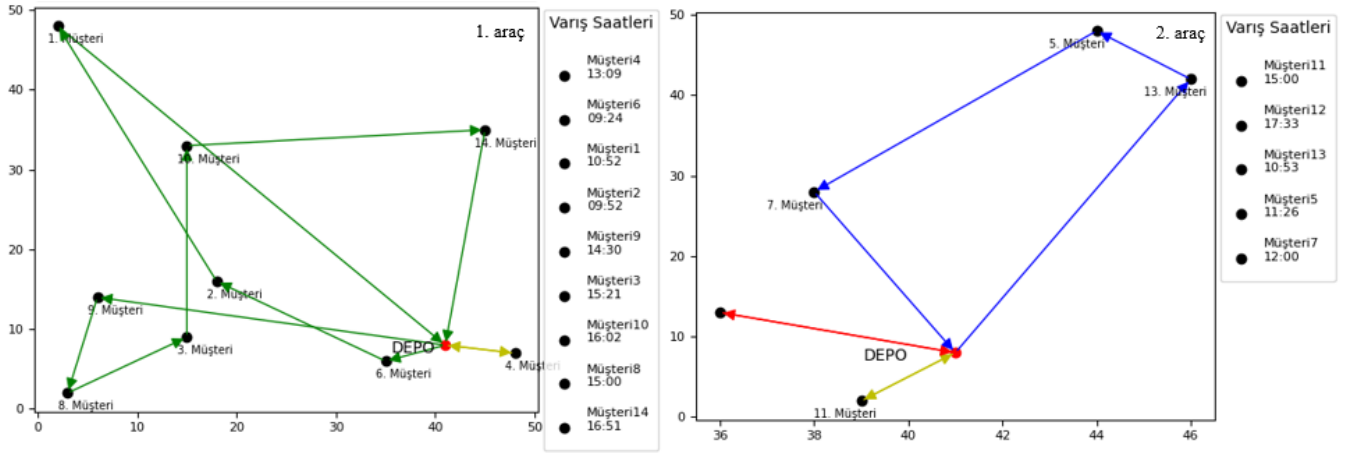


Şekil 4.1. Küçük boyutlu problem zaman-açıklık grafiği

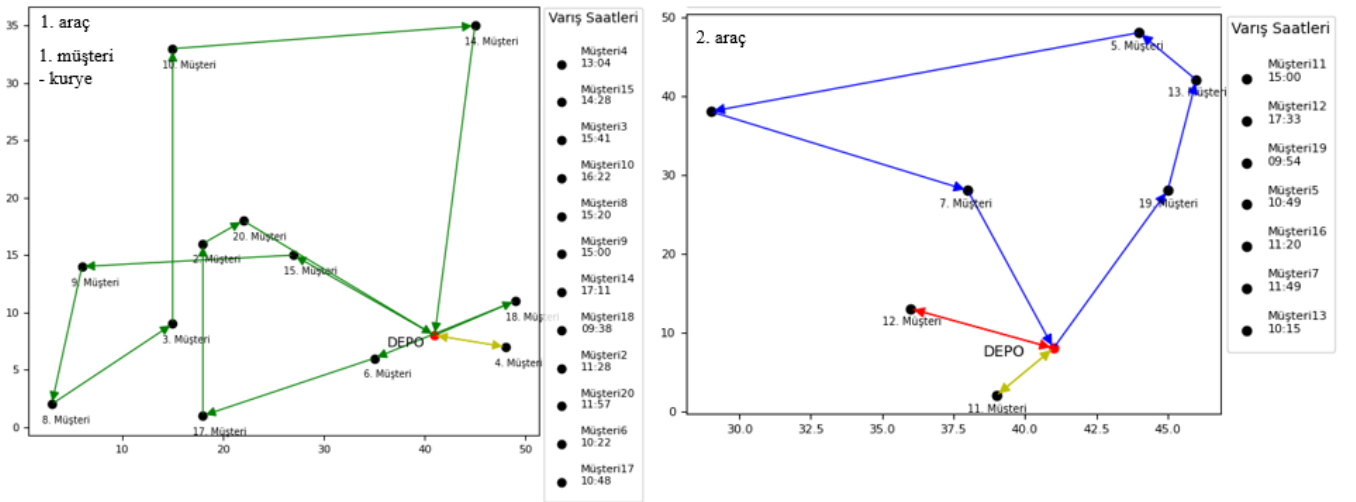
Küçük boyutlu test problemleri için arasından rastgele seçilen 3 tanesinin oluşan rota görselleri şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'de paylaşılmıştır. Araçlar için oluşturulan rotalar ile müşterilere varış saatleri gösterilmektedir.



