



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: SAHA
EKİPLERİNDE BİR UYGULAMA**

AHMET YALDIZ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Kezban ALBAYRAK**

KIRIKKALE-2024



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: SAHA
EKİPLERİNDE BİR UYGULAMA**

AHMET YALDIZ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Kezban ALBAYRAK**

KIRIKKALE-2024

KABUL VE ONAY

Ahmet YALDIZ tarafından hazırlanan “ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: SAHA EKİPLERİNDE BİR UYGULAMA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kezban ALBAYRAK
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 16.08/2024

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

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Beni bu günlere getiren haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anneme, babama...
Benim için her zaman elinden geleni yapan, desteğini hep arkamda hissettiğim
eşime...
Yaşam kaynağımız çok sevgili ikiz kızlarıma...

ETİK BEYANI

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

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

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

Ahmet Yıldız

16/08/2024

ÖZET

ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: SAHA EKİPLERİNDE BİR UYGULAMA

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans
Tezi Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Kezban ALBAYRAK
Ağustos 2024, 58 sayfa

Günümüzde artan rekabet ile gerek hizmet sektöründe gerekse üretim sektöründe lojistik maliyetlerinin azaltılması büyük önem arz etmektedir. Bu konuda önemli bir yer tutan kalemlerden biri de dağıtım maliyetidir. Üretilen ürünün ya da hizmetin müşterilere en kısa yoldan ulaştırılması söz konusu maliyetin optimize edilmesi noktasında temel unsurlardan biridir. Bu çalışmada Telekom sektöründe faaliyet gösteren bir şirkette Araç Rotalama Probleminin bir türü olan Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi (ZARP) ele alınmıştır. Şirketin abonelerine sunduğu geniş bir hizmet türü portföyü bulunmaktadır. En önemlileri de DSL ve Fiber altyapısında sunulan Ses ve İnternet hizmet türleridir. Yeni kurulum, nakil siparişlerine ait işler, randevulu ise müşterinin istediği zaman aralığında, randevusuz ise belirli sla süreleri içerisinde saha ekipleri tarafından tamamlanması gerekmektedir. Araç rotalama ile hem şirket maliyetleri optimize edilmiş hem de zamanında yapılan iş dolayısıyla da müşteri deneyiminin artırılması sağlanmış olacaktır. Bu çalışmada geliştirilen modelin sonuçları şirketin mevcut ekip rakamları ile kıyaslanarak modelle birlikte oluşan fayda ortaya konulmaya çalışılacaktır. Aynı zamanda da literatürde birçok çeşidi olan ve çoğu gerçek hayatta karşılaşılan problemleri çözmeyi amaçlayan Araç Rotalama Problemleri için literatüre özgün bir çalışma kazandırılması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Araç Rotalama, Zaman Pencereci Araç Rotalama, En Kısa Yol, Dağıtım, Lineer Programlama

ABSTRACT

VEHICLE ROUTING PROBLEMS WITH TIME WINDOWS: AN APPLICATION WITH FIELD TEAMS

Kırıkkale University
Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Industrial
Engineering, Master's Thesis
Supervisor: Asst. Prof. Kezban ALBAYRAK
August 2024, 58 pages

Nowadays, with increasing competition, reducing logistics costs in both the service sector and the production sector is of great importance. One of the significant items in this regard is the distribution cost. Delivering the produced product or service to customers in the shortest way is one of the basic elements of optimizing the distribution cost. In this study, the Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW), a variant of the Vehicle Routing Problem (VRP), is addressed for a company operating in the telecommunications sector. The company has a wide portfolio of service types offered to its subscribers. The most important ones are the Voice and Internet service types offered on DSL and Fiber infrastructure. Jobs related to new installations and transfer orders must be completed by field teams. If the job is appointment-based, it should be done within the time frame requested by the customer; if it is not appointment-based, it should be completed within specified SLA time limits. With vehicle routing, company costs will be optimized, and the timely completion of jobs will enhance the customer experience. The results of the model developed in this study will be compared with the company's current team figures and the benefits created by the model will be revealed. At the same time, it is aimed to provide an original study to the literature for Vehicle Routing Problems, which have many types in the literature and aim to solve problems most encountered in real life.

Key Words: Vehicle Routing, Time Window Vehicle Routing, Shortest Path, Distribution, Linear Programming

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana yön gösteren, değerli bilgi ve tecrübeleriyle desteklerini esirgemeyen, kendisiyle çalışmaktan büyük onur ve gurur duyduğum tez danışmanım sayın Dr. Kezban ALBAYRAK’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda olduğu gibi bu konuda da desteklerini her daim yanında hissettiğim eşim Zeynep YALDIZ’a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE ARAÇ ROTALAMA	3
2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi.....	3
2.2. Araç Rotalama Problemi	4
2.3. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri	6
2.3.1. Kısıtlarına göre ARP.....	8
2.3.2. Yolların Durumuna göre ARP	12
2.3.2. Rotalama durumuna göre ARP	12
2.3.2. Araç filosuna göre ARP.....	12
2.3.2. Çevre durumuna göre ARP	12
2.4. Araç Rotalama Problemleri Çözüm Yöntemleri	12
2.4.1. Kesin Çözüm Yöntemleri	14
2.4.2. Sezgisel yöntemler	14
2.4.3. Metasezgiseller	16
3. LİTERATÜR TARAMA	19
4. METODOLOJİ	25
4.1. Firmanın Yapısı	27
4.2. Firma Veri Yapısı ve Matematiksel Model	28
5. UYGULAMA.....	36
5.1. Ekip A.....	37
5.2. Ekip B	41
5.3. Ekip C	44
5.4. Ekip D.....	48

SONUÇ.....	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ.....	57



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

2-1:	Lojistik Maliyet Kalemleri	4
4-1:	İş süreleri	29
4-2:	Model İndisleri.....	31
4-3:	Model karar değişkenleri	31
5.1:	Ekip A verileri	37
5-2:	Ekip A: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbiri arasındaki mesafe bilgileri	39
5-3:	Ekip A: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbirleriyle olan seyahat süreleri	39
5-4:	Ekip A senaryosu optimal çözüm ile mevcut durum kıyaslaması	40
5-5:	Ekip A: Telekom Müdürlüğü ve müşteri noktalarına varış zamanları	40
5-6:	Ekip B verileri.....	41
5-7:	Ekip B: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbiri arasındaki mesafe bilgileri	42
5-8:	Ekip B: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbirleriyle olan seyahat süreleri	43
5-9:	Ekip B senaryosu optimal çözüm ile mevcut durum kıyaslaması	43
5-10:	Ekip B: Telekom Müdürlüğü ve müşteri noktalarına varış zamanları	43
5-11:	Ekip C verileri.....	44
5-12:	Ekip C: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbiri arasındaki mesafe bilgileri	45
5-13:	Ekip C: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbirleriyle olan seyahat süreleri	46
5-14:	Ekip C senaryosu optimal çözüm ile mevcut durum kıyaslaması	46
5-15:	Ekip C: Telekom Müdürlüğü ve müşteri noktalarına varış zamanları	47
5-16:	Ekip D verileri	48
5-17:	Ekip D: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbiri arasındaki mesafe bilgileri	49
5-18:	Ekip D: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbirleriyle olan seyahat süreleri	49

5-19:	Ekip D senaryosu optimal çözüm ile mevcut durum kıyaslaması	50
5-20:	Ekip D: Telekom Müdürlüğü ve müşteri noktalarına varış zamanları	50
6-1:	Sonuçlar	51



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2-1: ARP'nin literatürdeki sınıflandırılması	7
2-2: Araç Rotalama Problemi Türleri	8
2-3: ARP Çözüm Yöntemleri.....	13
3-1: ARP alanında yapılan çalışmaların 1954 yılından 2006 yılına kadarki sayıları.....	21
4-1: Ekip Slot Bilgileri	30
5-1: Ekip A: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının haritada gösterimi	38
5-2: Ekip A: Optimal çözümün haritada gösterimi	41
5-3: Ekip B: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının haritada gösterimi	42
5-4: Ekip B: Optimal çözümün haritada gösterimi	44
5-5: Ekip C: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının haritada gösterimi	45
5-6: Ekip C: Optimal çözümün haritada gösterimi	47
5-7: Ekip D: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının haritada gösterimi	48
5-8: Ekip D: Optimal çözümün haritada gösterimi	50
6-1: Sonuçlar	51

KISALTMALAR DİZİNİ

ARP	Araç Rotalama Problemi
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
MARP	Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama
ÇARP	Çok Depolu Araç Depolama Problemi
KARP	Klasik Araç Rotalama Problemi
TSP	Travelling Salesman Problem
KKARP	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
ZARP	Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi
PDARP	Parçalı Dağıtımli Araç Rotalama Problemi
TD-ARP	Topla Dağıt Periyodik Araç Rotalama Problemi
PARP	Periyodik Araç Rotalama Problemi

1. GİRİŞ

Günümüzde şirketler ayakta kalabilmek için süreçlerini optimum şekilde dizayn etmeye çalışmaktadırlar. Artan maliyet koşulları, sıkı rekabet bunu zorunlu kılmaktadır. Üretilen hizmet ya da ürünün doğru zamanda doğru yere ulaştırılması önem taşımaktadır. Müşteriye verilen hizmetin ulaştırılması önemli bir maliyet kalemidir. Bu çalışmada Telekom sektöründe hizmet veren bir şirketin önemli saha aktivitelerinden olan araç rota planlaması irdelenecektir.