Şekil 4.2. KP3 problemi oluşan rota görseli



Şekil 4.3. KP11 problemi oluşan rota görseli



Şekil 4.4. KP17 problemi oluşan rota görseli

4.2.2. Orta boyutlu problem

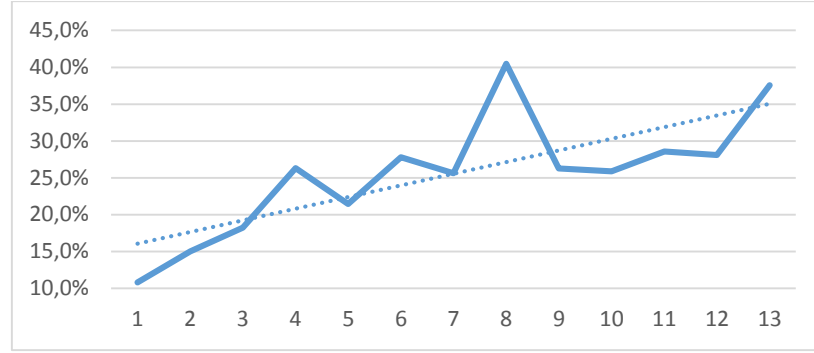
Orta boyutlu test problemlerinin çözümü için 22 adet müşteri ve 3 adet araçlık veri seti ile başlanmıştır. Müşteri ve araç sayısı kademeli olarak arttırılarak, toplam 13 adet test yapılmıştır. Orta boyutlu problem testleri için çözücüye maksimum zaman 1200 saniye (20 dakika) girilmiş olup, bu süre sonunda çözücü sonlanmıştır. Çizelge 4.3.'de analiz sonuçları sunulmaktadır.

Çizelge 4.3. Orta boyutlu problem sonuçları tablosu

Problem No	Müşteri Sayısı	Araç Sayısı	Optimal Değer	Zaman (sn)	Açıklık (GAP %)	Kurye Seferi
OP1	22	3	721,943	1200	10,8%	0
OP2	24	3	762,816	1200	15,0%	1
OP3	26	3	790,755	1200	18,3%	0
OP4	28	3	914,611	1200	26,3%	1
OP5	30	3	897,906	1200	21,4%	0
OP6	32	3	993,835	1200	27,8%	1
OP7	34	3	949,954	1200	25,6%	0
OP8	36	3	1.199,722	1200	40,5%	2
OP9	36	4	1.062,992	1200	26,3%	0
OP10	38	4	1.080,485	1200	25,9%	0
OP11	40	4	1.155,413	1200	28,6%	0
OP12	42	4	1.150,273	1200	28,1%	0
OP13	44	4	1.364,833	1200	37,6%	2

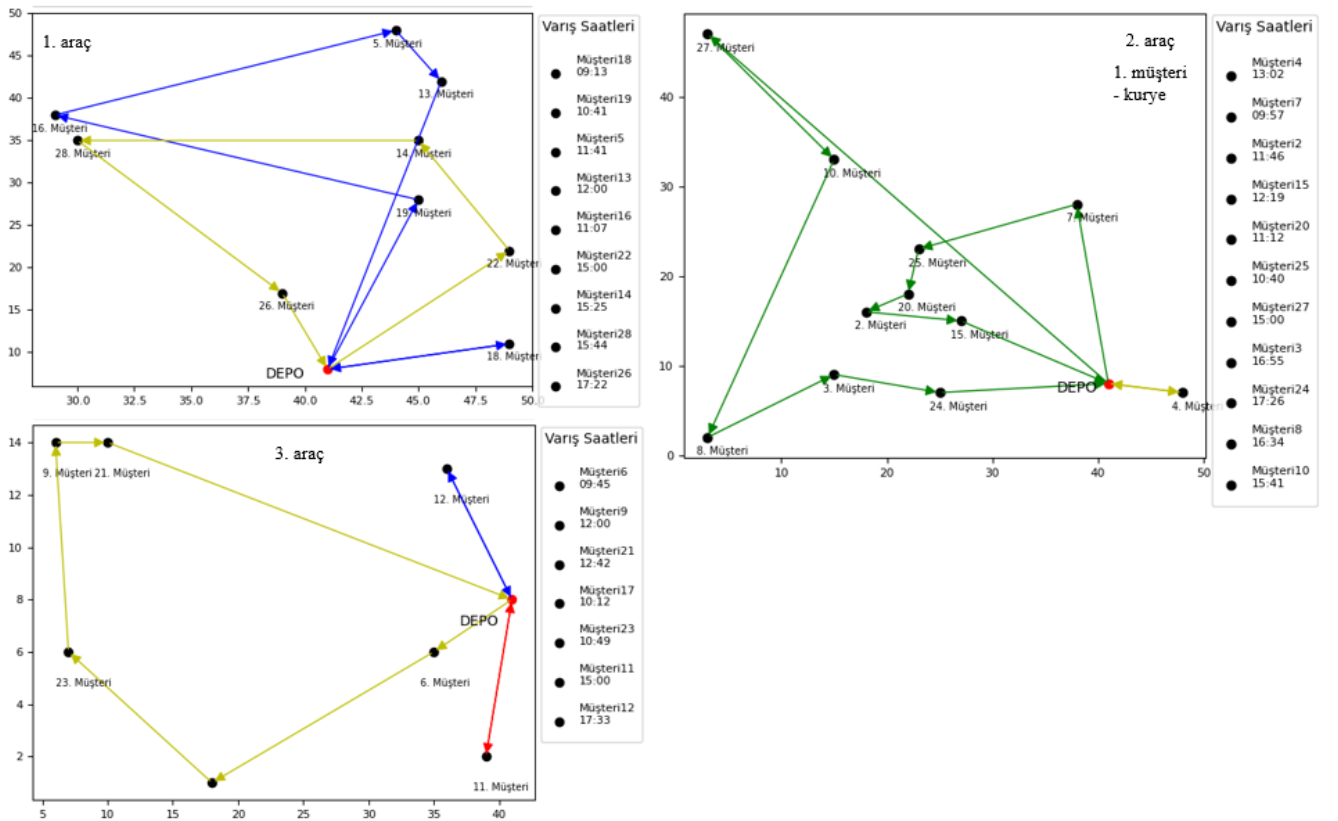
Çizelge 4.3.'deki sonuçlara göre orta boyutlu problemlerin hiç biri için, 1200 saniye süre optimal çözüme ulaşmaya yetmemiş olup, belirli açıklık değerleri ile optimal sonuca yaklaşmıştır. OP8 numaralı problemde kuryenin 2 adet sefer yaptığı görülmüş, kurye seferlerinin maliyet arttırıcı etkisinden dolayı, araç sayısı 1 adet arttırılmıştır.

Şekil 4.5.'de ki grafik, test problemleri için açıklık değerlerinin değişimini göstermektedir. Grafikte sabit zaman değerinde problem büyüdükçe optimal çözüme ulaşma açıklığının da git gide arttığı görülmektedir. Orta boyutlu problemler 1200 saniye boyunca çözdürüldüğünde, problem boyutu arttıkça grafikte gösterilen eğim oranında optimallikten uzaklaşmaktadır. 1200 saniyelik süre sonunda 44 müşteri ve 4 araçlık problem için optimal çözüme %37,6 oranında yaklaşılabilmiştir.

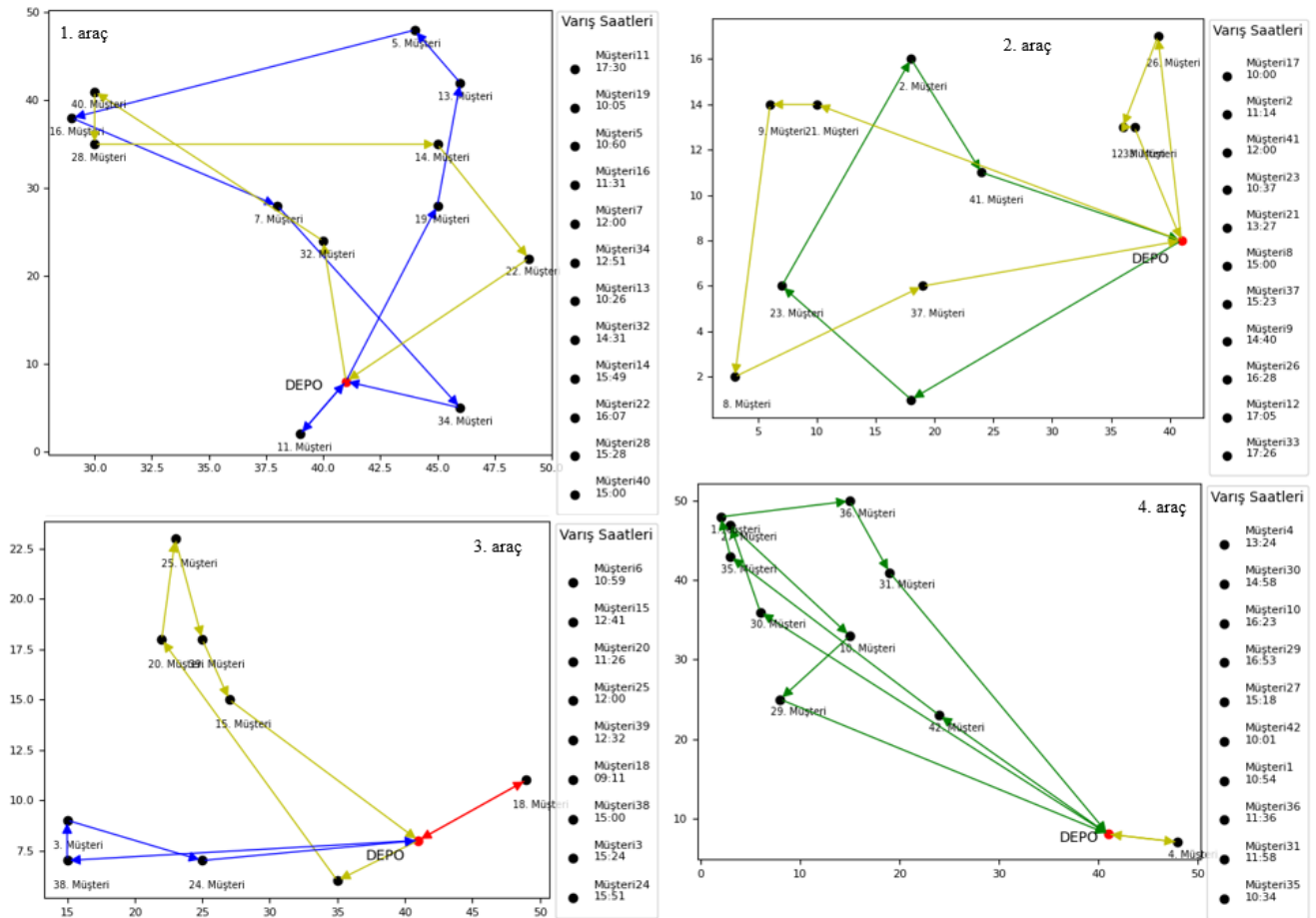


Şekil 4.5. Orta boyutlu problem zaman-açıklık grafiği

Orta boyutlu test problemleri için arasından seçilen 2 tanesinin oluşan rota görselleri şekil 4.5 ve 4.6'da paylaşılmıştır. Her bir araç için oluşan rotalar ve her müşteriye varış saatleri gösterilmektedir.



Şekil 4.6. OP4 problemi oluşan rota görseli