Teknolojinin gelişmesi, dijitalleşen sistemler ile müşteri deneyimi çağımızda çok mesafe katetmiştir. Müşterinin aldığı hizmetin tüm aşamalarını sistemlerden izleyebilmesi, hizmet sağlayana anlık geri bildirimler vermesi müşteri memnuniyetinin kusursuza yakın bir şekilde sağlanmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada konu edeceğimiz Telekom sektörü açısından bakarsak Mobil İşgücü Yönetiminin önemi ortaya çıkmaktadır. Mobil İşgücü Yönetimi; Ekiplerin çalışma alanlarının planlanması, işlerin çizelgelenmesi, çizelgelenen işlerin rota planlamasının yapılması gibi unsurları içermektedir. İşlerin çizelgelenmesi ile çizelgelenen işlerin rota planlaması optimum şekilde yapılması taşıma maliyetlerinin azaltılması açısından önem taşımaktadır.

Telekom saha ekiplerinin rota planlaması üzerine yapılan bu çalışma ile aynı kapasitedeki özdeş araçlar ve insan kaynağı sayesinde yapılacak işin tipine göre randevulu ise müşterinin istediği zaman aralığında, randevusuz ise de belirli süreleri içinde işin tamamlanması gerekmektedir. Sağlık şirketlerinin evde sağlık hizmeti vermesi, elektrik şirketlerinin müşterilerine elektrik bağlantısını sağlaması benzer örneklerdir ve bu örnekler de ekiplerin rota planlamasını gerektirir. Bu çalışmada ortaya konacak problem Telekom sektörü olması sebebiyle kendi içinde bazı farklılıklar barındıracaktır. Global anlamda bakıldığında literatürde Telekom sektörü üzerine yapılmış çalışmalar mevcut olsa da ülkemiz özelinde bakıldığında Telekom sektöründe Araç Rota Planlama çalışması literatürü taradığımız dönemde yapılmadığı görülmüştür, benzer sektörler üzerinden yapılan epey çalışma olsa da

Telekom sektöründe yapılan nadir çalışmalardan biri olduğundan önemli bir çalışmadır.

Çalışmanın birinci bölümünde lojistik, lojistikte dağıtımın önemi, araç rota planlaması hakkında önemli bilgiler verilmiş ve araç rotalama türleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

İkinci bölümde ise Araç rota planlaması tarihçesini de kapsayacak şekilde özellikler klasik ARP ve ZARP hakkında günümüze kadar yapılan önemli literatür çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise bu çalışmada incelenen problemin detayları verilmiştir. Detaylarına değinilen probleme ait veriler, tez kapsamında oluşturulan modelden faydalanılarak çözülmüştür. Çıkan sonuçlar kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE ARAÇ ROTALAMA

2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), bir şirketin mal ve hizmetlerinin tedarik, üretim, depolama ve dağıtım süreçlerinin koordinasyonunu ve yönetilmesi için kullanılan bir yaklaşımdır. TZY, tedarikçilerden başlayarak, üreticilere, toptancılara, perakendecilere ve son müşterilere kadar olan tüm tedarik zinciri boyunca faaliyet gösterir. (Chopra & Meindl, 2008) (Coyle, Langley, Novack, & Gibson, 2016)

TZY süreçleri şunlardır;

- a. Planlama
- b. Tedarik
- c. Üretim
- d. Depolama
- e. Dağıtım

(Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2008)

TZY bileşenlerinin en önemli parçası dağıtımdır. Dağıtım, bir ürünün veya hizmetin üretim veya tedarik aşamasından son kullanıcıya veya perakende mağazalara ulaştırılması sürecidir. Bu süreç, ürünlerin toplandığı, paketlenildiği, depolandığı ve nihai hedefe taşındığı bir dizi faaliyeti içerir. Dağıtım, tedarik zinciri yönetiminin kritik bir parçasıdır ve müşteri memnuniyeti, maliyet verimliliği ve süreç optimizasyonu gibi hedeflere hizmet eder (Rushton, Croucher, & Baker, 2017).

Ürünün müşteriye beklediği faydayı sağlaması ve kabul edilebilir bir fiyata sunulmasının yanında müşterinin satın alacağı zamanda ve yerde ulaşılabilir olması da işletmelerin pazarlama performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Beklenen yer, zaman ve miktarda hazır olmayan ürüne talep azalabilmektedir. (Özmen, Uzokurt, Özdemir, Altunışık, & Torlak, 2013). Dağıtım bu bağlamda düşünüldüğünde, müşterilerin ihtiyaçlarının daha kolay karşılanabilmesinde büyük rol oynar. Bundan

dolayı işletmelerin birbirleriyle olan rekabetlerinde oldukça kritik bir fonksiyon üstlendiği rahatlıkla söylenebilir (Kotler & Keller, 2012).

Yüz birimlik lojistik maliyeti incelenip detayları ortaya konduğunda maliyetlerin dağılımının Çizelge 2.1'deki gibi olduğu gözlemlenmiştir. Dağıtımın en yüksek maliyet kalemi olarak göze çarpmaktadır.

Çizelge 2-1: Lojistik Maliyet Kalemleri (Gümüş, 2024)

Sevkiyat	%45
Depolama	%26
Yönetim Giderleri	%9
Stokların Maliyeti	%20

Lojistik maliyetlerin içinde taşımacılık maliyetleri daha fazla göze çarpmaktadır. Çünkü lojistik maliyetlerin %60 ila %80'lik kısmını taşımacılık maliyetleri oluşturmaktadır. Lojistik maliyetleri oluşturan diğer maliyet kalemleri; depolama maliyetleri ve yönetim maliyetleri başlıkları altında toplanabilir. Depolama maliyetleri, lojistik maliyetlerinin %15 ile %30 arasındaki bir kısmını oluşturur. Yönetim maliyetleri ise %5 ila %10'luk kısmını oluşturmaktadır. (Wilson, 2009)

Taşımacılık ile ilgili kararlar stratejik kararlar; taktik kararlar ve operasyonel kararlar olarak üçe ayrılabilir. Stratejik seviyedeki taşımacılık kararları; uzun dönemli, yüksek yatırım gerektiren, yeni kurulacak tesislerin yerlerinin belirlenmesi gibi dağıtım ağının tümünü etki eden, bölgesel, ulusal ya da uluslararası çapta kararlardır. Kısa mesafe taşımacılıkta stratejik karar, depo yeri seçimidir. Orta vadeli yatırımları gerektiren taktik kararlara filo büyüklüğünün belirlenmesi örnek olarak verilebilir. Operasyonel düzeyde kararlara için ise araç rotalama kararları veya başka bir ifade ile ARP örnek olarak verilebilir (Ghiani, Laporte, & Musmanno, 2004).

2.2. Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama dağıtım süreçleri içerisinde önemli bir faktördür. Dağıtım planlamalarının yapılmasında, dağıtım ile ilgili kararların verilmesinde araç rotalarının belirlenmesi çok önemlidir. Araç rotalama ne kadar optimum şekilde gerçekleştirilirse dağıtım operasyonu maliyetleri düşecek bu da Tedarik Zinciri Yönetimine olumlu yansıtacaktır. Dağıtımın tanımında da görüldüğü üzere müşteri memnuniyetini artırma hedefine ulaşılmasına yardımcı olacaktır.