Şekil 4.7. OP12 problemi oluşan rota görseli

4.2.3. Büyük boyutlu problem testleri

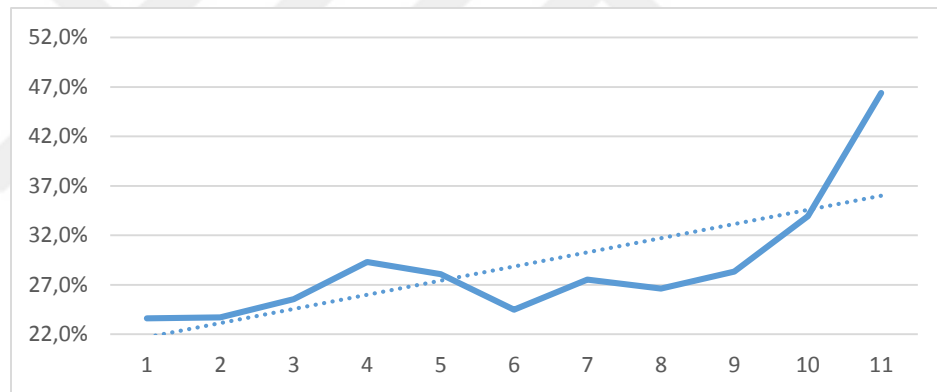
Büyük boyutlu test problemlerinin çözümü için 44 adet müşteri ve 5 adet araçlık veri seti ile başlanmıştır. Müşteri ve araç sayısı kademeli olarak artırılarak, toplam 11 adet test yapılmıştır. Orta boyutlu problem testleri için çözücüye maksimum zaman 1800 saniye (30 dakika) girilmiş olup, bu süre sonunda çözücü sonlanmıştır. Çizelge 4.4.'de analiz sonuçları sunulmaktadır.

Çizelge 4.4. Büyük boyutlu problem sonuçları

Problem No	Müşteri Sayısı	Araç Sayısı	Optimal Değer	Zaman (sn)	Açıklık (GAP %)	Kurye Seferi
BP1	44	5	1.278,890	1800	23,6%	0
BP2	46	5	1.280,651	1800	23,7%	0
BP3	48	5	1.281,386	1800	25,6%	0
BP4	50	5	1.326,223	1800	29,3%	0
BP5	52	5	1.652,726	1800	28,1%	2