Araç Rotalama Problemi (ARP), bir dizi müşteriye ziyaret etmek için birden fazla aracın kullanılması gereken lojistik veya dağıtım senaryolarında karşılaşılan bir optimizasyon problemidir. Lojistik alanında operasyonel düzeyde karşılaşılan bir problem şeklinde de ifade edilmektedir. ARP, araçların rotalarını optimize etmeyi amaçlar, böylece belirli kısıtlar altında mümkün olan en iyi rotalar bulunur ve toplam maliyet minimize edilir. Bu problem, araçların yakıt maliyetlerini, araçların kapasite sınırlarını ve müşteri zaman kısıtlarını dikkate alarak doğru rotaların belirlenmesini gerektirir. Yapılan araştırma çalışmalarına göre ARP alanında yapılacak çalışmanın yapılmamasına kıyasla ulaşım maliyetlerini %5 ile %20 arasında iyileştireceği saptanmıştır. Birim başına düşen taşıma maliyetlerinin fazla olması ve bu maliyetin her geçen zaman biraz daha artması bu alanda yapılacak çalışmaları artırmıştır (Toth & Vigo, 2002).

ARP uzun yıllardır çalışılmaktadır. Araç rotalama birçok sektörde ortak bir süreç olduğundan uygulama alanları çok fazladır, literatürde önemli sayıda çalışmanın olduğunu görmekteyiz. Zaman içinde de farklı rotalama problemlerine de uyarlanmıştır ve yüzlerce algoritmaya konu olmuştur. ARP n tane müşteri kitlesine istedikleri mal veya hizmetin en kısa mesafe ile ulaştırılmasına dayanır. Araç rotalama problemleri optimizasyon ile alakalı yapılan çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır (Honggi, Liu, Chen, & Lin, 2020). Bu alanda fazla sayıda çalışmalar yapılmıştır ve her yıl daha da artmaktadır.

Araç Rotalama Gezgin Satıcı Probleminin (GSP) gelişmiş bir türüdür. Gezgin Satıcı Problemi (GSP) – *Traveling Salesman Problem (TSP)*, düğümler arasındaki maliyeti (mesafe, süre veya maliyet) minimize edecek şekilde bir satıcının bir düğümden başlayarak diğer tüm düğümlere yalnızca bir kez uğradığı ve başladığı noktaya geri döndüğü problem türüdür. (Little, Murty, Dura, & Karel, 1963) GSP'nin (birden fazla araç kullanılmıştır ve gerçek hayat problemlerinden esinlenerek bazı kısıtlar eklenmiştir.) geliştirilmiş hali olan ARP ilk kez “Dantzig ve Ramser” tarafından 1959 yılında “Kamyon Sevkiyat Problemi (*Truck Dispatching Problem*)” adıyla literatüre kazandırılmıştır. Benzin istasyonlarına benzin dağıtımlarının optimizasyonunu yapmak çalışmanın amacıdır (Baldacci, Mingozzi, Roberti, & Calvo, 2013).

1964 yılında ise Clarke ve Wright tasarruf algoritmasını geliştirmiş ve bu problemi bir doğrusal optimizasyon problemine dönüştürmüştür. (Braekers, Ramaekers, & Nieuwenhuyse, 2016) Klasik ARP olarak bilinen bu problem literatürde Kapasite

Kısıtlı ARP (KKARP) olarak da geçmektedir. ARP'nin atık toplama, dağıtım ve toplama problemleri, okul taşıtlarının güzergahlarının belirlenmesi, uçak rotalama problemleri, servis araçlarının rotalaması, internet üzerinden yapılan alışverişlerin teslimatı, elektrik dağıtım şirketlerinin araç rotalamaları, hasta bakım şirketlerinin rota planlamaları gibi birçok alanda kullanımı söz konusudur.

ARP, belirli kısıtlar altında bir veya birden fazla dağıtım noktasından (depo) coğrafi olarak dağılmış belirli müşterilerin taleplerini karşılayacak minimum maliyetli araç rotalarının belirlenmesi problemidir (Christofides, Mingozzi, & Toth, 1981). Her bir araç rotasına öncelikle depodan başlamakta ve tüm müşterilerin ziyareti gerçekleştirildikten sonra tekrar yine aynı depoya dönmektedir. Filodaki her bir aracın belirli bir yük taşıma kapasitesi vardır ve tüm araçların kapasiteleri birbirine eşit ve benzer maliyetlere (sigorta, bakım vb.) sahiptir. Araç kapasiteleri ve müşteri talepleri önceden bilinmektedir (deterministiktir) (Kumar & Panneerselvam, 2012).

2.3. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri

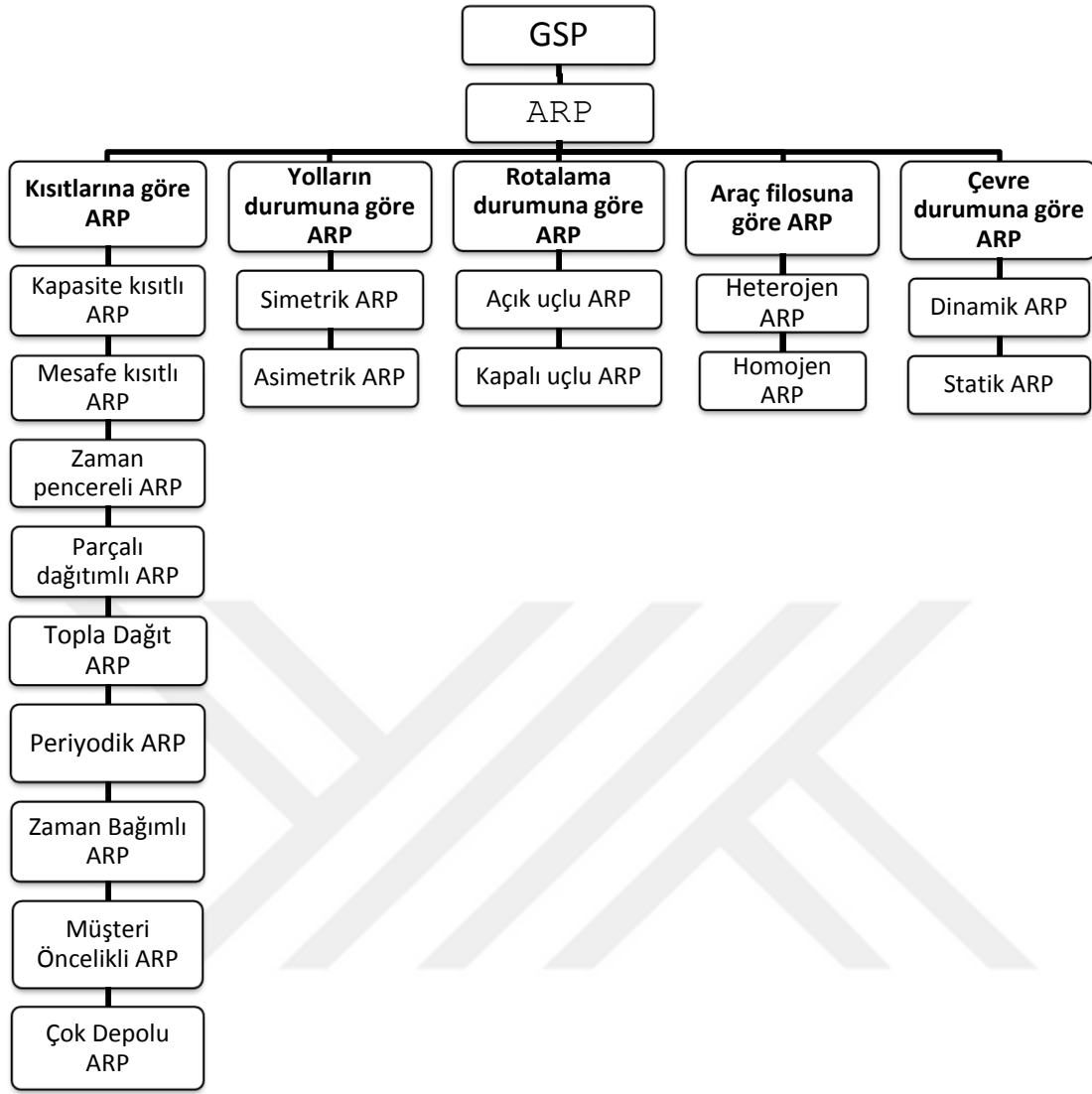
Araç rotalama problemleri, tedarik zincirinin son aşamasında ürün dağıtımını ya da hizmet verilmesi esnasında ortaya çıkan optimizasyon problemleri şeklinde tanımlanmaktadır. Literatürde Kapasite Kısıtlı ARP'nin yanı sıra amaç fonksiyonları, varsayımları ve kısıtlarına göre birçok ARP varyantı söz konusudur. Şekil 2.1'de ARP'nin literatürdeki sınıflandırılması gösterilmiştir.