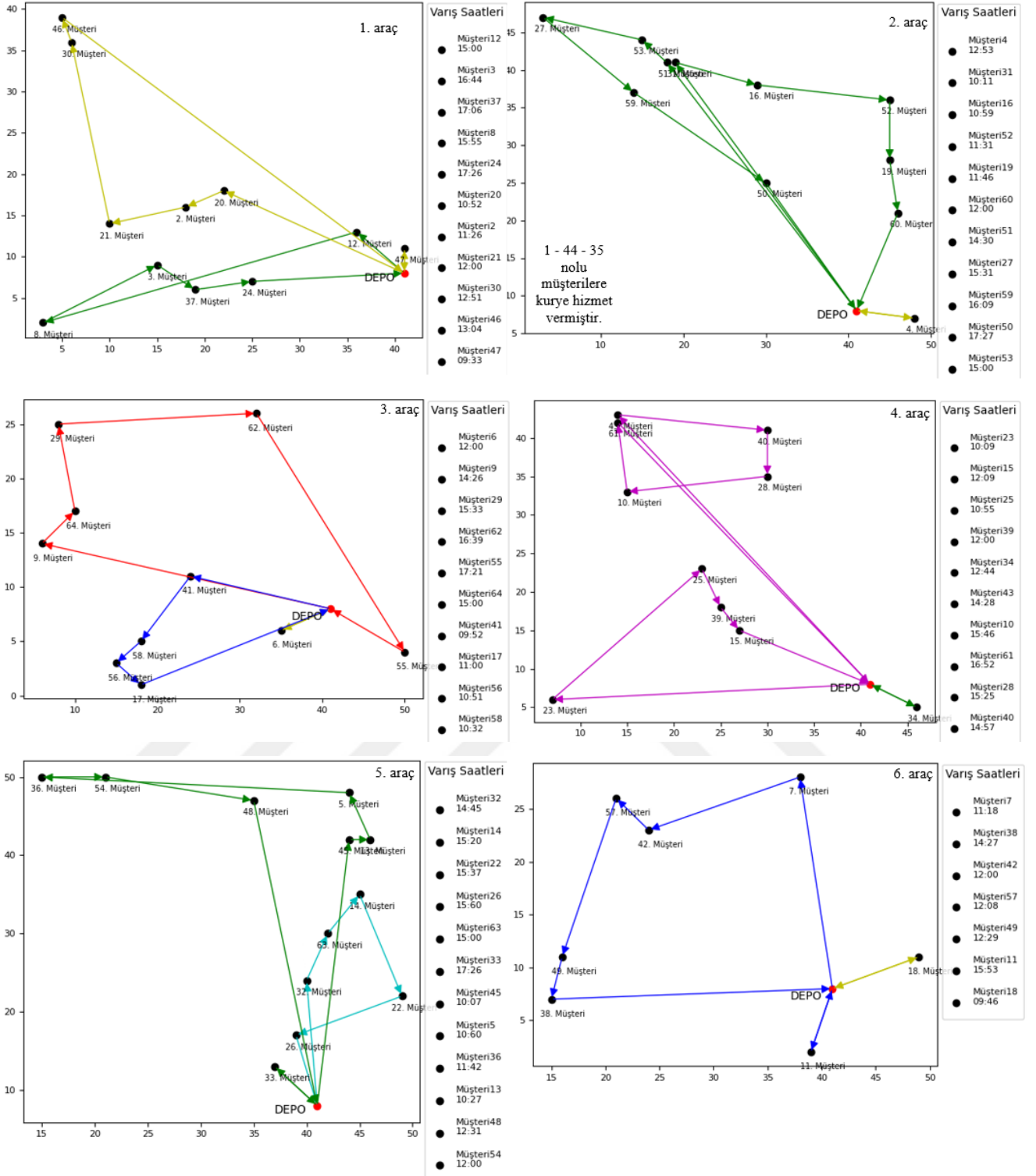
BP6	52	6	1.386,504	1800	24,5%	0
BP7	54	6	1.539,458	1800	27,5%	0
BP8	56	6	1.490,248	1800	26,6%	0
BP9	58	6	1.544,580	1800	28,3%	0
BP10	60	6	1.667,420	1800	33,9%	0
BP11	64	6	2.095,597	1800	46,4%	3

Çizelge 4.4.'deki sonuçlara göre, 1800 saniye süre kesin çözüme ulaşmaya yetmemiş olup, belirli açıklık değerleri ile optimal sonuçlar bulunmuştur. BP5 numaralı problemde kuryenin 2 adet sefer yaptığı görülmüş, kurye seferlerinin maliyet artırıcı etkisinden dolayı, araç sayısı 1 adet arttırılmıştır. Şekil 4.8.'de ki grafik test problemleri için açıklık değerlerinin değişimini göstermektedir. Büyük boyutlu problemler 1800 saniye boyunca çözdürüldüğünde, problem boyutu arttıkça grafikte gösterilen şekilde optimallikten uzaklaşmaktadır. 1800 saniyelik süre sonunda 64 müşteri ve 6 araçlık problem için optimal çözüme %46,4 oranında yaklaşılabilmektedir.



Şekil 4.8. Büyük boyutlu problem zaman-açıklık grafiği

Büyük boyutlu test problemleri için arasından seçilen 1 tanesinin oluşan rota görselleri şekil 4.9.'da paylaşılmıştır. Her bir araç için oluşan rotalar ve her müşteriye varış saatleri gösterilmektedir.



Şekil 4.9. BP11 problemi oluşan rota görseli

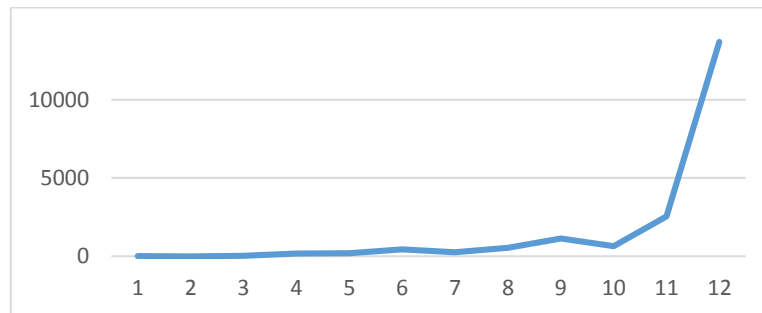
4.2.4. Sabit açıklıklı (GAP) problem testleri

Sabit açıklıklı (GAP) problem testlerinde, çözücü için kabul edilebilir en yüksek açıklık değeri belirlenmiş ve bu değere gelindiğinde çözücü sonlandırılmıştır. %30 olarak belirlenen açıklık değerine ulaşmak için geçen süreler ölçülmek istenmiştir. Yani optimal çözüme %30'a yaklaşıldığında ulaşılan değerler alınmıştır. Önceki bölümlerde yapılan küçük, orta ve büyük boyutlu analizlere bakılarak, müşteri ve araç sayıları belirlenmiştir. Toplam 12 adet problem test edilmiştir.