1. Çalışmanın Tipine Göre	2.8. Dağıtımlar	3.9. Araç homojenliği
1.1. Teori	2.8.1. Toplama ve dağıtım yapılan düğümler	3.9.1. Benzer araçlar
1.2. Uygulanmış Metotlar	2.8.2. Toplama veya dağıtımdan sadece birine izin verilen düğümler	3.9.2. Değişik tipte araçlar
1.2.1. Gerçek Modeller	2.9. Düğüm/Ark Kapsayan Kısıtlar	3.9.3. Yükleme özel araçlar
1.2.2. Sezgiseller	2.9.1. Öncelik kısıtları	3.9.4. Müşteriye özel araçlar
1.2.3. Simülasyon	2.9.2. Alt küme kapsayan kısıtlar	3.10. Araç yolculuk süresi
1.2.4. Gerçek zaman sonuçlu metotlar	2.9.3. Geri dönüş izin veren kısıtlar	3.10.1. Deterministik
1.3. Uyarılanan Dokümanlar		3.10.2. Fonksiyona bağımlı
1.4. İnceleme		3.10.3. Stokastik
2. Senaryo Karakteristiklerine Göre	3. Problemin Fiziksel Karakteristiklerine Göre	3.10.4. Bilinmeyen
2.1. Rota üzerinde durak sayısı	3.1. Ulaştırma ağ tasarımı	3.11. Ulaşım maliyetleri
2.1.1. Deterministik	3.1.1. İdare altında olan ağ	3.11.1. Yolculuk süresine bağımlı
2.1.2. Olasılıklı	3.1.2. İdare altında olmayan ağ	3.11.2. Yol uzunluğuna bağımlı
2.2. Yüklemin bölünebilirliği	3.2. Müşterilerin konumları	3.11.3. Araca bağımlı
2.2.1. Bölünebilir	3.2.1. Düğümlerde	3.11.4. Operasyona bağımlı
2.2.2. Bölünemez	3.2.2. Arklarda	3.11.5. Gecikmelere bağımlı
2.3. Müşteri talep miktarı	3.3. Müşterilerin coğrafik konumu	3.11.6. Malzemenin riskine bağımlı
2.3.1. Deterministik	3.3.1. Kentsel	
2.3.2. Stokastik	3.3.2. Kırsal	
2.3.3. Bilinmeyen	3.3.3. Karışık	
2.4. Yeni müşterilerin talep zamanları	3.4. Orijin noktası sayısı	
2.4.1. Deterministik	3.4.1. Tek orijinli	4. Bilgi Karakteristiklerine Göre
2.4.2. Stokastik	3.4.2. Çok orijinli	4.1. Dönem bilgileri
2.4.3. Bilinmeyen	3.5. Depo sayısı	4.1.1. Statik
2.5. Duraklama noktalarında servis/bekleme zamanları	3.5.1. Tek depolu	4.1.2. Dinamik
2.5.1. Deterministik	3.5.2. Çok Depolu	4.2. Bilginin Kalitesi
2.5.2. Zamana bağımlı	3.6. Zaman penceresi yapısı	4.2.1. Bilinen
2.5.3. Araç tipine bağımlı	3.6.1. Müşterilere bağımlı	4.2.2. Stokastik
2.5.4. Stokastik	3.6.2. Yollara bağımlı	4.2.3. Tahmine dayalı
2.5.5. Bilinmeyen	3.6.3. Depoya bağımlı	4.2.4. Bilinmeyen
2.6. Zaman penceresi yapısı	3.6.4. Araca/stüktüye bağımlı	4.3. Bilginin ulaşılabilirliği
2.6.1. Esnek zaman penceresi	3.7. Araç Sayısı	4.3.1. Lokal
2.6.2. Kesin zaman penceresi	3.7.1. Tam olara n araç	4.3.2. Global
2.6.3. Esnek ve keskin zaman penceresi	3.7.2. n aracın üstünde	4.4. Bilginin işlenmesi
2.7. Zaman aralığı	3.7.3. Limitsiz	4.4.1. Merkezi
2.7.1. Tek dönem	3.8. Araç kapasitesi	4.4.2. Merkezi olmayan
2.7.2. Çok dönem	3.8.1. Kapasiteli araçlar	5. Veri Karakteristiklerine Göre
	3.8.2. Kapasitesiz araçlar	5.1. Veri Kullanımı
		5.1.1. Gerçek veriler
		5.1.2. Yapay veriler
		5.1.3. Gerçek ve yapay veriler
		5.2. Veri kullanılmayan

Şekil 2-1: ARP'nin literatürdeki sınıflandırılması (Ekşioğlu, Vural, & Reisman, The vehicle routing problem: A taxonomic review, 2009)

Literatüre bakıldığında ARP konusunda ortaya konulmuş detaylı çalışmaların olduğu görülmektedir. Eksioğlu vd. (2009), Kumar ve Panneerselvam (2012) ve Braekers vd. (2016) çalışmalarında detaylarına yer vermişlerdir. (Kumar & Panneerselvam, 2012) (Ekşioğlu, Vural, & Reisman, 2009) (Braekers, Ramaekers, & Nieuwenhuyse, 2016).

Araç rotalama problemleri depo sayısı, talep, teslim süresi, araç türü gibi unsurların etkisi ile birçok farklı türlere ayrılır. Şekil 2.2'de ARP'nin türleri gösterilmiştir ve devamında söz konusu türlerin açıklamaları alt başlıklarda incelenmiştir.



Şekil 2-2: Araç Rotalama Problemi Türleri

2.3.1. Kısıtlarına göre ARP

a) Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP): KKARP, GSP problemlerinden ayrılarak farklı bir problem türü olarak tanımlanan ilk problem türlerinden biridir. Katedilen mesafenin minimizasyonu amaçlanmaktadır. Dağıtım yapan araçlar belirli bir kapasite söz konusudur. Kapasite kısıtlı ARP’de yer alan kısıtlar aşağıda maddelendirilmiştir (Crevier, Cordeau, & Laporte, 2007).

- Her bir araç belirli bir depodan hareket etmekte ve rotasını yine aynı depoya dönerek bitirmektedir,
- Müşterilerin taleplerinin karşılanma zorunluluğu vardır,
- Araçların belirli bir kapasitesi söz konusudur ve bu kapasite aşılamaz,

- Müşterilere birden fazla farklı araç hizmet veremez, müşteriler yalnızca aynı araç tarafından bir kez ziyaret edilmelidir.

b) Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (MARP): Dağıtım yapan araçların katetebilecekleri mesafenin bir sınırı olması durumunda kullanılan problem türüdür. Bu problemde, araçların belirli bir maksimum mesafe sınırını aşmadan tüm müşterilere hizmet vermesi gerekmektedir. MARP'ı KKARP'tan ayıran temel kısıt farkı da budur. Yani oluşturulacak modelde her aracın kat edebileceği toplam mesafenin önceden tanımlanmış olması gerekmektedir. Bu tür mesafe kısıtlamaları, yakıt kapasitesi, sürücü çalışma saatleri veya çevresel düzenlemeler gibi pratik kısıtlamalardan kaynaklanabilir. Problemin zorluk derecesi, mesafe kısıtlaması nedeniyle rotaların daha karmaşık hale gelmesinden kaynaklanır. Çünkü araçlar hem tüm müşterilere ulaşmalı hem de belirlenen mesafe sınırını aşmamalıdır. Bu durum, rotaların optimizasyonunu zorlaştırır ve genellikle daha karmaşık algoritmaların kullanılmasını gerektirir (Pınar, 2009).

c) Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ZARP): Tez çalışmasının da konusu olan Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ZARP) başlangıç noktasından hareket eden araçların belirli zaman penceresi içinde diğer düğümlere uğrama zorunluluğu olan özel bir araç rotalama problemidir. Rotalama mekanizması, ürün ya da hizmetin müşterilere önceden belirlenmiş bir zaman diliminde teslim edilmesi koşuluna göre işlemektedir. Bu yapılırken araç kapasite ve toplam seyahat süresi kısıtları da hesaba katılmaktadır. Araçlar en geç varış zamanından önce müşterilere/düğüm noktalarına ulaşmalıdır. Araç eğer müşteriye en erken varış zamanından önce ulaşmışsa ilgili lokasyonda zamanı gelinceye kadar beklemek durumunda kalmaktadır. ZARP modelinde yer alan zaman penceresi kısıtları sıkı ve esnek olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Eğer bir kısıtın yerine getirilmesi zorunlu ise sıkı; zorunlu olmayıp ihlal edilmesi mümkün ise esnek kısıt olarak adlandırılmaktadır. Esnek bir kısıtın ihlal edilmesi durumunda ceza maliyetine katlanması durumu ortaya çıkar. Ceza maliyeti amaç fonksiyonuna eklenmektedir (Bent & Hentenryck, 2004) (Ombuki, Ross, & Hanshar, 2006) (Tan, Lee, Zhu, & Ou, 2001).

ZARP ilk kez 1987 yılında Solomon tarafından lojistik ile ilgili bir problemin çözülmesinde kullanılmıştır. Ortaya konulan söz konusu problem yapısındaki amaç, toplam maliyetlerin minimizasyonunun yanında müşteriye belirli zaman aralığında hizmet verilmesini sağlamaktır (Tan, Lee, Zhu, & Ou, 2001).

d) Parçalı dağıtımli ARP: Parçalı Dağıtımli Araç Rotalama Problemi (PDARP), birden fazla dağıtım merkezi veya depo arasında ürünlerin parça parça dağıtılmasını içeren bir araç rotalama problemidir. Bu problem, klasik Araç Rotalama Problemine (ARP) kıyasla daha karmaşıktır

e) Topla Dağıt Periyodik Araç Rotalama Problemi (TD-ARP): Araç Rotalama Problemleri (ARP) ailesinin karmaşık bir varyantıdır. Bu problemde, belirli bir zaman periyodu boyunca hem toplama (pickup) hem de dağıtım (delivery) hizmetleri sunulması gerekmektedir. Ayrıca, bu hizmetler belirli zaman dilimlerinde ve belirli periyodlarla tekrarlanmalıdır. “Dağıtım” başlangıç noktası olan depodan müşterilere; “toplama” ise tam tersi yönünde müşterilerden rotalamanın son noktası olan depoya doğru ürünlerin taşınması anlamına gelmektedir. Klasik ARP’de dağıtım ya da toplamadan sadece biri söz konusudur. Topla dağıt ARP’de ise klasik ARP’nin aksine dağıtım ve toplama süreçleri her ikisi birlikte gerçekleşir. Söz konusu faaliyetler problemin içeriğine göre farklı zamanlarda veya aynı zamanda olabilmektedir. (Mosheiov, 1998) TD-ARP rotalama sürecine hem zaman hem de işlem karmaşıklığını ekleyen bir problemdir ve bu nedenle özel algoritmalar veya yaklaşımlar gerektirir.

Topla dağıt ARP’nin literatürde 3 çeşidi bulunmaktadır. (Ganesh & Narendran, 2007)

- *Geri Taşımalı ARP (VRP with Backhauls):* Müşteriler, dağıtım ve toplama müşterisi olarak iki gruba ayrılırlar. Bu türde önce dağıtım işlemlerinin tamamlanmış olması şeklinde bir kısıt vardır. Dağıtım müşterilerine hizmet verildikten sonra toplama işlemleri gerçekleştirilebilir.

- *Karma Topla-Dağıt ARP (VRP with Mixed Pick-up and Delivery):* Bu problem türünde müşteri grupları arasında bir sıra yoktur. Bazı müşterilere dağıtım yapılırken bazılarına ise toplama faaliyeti gerçekleştirilebilir. Bir araç bir müşteriye birden fazla kez uğrayabilmektedir. Ayrıca araçların müşteri ziyaretleri açısından bir sıralama zorunluluğu yoktur.

- *Eşzamanlı Topla-Dağıt ARP (VRP with Simultaneous Pick-up and Delivery):* Müşterilerin taleplerine göre dağıtım yaparken aynı zamanda da toplama işleminin yapılabildiği problem türüdür. Bu durum toplama ve dağıtım yerinin aynı rotada olması gerekliliğini doğurur. Bu durumdan ötürü hem dağıtım hem de toplama işlemleri aynı araç tarafından gerçekleştirilir. (Tasan & Gen, 2006) Eşzamanlı topla-

dağıt ARP, ilk kez 1989 yılında Min tarafından literatüre kazandırılmıştır. (Montane & Galvao, 2006)

f) Periyodik Araç Rotalama Problemi (PARP): Periyodik ARP, literatürde ilk kez Beltrami ve Bodin (1974) tarafından belediye atık toplama problemini çözebilmek amaçlı kullanılmıştır. (Rodriguez-Martin, Salazar-Gonzales, & Yaman, 2019) Hedef noktaların belirli bir zaman aralığında bir ya da birden fazla kez ziyaret edildiği problem çeşididir. Müşteri taleplerinin belirli bir zaman periyodu içinde karşılanmasını gerektirir. PARP’de, rotaların yalnızca bir kez değil, belirli periyodik aralıklarla tekrar edilmesi gereklidir. Sistemdeki her bir araç rotasına depodan başlamakta, belirli bir müşteri kümesine hizmet vermektedir. Mesaisi bittiğinde ya da kapasitesi dolduğunda başladığı nokta olan depoya geri dönmektedir. (Angelelli & Sperenza, 2002) Periyodik ARP’nin kendi içinde Açık Periyodik ARP şeklinde adlandırılan türü de vardır. Bu ARP türünde araçlar belirli bir düğümden başlayarak müşterilere uğrarlar farklı olarak işleri bittiğinde başladıkları noktaya dönme gibi bir zorunlulukları yoktur. Süt dağıtımı, gazete dağıtımı, düzenli tedarik zinciri teslimatları, periyodik bakım, temizlik veya servis hizmetleri gibi düzenli aralıklarla gerçekleştirilen hizmetlerde yaygın olarak kullanılır. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemindeki kısıtlar şu şekildedir; her araç belirli bir kapasiteye sahiptir ve bu kapasitenin aşılması gerekir. Hedef noktaya bir kez uğranır. Problemin amaç fonksiyonu; temelde toplam yolculuk mesafesini minimize etmektir. Zaman veya maliyet gibi birden ek kriterin de eklenip optimize edilmeye çalışıldığı çalışmalar da vardır. (Fleszar, Osman, & Hindi, 2009)

g) Zaman bağımlı ARP: Seyahat sürelerinin günün saatine bağlı olarak değiştiği bir araç rotalama problemidir. Bu problem, özellikle trafik yoğunluğunun değişken olduğu büyük şehirlerde ve kentsel alanlarda önemlidir.

h) Müşteri öncelikli ARP: Müşterilerin bir öncelik sırasına göre ziyaret edilmesini modelleyen bir ARP türüdür.

ı) Çok Depolu Araç Rotalama Problemi (ÇARP): Bu problem türünde araçların işlerine başlayabileceği veya işleri bittiğinde dönebileceği birden fazla depo bulunmaktadır. Duruma bağlı olarak araçların her birinin rotasına başladığı noktaya geri dönmesi gerekmektedir (sabit) ya da geri dönmeyebilir. (sabit değil) (Crevier, Cordeau, & Laporte, 2007). Hangi deponun nerede konumlandırılacağı rotalama maliyetleri açısından önemlidir.

2.3.2. Yolların Durumuna göre ARP

a) Simetrik ARP: Gidiş ve dönüş mesafesinin aynı olduğu ARP problemleri literatürde simetrik ARP olarak isimlendirilir.

b) Asimetrik ARP: Düşümler arası gidiş dönüş mesafesinin farklı olduğu ARP çeşididir.

2.3.2. Rotalama durumuna göre ARP

a) Açık uçlu ARP: Araçların bir dağıtım noktasından çıkıp geriye dönmedikleri durumlardaki modeldir.

b) Kapalı uçlu ARP: Araçların rotalarını işe başladıkları depoda bitirdiği ARP türüdür.

2.3.2. Araç filosuna göre ARP

a) Heterojen ARP: ARP probleminde tanımlanan her bir aracın farklı kapasite limitlerine sahip olmasıdır.

b) Homojen ARP: Problemde ifade edilen araçların hepsinin aynı özelliklere sahip olmasını içeren ARP türüne denir.