Çizelge 4.5. Sabit açıklıklı problem sonuçları

Problem No	Müşteri Sayısı	Araç Sayısı	Optimal Değer	Zaman (sn)	Açıklık (GAP %)	Kurye Seferi
SAP1	20	2	754,809	20,5	30%	2
SAP2	24	3	900,558	7,95	30%	1
SAP3	28	3	879,058	47,68	30%	0
SAP4	32	3	1.017,921	181,00	30%	1
SAP5	36	4	1.103,734	195,48	30%	0
SAP6	40	4	1.177,490	443,62	30%	0
SAP7	44	5	1.362,735	265,26	30%	0
SAP8	48	5	1.297,984	549,28	30%	0
SAP9	52	6	1.470,040	1131,71	30%	0
SAP10	56	6	1.545,931	656,26	30%	0
SAP11	60	6	1.559,462	2547,79	30%	0
SAP12	64	6	1.687,000	13680,4	30%	0

Çizelge 4.5.'deki sonuçlara göre %30 açıklık değeri ile 20 müşteri 2 araçlık problem 20 saniyede çözülebiliyorken, 64 müşteri 6 araçlık problem 13680 saniyede (yaklaşık 4 saat) çözülebilmektedir. Buda bize problem boyutu ile çözüm süresi arasında ki farkın gerçekten çok fazla olduğunu göstermektedir. Şekil 4.10'da, yapılan testler için oluşan grafik sunulmaktadır.



Şekil 4.10. Sabit açıklıklı problem zaman grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada öncelikle, araştırma konumuz olan süpermarketlerin çevrimiçi siparişlerinin dağıtımına yönelik kullanılabilir, gerçek şartlara benzer bir model çerçevesi araştırılmıştır. Klasik kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin üzerine, zaman penceresi, çoklu sefer ve kurye desteğinin de eklenerek oluşturulacak bir modelin kullanılabilirliğine karar verilmiştir. Bu çerçeve üzerine araştırmalar yapılarak, buna uygun matematiksel model yazılmıştır. Yazılan model kodlanarak, GUROBİ çözücüsü ile kesin çözüm tekniği dal-sınır algoritması ile çözülmüştür. Problemler, küçük, orta ve büyük boyut olarak ele alınmış, 42 farklı problemde müşteri ve araç sayısı değiştirilerek testler yapılmıştır. Her problem boyutu için ayrı zaman süresi verilmiştir. Buna ek olarak 12 adet problemde de sabit çözüm açıklığında, problem büyüklüğü kademeli olarak artırılarak testler yapılmıştır. Yapılan tüm testlerin sonucu, test edilen problemler için bulunan optimal değer, çözüme ulaşılan zaman ve açıklık değeri (optimal değere yakınlık) tablolarında sunulmuştur.

Yapılan testler sonucu, küçük boyutlu problem grubu için önerilen model, 15 müşteriye kadar, verilen süre (600 saniye) içerisinde optimal sonucu bulabilmektedir. 22 müşteriye kadar ise yaklaşık %25 açıklık değeri ile optimal sonucu vermektedir. Problem boyutu büyüdükçe optimal çözüme yaklaşma oranı azalmaktadır. Orta boyutlu problem için, verilen sürede (1200 saniye) problem testleri yaklaşık %11 açıklık değeri ile başlamış ve %37 açıklık değeri ile bitmiştir. Büyük boyutlu problem için verilen sürede (1800 saniye) problem testleri yaklaşık %23 açıklık değeri ile başlamış ve %46 açıklık değeri ile bitmiştir. Bu boyutun üzerinde ki problemler için açıklık değeri daha da yüksek olacağı görülmektedir. Sabit açıklık değeri (%30) ile yapılan testlerde 20 müşteri için 20 saniye ile başlayan test süresinin 64 müşteriye gelindiğinde yaklaşık 4 saate çıktığı görülmüştür.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, problem boyutuna göre, çözüm süresi ve çözüm kalitesinin çok fazla değiştiği görülmektedir. Problemin ve oluşturulan modelin karmaşıklığı göz önüne alındığında, bu sonucun öngörülen şekilde olduğu söylenebilir.

Test sonuçları incelendiğinde, verilen süreler ve açıklık değerleri dikkate alındığında, önerilen modelin kesin çözüm tekniği ile çözümü için kullanıcının ayırabileceği süre ve kullandığı bilgisayarın yeterliliği önem arz etmektedir. Yüksek işlemci gücüne sahip bilgisayarlar ile daha iyi süreler ve daha düşük açıklık değerleri elde etme imkânı bulunabilir. Bunun yanında son kullanıcı tarafından akşamdan başlatılıp,

sabaha kadar çalışma durumu söz konusu olursa, bu durumda da kesin çözüm tekniği ile bir noktaya kadar kullanılabilir. Yalnız bu noktada da müşteri adedi fazla ise optimal sonuca ulaşmak zor olacaktır.