2.3.2. Çevre durumuna göre ARP

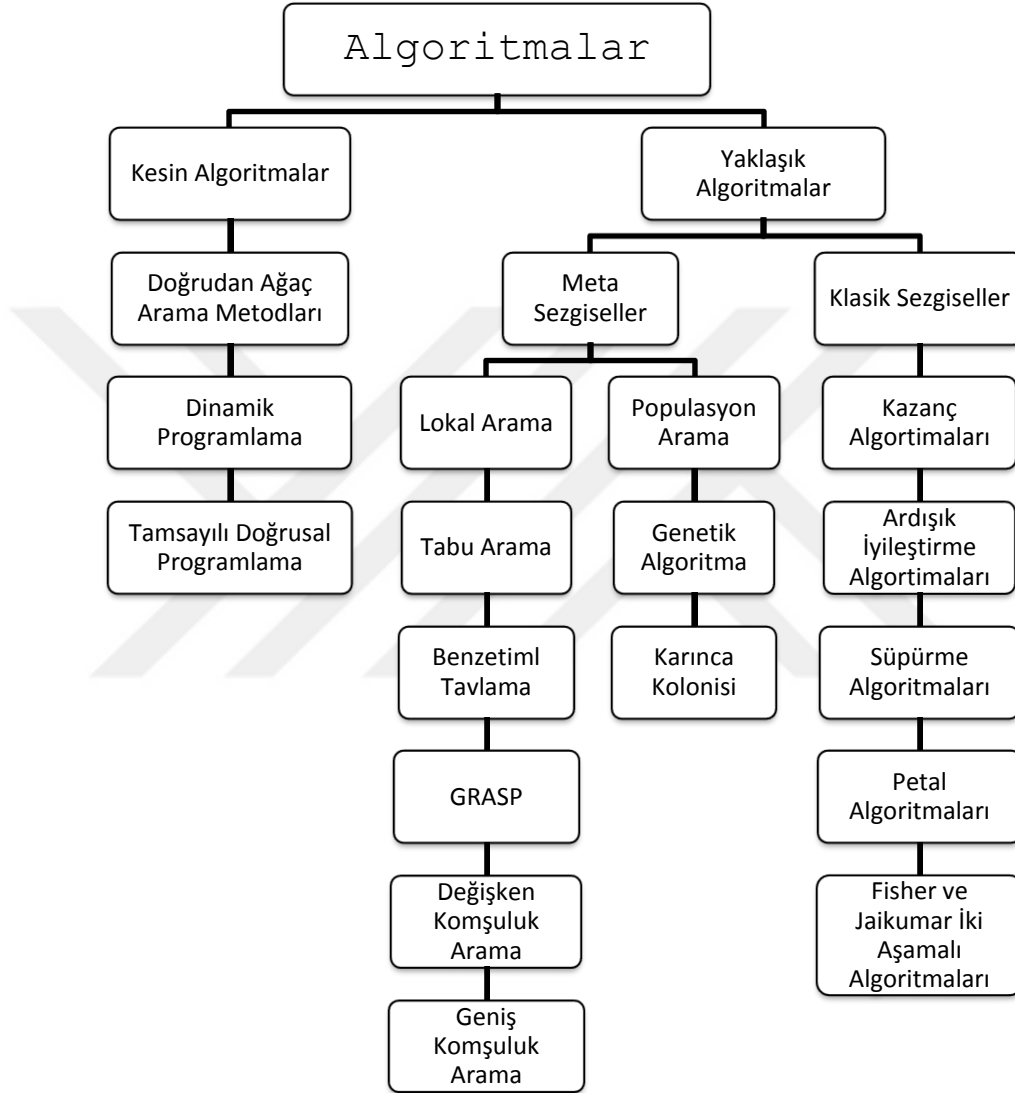
a) Dinamik ARP: Müşterilerin taleplerinin ve diğer ilgili bilgilerinin zamanla değiştiği ve güncellendiği bir araç rotalama problemidir. DVRP, genellikle gerçek zamanlı olarak güncellenen verilerle çalışmayı gerektirir ve rotaların dinamik olarak uyarlanmasını zorunlu kılar. Bu problem, özellikle değişken ve öngörülemeyen ortamlarda önemlidir.

b) Statik ARP: Müşteri taleplerinin ve diğer ilgili bilgilerin zamanla değişmediği ve sabit olduğu bir araç rotalama problemidir. Bu problem, belirli bir zaman dilimi için bilinen ve değişmeyen koşullara göre araç rotalarının optimize edilmesini gerektirir.

2.4. Araç Rotalama Problemleri Çözüm Yöntemleri

Araç Rotalama Problemleri konusunda literatürde farklı çözüm yöntemleri söz konusudur. Sonuç kesinliğine ve uygulama yöntemine bağlı olarak kesin, sezgisel ve metasezgisel olmak üzere 3 ana çözüm yöntemi bulunmaktadır.

ARP'nin çözüm yöntemleri aşağıdaki Şekil 2.3'teki gibi özetlenebilir. Fazla sayıda çözüm yönteminin olmasının sebebi her bir problem için çözümünde farklı algoritmalar kullanmayı gerektirmesi, problemin tipine göre kullanılan bu farklı algoritmaların daha iyi sonuç üretebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bir sonraki kısımda çok kullanılan çözüm yöntemlerinin detayları paylaşılacaktır.



Şekil 2-3: ARP Çözüm Yöntemleri

Araç Rotalama Problemlerinde çözülen problemin tipi kadar ne kadar sürede çözüldüğü ve ortaya çıkan sonuçların kalitesi de çok önemlidir. ARP'de düğüm noktalarının sayısı arttıkça geliştirilen matematiksel modelin çözüm süresi de üstel bir şekilde artmaktadır. (Lenstra ve Kan, 1981). Modelin çözüm süresinin uzun olması ya da bir başka deyişle çözümün makul sürede uygun sonuca ulaşamaması istenen bir durum değildir. Bu durum genelde büyük ölçekli problemlerde yaşanır. Çözüm

süresini kısaltabilmek adına sonucun çözümünden taviz verilebilir. Bu tip durumlarda Sezgisel/Meta sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır.

2.4.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Kesin çözüm yöntemi ARP problemleri için optimal sonucu vermektedir. ARP zor problemlerdir bu sebeple bazı durumlarda çözüm süreleri uzun olduğundan çözüme ulaşmak adına farklı yöntemler kullanılabilir. Problem tipi elverdiği sürece kesin çözüm yöntemleri uygulanmaya çalışılır çünkü bu yöntemler matematiksel programlama tabanlıdır ve sonuçları kesindir.

a) Dinamik Programlama: Araç rotalama probleminin birbirinden bağımsız alt problemlere ayrılarak her bir alt problemin ayrı ayrı çözümünün sağlanarak alınan sonuçların en sonunda birbirine bağlanmasıdır. Diğer kesin çözüm yöntemlerinden ayrıldığı nokta iterasyon mantığının kullanılmasıdır.

b) Dal sınır algoritması: Problemdaki tamsayıya sahip noktaların kontrol edilerek alt ve üst sınırlar oluşturulması ile ve her aşamada bu sınırların kontrol edilerek hangi nokta üzerinden çözümün ilerletileceğine karar veren bir yöntemdir. Optimum çözüm bulana kadar devam eder. Ayrıca elde edilen çözümlerden optimum çözüme götürmeyecek olanlar elenmektedir.

c) Kesme düzlemi yöntemi: Tam sayılı çözüm bulunabilmesi için kesme adı verilen kısıtların eklendiği bir çözüm yöntemidir. Dal sınır algoritmasında alt üst sınır yerine kesme düzlemi kısıtının eklenmiş halidir. Doğrusal programlama ile çözülen model tam sayılı sonuçlar verdiğinde kesilir. Tam sayılı çözüm elde edilemezse işlemler en başa dönülerek yeni bir kesme düzlem eklenmek suretiyle baştan başlatılır.

d) Dal ve Kesme Algoritmaları: Dal ve sınır algoritmasından ayrılan yanı modeli kesmek için özel kısıtlar kullanılmasıdır. Sonrasında da çözüm alanı daraltılarak çözüme gidilmeye çalışılır. Alt turlar sıfıra eşitlenmektedir ve bu sayede dallara ayrılır. Dal sınır ve kesme düzlemi algoritmalarının birleşimidir.