Hazırlanan modelin, daha kullanılabilir olması adına, sezgisel veya meta sezgisel algoritmalar ile kodlanarak çözülmesi ve testlerinin yapılması gelecek çalışmalar için faydalı olacaktır. Sezgisel ve meta sezgisel algoritmalar ile çok daha fazla büyük boyutlu problemlerin çözülebileceği öngörülmektedir.. Sezgisel ve meta sezgisel algoritmalar ile uygulanacak çözümün, aynı veri seti kullanılarak, bu çalışmadaki sonuçlar ile karşılaştırılması, gelecekte yapılacak çalışmalar için doğru olacaktır.

Hazırlanan model, gelecekteki çalışmalarda, yumuşak zaman penceresi kısıtları yani müşterilere erken veya geç gelmede ceza maliyeti yansıtılması ile genişletilebilir.

Çalışmada kullanılan verilerin, gerçek bir işletmeden alınmamış olması, konu ile ilgili mevcut literatürde her hangi bir veri setinin de bulunmaması, veri yönünden çalışmamıza sınırlılık katmıştır. Gelecek araştırmalarda, gerçek veriler toplanarak, yazılan model ile uygulamasının yapılması da denenebilir.

KAYNAKLAR

- Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2007). An exact algorithm for a single-vehicle routing problem with time windows and multiple routes. *European Journal of Operational Research*, Volume 178, Issue 3, 755-766.
- Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2010). An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *European Journal of Operational Research*, Volume 202, Issue 3, 756 - 763.
- Ball, M. O., Golden, B. L., Assad, A. A., & Bodin, L. (1983). Planning for truck fleet size in the presence of a common- carrier option. *Decision Sciences 14*, 103-120.
- Blanton, J. L., & Wainwright, R. (1993). Multiple Vehicle Routing with Time and Capacity Constraints Using Genetic Algorithms. *Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms*, 452-459.
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Nieuwenhuyse, I. V. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers and Industrial Engineering*, vol: 96, 300-313.
- Caric, T., & Gold, H. (2008). *Vehicle Routing Problem*. Vienna: In-Teh.
- Cattaruzza, D., Absi, N., & Feillet, D. (2016). Vehicle routing problems with multiple trips. *A Quarterly Journal of Operations Research*, p.223-259.
- Ceschia, S., Di Gaspero, L., & Schaerf, A. (2011). Tabu search techniques for the heterogeneous vehicle routing problem with time windows and carrier-dependent costs. *J Sched*, 601–615.
- Chu, C.-W. (2005). A heuristic algorithm for the truckload and less-than-truckload problem. *European Journal of Operational Research*, Volume 165, Issue 3, 657-667.
- Chu, C.-W., & Hsu, H.-L. (2019). A heuristic algorithm for multiple trip vehicle routing problems with time window constraint and outside carrier selection. *Maritime Business Review*.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4):568-581.
- Dantzig, G. B., & J. H. Ramser. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1):80-91.
- Dantzig, G., Fulkerson, R., & Johnson, S. (1954). Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem. *Journal of the Operations Research Society of America*, Vol 2, No 4.

- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 57, Issue 4, Pages 1472-1483.
- Emeç, U., Çatay, B., & Bozkaya, B. (2016). An Adaptive Large Neighborhood Search for an E-grocery Delivery Routing Problem. *Computers & Operations Research*, Volume 69, 109-125.
- Fleischmann, B. (1990). *The vehicle routing problem with multiple use of vehicles*. Hamburg: Fachbereich Wirtschaftswissenschaften.
- Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J. Y., & Taillard, É. (1999). Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching. *Transportation science*, 381-390.
- Hashimoto, H., Ibaraki, T., Imahori, S., & Yagiura, M. (2006). The vehicle routing problem with flexible time windows and traveling times. *Discrete Applied Mathematics*, Volume 154, Issue 16, 2271-2290.
- Hernandez, F., Feillet, D., Giroudeau, R., & Naud, O. (2014). A new exact algorithm to solve the multi-trip vehicle routing problem with time windows and limited duration. *4OR-Q J*, 235-259.
- Hernandez, F., Feillet, D., Giroudeau, R., & Naud, O. (2014). Branch-and-price algorithms for the solution of the multi-trip vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, Volume 249, Issue 2, 551-559.
- Iqbal, S., Kaykobad, M., & Rahman, M. S. (2015). Solving the multi-objective Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows with the help of bees. *Swarm and Evolutionary Computation*, 50-64.
- Koç, C., & Karaoğlan, I. (2011). A branch and cut algorithm for the vehicle routing problem with multiple use of vehicles. *41st International Conference on Computers & Industrial Engineering*, (s. 554-559). Los Angeles.
- Koskosidis, A., Y., B. W., Powell, & Solomon, M. M. (1992). An optimization-based heuristic for vehicle routing and scheduling with soft time window constraints. *Transportation science*, 69-85.
- Lagorio, A., & Pinto, R. (2021). Food and grocery retail logistics issues: A systematic literature review. *Research in Transportation Economics*, Volume 87.
- Lin, S., Bard, J. F., Jarrah, A. I., Zhang, X., & Novoa, L. J. (2017). Route design for last-in, first-out deliveries with backhauling. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 76, 90-117.
- Liu, S., Qin, S., & Zhang, R. (2018). A branch-and-price algorithm for the multi-trip multi-repairman problem with time windows. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 116, 25-41.

- Martinez, L., & Amaya, C. (2012). A vehicle routing problem with multi-trips and time windows for circular items. *Journal of the Operational Research Society*, 1-14.
- Mingozzi, A., Roberti, R., & Toth, P. (2013). An Exact Algorithm for the Multitrip Vehicle Routing Problem. *INFORMS Journal on Computing*, 193-207.
- Molina, J. C., Salmeron, J. L., & Eguia, I. (2020). An ACS-based memetic algorithm for the heterogeneous vehicle routing problem with time windows. *Expert Systems with Applications*, Volume 157.
- Salhi, S., & Petch, R. J. (2007). A GA Based Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Multiple Trips. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 6(4):591-613.
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2):254-265.
- Taillard, É. D., Laporte, G., & Gendreau, M. (1996). Vehicle Routing with Multiple Use of Vehicles. *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 47, no. 8, 1065–70.
- Taillard, É., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., & Potvin, J. Y. (1997). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation science*, 170-186.
- Thangiah, S., Nygard, K., & Juell, P. (1991). GIDEON: a genetic algorithm system for vehicle routing with time windows. *Proceedings The Seventh IEEE Conference on Artificial Intelligence Application*, 322-328.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- TÜİK. (2021). *Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) Kullanım Araştırması*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu.
- Yanik, S., Bozkaya, B., & deKervenoael, R. (2014). A new VRPPD model and a hybrid heuristic solution approach for e-tailing. *European Journal of Operational Research*, Volume 236, Issue 3, 879-890.
- Zhang, H., Ge, H., Yang, J., & Tong, Y. (2021). Review of Vehicle Routing Problems: Models, Classification and Solving Algorithms. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 195–221.
- Zhang, H., Zhang, Q., Ma, L., Zhang, Z., & Liu, Y. (2019). A hybrid ant colony optimization algorithm for a multi-objective vehicle routing problem with flexible time windows. *Information Sciences*, Volume 490, 166-190.

EKLER

EK-1 Test Verileri

Test probleminde kullanılan, 64 adet müşteri için rastgele oluşturulmuş veri setidir. Problem boyutuna göre kullanılmıştır. Örneğin 10 müşterilik problem testi için ilk 10 adedi, 30 sayılık problem testi için ilk 30 adedi kullanılmıştır. Problem boyutu en fazla 64 müşteriye kadar çıktığı için 64 adetlik veri seti hazırlanmıştır.

Müşteri No	X koordinat	Y koordinat	Müşteri Talep	Servis Zamanı	Zaman Penceresi	
					İlk Zaman	Son Zaman
Depo	41	8	0	0	9	18
1	2	48	16	29	9	12
2	18	16	16	24	9	12
3	15	9	10	17	15	18
4	48	7	23	10	12	15
5	44	48	9	13	9	12
6	35	6	11	9	12	15
7	38	28	11	27	9	12
8	3	2	8	7	15	18
9	6	14	28	8	9	12
10	15	33	6	19	15	18
11	39	2	12	24	15	18
12	36	13	27	20	15	18
13	46	42	16	27	9	12
14	45	35	20	4	15	18
15	27	15	25	11	12	15
16	29	38	26	16	9	12
17	18	1	21	25	9	12
18	49	11	6	29	12	15
19	45	28	23	7	9	12
20	22	18	19	29	9	12
21	10	14	10	29	15	18
22	49	22	17	11	15	18
23	7	6	27	22	9	12
24	25	7	23	18	15	18
25	23	23	22	27	9	12
26	39	17	10	29	15	18
27	3	47	29	23	15	18
28	30	35	29	6	15	18
29	8	25	15	30	15	18
30	6	36	30	9	12	15
31	19	41	16	30	9	12
32	40	24	25	9	12	15
33	37	13	10	28	15	18

34	46	5	8	18	12	15
35	3	43	18	15	9	12
36	15	50	25	12	9	12
37	19	6	9	14	15	18
38	15	7	22	22	12	15
39	25	18	14	5	12	15
40	30	41	6	22	12	15
41	24	11	26	16	9	12
42	24	23	20	4	9	12
43	14	43	25	13	12	15
44	18	45	28	9	9	12
45	44	42	6	8	9	12
46	5	39	19	4	12	15
47	41	11	14	13	9	12
48	35	47	16	29	12	15
49	16	11	5	21	12	15
50	30	25	12	13	15	18
51	18	41	21	13	12	15
52	45	36	4	7	9	12
53	15	44	17	19	15	18
54	21	50	10	17	12	15
55	50	4	15	29	15	18
56	15	3	21	6	9	12
57	21	26	6	5	12	15
58	18	5	18	15	9	12
59	14	37	20	9	15	18
60	46	21	10	23	12	15
61	14	42	23	25	15	18
62	32	26	18	14	15	18
63	42	30	5	14	12	15
64	10	17	15	25	15	18