2.4.2. Sezgisel yöntemler

Sezgisel yöntemlerin amacı çözümü uzun süren problemlerin optimale yakın sonuçlarının daha hızlı alınmasıdır. Sezgisel yöntemler kurulan bir yapı çerçevesinde belli bir başlama noktasından yola çıkarak iterasyon içeren işlemlerle sonuca ulaşmaya çalışır. En iyi ya da en yakın çözümü sunan yöntemlerdir.

a) Tur kurucu sezgiseller: İki nokta arasına bağlantı ekleyerek uygun çözüme ulaşmaya çalışılır. Düğümler arası ekleme durumlarında kapasite, maliyet ve zaman kısıtları kullanılır. Rastgele atamalarla çözüme başlanmaktadır. En kısa yol sezgiseli ve en yakın komşu sezgiseli bu çözüm yöntemi için örnek verilebilir.

b) Tur geliştirici sezgiseller: Olası çözümlerden biri başlangıç noktası olarak kabul etmek suretiyle ve dal kombinasyonlarının kontrol edilerek ilerlendiği çözüm yöntemidir.

Uygun bir çözüm ile başlanır ve her iterasyonda bu çözümü iyileştirmek adına farklı kombinasyonlar denenerek ilerlenir. Seyyar satıcı yöntemi buna örnek verilebilir.

c) İki aşamalı sezgiseller: İlk aşamada düğümlerin gruplaması yapıldıktan sonra ikinci aşamada düğümler arası rotalar oluşturulur. Gruplama aşamasında araç kapasitelerinin aşmamasına dikkat edilir. Rotanın oluşturma aşamasında gezgin satıcı problemi çözme tekniği ile çözüm aranmaktadır. Petal algoritması ve süpürme algoritması iki aşamalı sezgisel yönteme örnek olarak verilebilir.

d) Taillard algoritması: Taillard tarafından geliştirilmiştir. Problem alt problemlere bölünür ve her problem paralel olarak birbirinden ayrı ayrı çözülür. Algoritmada sürekli çeşitlilik ve rassal yasaklı süreler kullanılır.

e) En yakın komşuluk algoritması: GSP ve ARP problemlerinin çözümü için geliştirilmiş basit ve etkili bir yaklaşımdır. İlk aşamada başlangıç noktasından (depo ya da müşteri) en yakın mesafedeki nokta seçilir. Seçilen noktadan henüz ziyaret edilmemiş bir sonraki en yakın nokta seçilerek ilerlenir. Tüm noktalar ziyaret edilene kadar devam eder. Başlangıç noktasına dönülerek işlem tamamlanmış olur.

e) Clarke ve Wright kazanım algoritması: ARP problemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Tasarruf algoritması olarak da bilinmektedir. 1964 yılında Clarke ve Wright tarafından geliştirilmiştir. Belirli bir depo (merkez) etrafında toplanan müşterilere yapılacak dağıtımların toplam maliyetini veya mesafesini minimize etmeyi hedefler. Hızlı ve etkili bir yaklaşım sunar. Basitliği ve pratikte iyi sonuçlar vermesi nedeniyle sıkça tercih edilen bir yöntemdir.

f) Süpürme algoritması: ARP'nin düzlemsel örneklerine uygulanmaktadır. Depo başlangıç noktası olarak kabul edilir ve depodan başlayarak müşteri noktalarına rassal olarak ulaşılır. Başlangıçta bir müşteri noktasına gidilerek araç kapasitesi dolana kadar müşteri noktaları bu rotaya eklenerek ilerlenir. Kapasite dolunca aracın depoya geri

dönmesi gerekmektedir. Algoritma tüm araçlar kullanılıncaya kadar devam eder. Ortaya çıkan bu araç rotaları daha sonra gezgin satıcı problemi ile en iyileme yapılmak suretiyle çözülür. Sonuç olarak da her bir küme için araç rotaları oluşturulur.

g) İyileştirici sezgiseller: Çoğunlukla diğer sezgiseller tarafından oluşturulan mevcut bir çözümü daha iyi hale getirmek için kullanılan yöntemlerdir. Bu yaklaşımlar, başlangıçta elde edilen bir çözümü alır ve belirli bir iyileştirme stratejisiyle çözümü adım adım daha optimize bir hale getirmeye çalışır. İyileştirici sezgiseller, genellikle yerel arama tekniklerine dayanır ve çözümler üzerinde küçük değişiklikler yaparak daha iyi sonuçlar elde etmeyi amaçlar. Araç Rotalama Problemi (ARP) gibi kombinatorial problemlerde sıkça kullanılır.

Eğer iyileştirilmiş bir çözüm bulunursa, elde edilen bu çözüm güncel çözüm kabul edilir ve iterasyonlar devam eder. Eğer iyileştirilmiş bir çözüm bulunamazsa yerel en küçük çözüm bulunmuş demektir, süreç sonlanır.

2.4.3. Metasezgiseller

Kesin çözüm yöntemleri ile kısa sürede çözümü sağlanamayacak büyüklükteki problemlerin çözümünde kullanılır ve daha hızlı bir çözüm sağlar. Sezgisel yöntemlerin biraz daha geliştirilmiş versiyonu gibi değerlendirilebilir. Yapay zeka destekli çözümler de devreye girmektedir. Söz konusu problemin çözümünün en iyi çözüm olması beklenmez ancak optimuma yakın sonuçların elde edilmesine yardımcı olur. Belirli bir amacı gerçekleştirmeye odaklanır, genel bir yol gösterici yöntemler bütünüdür. Ufak dokunuşlarla farklı problemlere uygulanabilirler.

a) Karınca kolonisi eniyilemesi: Bu yöntem karınca kolonilerinin gerçek yaşam davranışlarından esinlenerek ortaya konulmuştur. Karıncalar yaşam alanları ile hedefledikleri gıda arasındaki yolu en optimum şekilde katetme özelliğine sahiptirler. Karıncalar gıda ararken geçtikleri noktaları feromon adında bir madde ile işaretlerler. Feromon yoğunluğu yolun gıda açısından ne denli iyi olduğunun bir ölçüsüdür. Bu algoritma da paralel çalışır ve aynı anda farklı çözümler ortaya koyar, eski iterasyonlardan bilgi alışverişi yapılır.

b) Genetik algoritmalar: Genetik algoritmalar genetik mekaniğine dayalı arama süreçleridir. Büyük, doğrusal olmayan problemler için etkin bir yaklaşım sunar. Araç rotalama problemleri de büyük ve doğrusal olmayan problem tiplerini içerisinde barındırır. Genelde model çok büyükse ve karmaşık bir yapıdaysa tek bir noktadan başlayan metasezgisel yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verebilmektedir.

c) Grasp: Grasp (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure), Çok aşamalı sezgisel yöntem olan Grasp, bütünleştirici en iyileme problemleri arasında en bilinenlerdendir. Her Grasp aşaması, ana hedef olarak uygulanabilir bir çözüm oluşturmayı hedefler ve ardından bulunan çözümü yerel bir optimum çözüm bulunana kadar iyileştirmek için bir yerel arama sürecinin uygulamasını içermektedir.

d) Tavlama benzetimi: Kombinatoriyal optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan güçlü bir meta sezgisel algoritmadır. Adını, metalurji süreçlerinden gelen bir terim olan "tavlama"dan alır. Bu süreçte, bir malzeme yüksek sıcaklığa ısıtılır ve ardından kontrollü bir şekilde soğutulur, böylece malzeme iç yapısı minimum enerji durumuna gelir. Tavlama benzetimi, bu fiziksel süreçten esinlenerek geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir ve yerel minimumlara takılmadan, global minimuma ulaşma şansını artırmak için kullanılır. Tavlama benzetimi, özellikle yerel arama yöntemlerinin sıkça yerel minimumlarda takılma riskine karşı geliştirilmiştir. Algoritma, bir başlangıç çözümünden başlar ve komşu çözümlere doğru hareket ederken, belirli bir sıcaklık parametresine bağlı olarak zaman zaman "kötü" çözümleri de kabul eder. Bu süreç, zamanla sıcaklık azalırken daha sıkı hale gelir ve algoritma daha iyi çözümleri aramaya odaklanır.

e) Yasaklı arama: Yasaklı aramanın temel mantığı son çözümle yapılan adımların dairesel hareketlerini engellemektir. Bunun amacı da bir sonraki döngüde tekrarların oluşmasını veya cezalandırılmasını önlemek amaçlıdır. Yöntem, her iterasyon adımının bir bellekte saklanması ve daha önceki çözümlerin bu bellekte izlenerek gerektiğinde yasaklanması ilkesine dayanır. Yasak listesi ile daha önceden yapılan hareketlerin ya da oluşturulan çözümlerin tekrar oluşmasının engellenmesi hedeflenmektedir.

f) Değişken komşuluk arama: Yerel arama tekniklerinin ötesine geçerek, optimizasyon problemlerinde daha geniş bir arama alanını keşfetmek için kullanılan güçlü bir meta-sezgiseldir. Farklı komşuluk yapıları kullanarak çözüm uzayını keşfeder ve bu sayede yerel minimumlardan kaçınarak daha iyi global çözümler bulma şansını artırır. Farklı komşuluk yapıları kullanarak arama alanını genişleten değişken komşuluk arama, yerel minimumlardan kaçınma ve daha iyi global çözümler bulma şansını artırır.

g) Parçacık sürü en iyilemesi: Parçacık Sürü En İyilemesi, toplu bir optimizasyon tekniğidir ve 1995 yılında James Kennedy ve Russell Eberhart tarafından

geliştirilmiştir. Doğadaki kuş sürüleri ve balık sürülerinin davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir algoritmadır. PSO, çözüm uzayında "parçacıklar" adı verilen bireylerin hareketini ve etkileşimini modelleyerek çözüm arayışında bulunur. Her bir parçacığın (çözümün) arama alanında belirli bir konumda bulunduğu ve bu konumun zamanla değiştiği bir arama mekanizmasına dayanır. Her parçacık, en iyi çözümünü ve en iyi çözümün bulunduğu konumu hatırlar ve diğer parçacıklarla bilgi alışverişinde bulunarak konumunu günceller. Bu süreç, toplu bir arama ve iyileştirme mekanizması olarak çalışır.

h) Tabu arama algoritması: Tabu arama algoritması, temelde kısır döngü oluşumunu engellemek için bir listeleme yapma mantığına dayanır. Bu listeleme sayesinde sonraki iterasyonda tekrar arama ve mükerrerliklerin önüne geçilmesi sağlanır.

3. LİTERATUR TARAMA

Ürün ya da hizmetlerin müşterilere ulaştırılmasını sağlayan dağıtım ağları lojistik sistemlerinde kilit rollerden biridir. Aynı zamanda maliyetli bir fonksiyondur. Etkin bir şekilde yönetilmesi bu sebeple kritiktir, büyük önem taşımaktadır. Yöneylem araştırması literatüründe Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak geçmektedir ve üzerinde çokça çalışmalar yapılmıştır. ARP'yi genel olarak bir firmanın lokasyonları bilinen n adet müşterisine (talep noktasına) tam anlamıyla hizmet verebilmesi için bazı operasyonel kısıtların göz önünde bulundurulduğu ve minimum maliyetin amaçlandığı araç rotalarının tespiti şeklinde ifade edebiliriz (Erol, 2006). Birden fazla araç ile müşterilere hizmet ya da ürün dağıtımının genel bir adıdır. Özetle araçlar depodan çıkıp müşterilere hizmet verir ve bu işlemin tamamlanması neticesinde tekrar başladıkları noktaya, depoya dönerler. Her müşterinin kesin talebi söz konusudur.

Son yıllarda yöntemsel ilerleme ve bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile daha karmaşık kısıtlar, değişkenler ve hedefler içeren akademik çalışmalar artmıştır. Gerçek hayatın kompleks kısıtları görülmeye başlanmıştır. Örneğin zamana bağlı olarak farklı seyahat sürelerinin hesaba katılması, dağıtım ve toplama sürelerinin modellere eklenmesi vb. çalışmalar. Bu özellikler haliyle karmaşıklık içermektedir. (Braekers ve diğerleri, 2016). ARP zor bir problem türüdür (Lenstra and Rinnooy Kan, 1981). Bu durumdan dolayı, kesin çözüm algoritmaları nispeten küçük ölçekli problemlere çözüm bulur, büyük ölçekli problemlerin çözümünde çoğunlukla sezgisel/metasezgisel yöntemlerin kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır (Cordeau, Gendreau, Hertz, Laporte, & Sormany, 2005).

Benzer şekilde mevcut bilgisayarların donanımsal özelliklerinin gelişme göstermesi (işlem hızı ve bellek kapasitesinin katlanarak artması vb.), ARP için önerilen çözüm yöntemlerinin sayısının da hızla artmasına katkıda bulunmuştur ve gelişim hala devam etmektedir. Daha büyük örnekleri çözme yeteneği, araştırma alanındaki ilerlemeyi ve çok çeşitli endüstriyel sektörlerdeki binlerce şirket tarafından kullanılan ARP için ticari yazılımların geliştirilmesini teşvik eder (Hall & Partyka, 2014).

ARP'nin doğuşundan bugüne kadar konu özelinde yoğun çalışmalar yapılmıştır. Daha önceki bölümlerde ARP'nin birçok varyantı olduğundan ve çeşitlerinden bahsetmiştik. Literatürde her biri için fazla sayıda çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Araç Rotalama problemi literatüre ilk kez Dantzig ve Ramser (1959) tarafından “Kamyon Sevk Problemi” ile girmiştir. Benzin istasyonlarına aynı kapasiteye sahip kamyonlarla dağıtım problemi işlenmiştir. Her kamyon işi bitince depoya dönmekte, her bir müşteri bir kamyon tarafından ziyaret edilmektedir ve amaç minimum mesafe kat etmektir. Clarke and Wright (1964) söz konusu problemin biraz daha genelleştirdiler ve lineer bir optimizasyon problemi ortaya çıktı. Farklı kapasitelere sahip araç filosu ile müşterilerin ihtiyaçları karşılanmış oldu. Bu çalışma günümüzdeki ARP modellerinin benzediği ilk çalışma oldu. Sonrasında ortaya konan modeller ve yöntemler daha iyi çözümler ortaya koyma amacıyla ortaya çıkan arayışlardır.

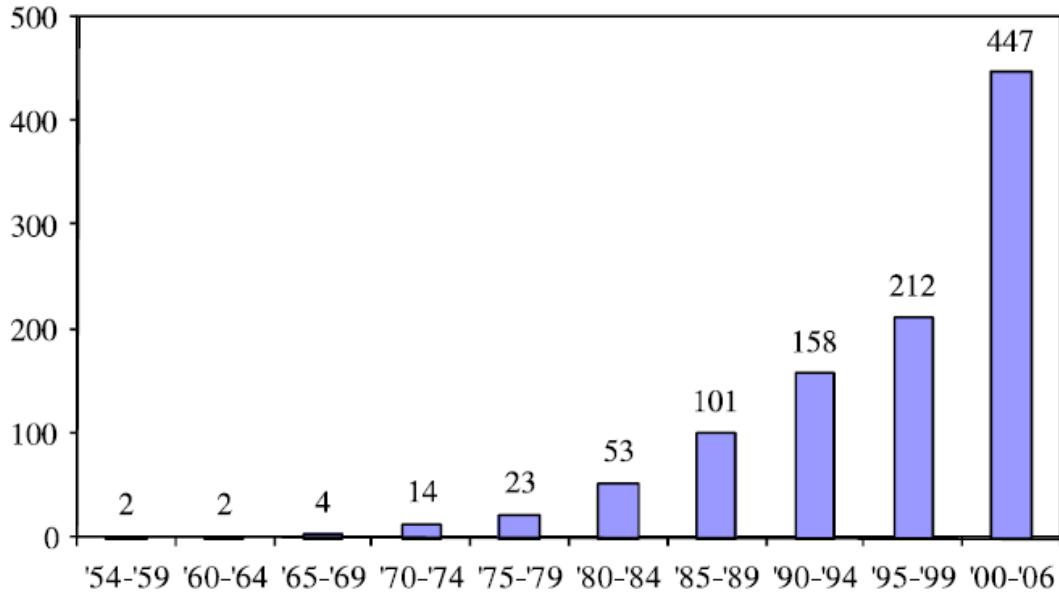
Başlığında araç rotalama geçen ilk makale Golden, Magnanti ve Nguyen'ın 1972 yılında ortaya koyduğu Implementing Vehicle Routing Algorithms adlı makaledir. ARP nin diğer versiyonları da 1970 li yıllarda ortaya çıkmaya başlamıştır. Ulaşım sistemleri filo rotalama konusunu ele alan çalışma filo yönetimi konusunun temellerini atmıştır ve bu alanın gelişimine önemli katkıda bulunmuştur (Levin, 1971). O dönemde farklı alanlarda ele alınan diğer çalışmalar; Otobüs arama sistemi (yolcuların ihtiyaçlarına göre esnek ve isteğe bağlı toplu taşıma hizmetlerinin optimizasyonu.) (Wilson, Sussman,1971), ulaşım ağlarının planlanması ve optimize edilmesi (O'Connor & De Wald, 1970), toplu taşıma araçlarının en optimum şekilde kullanılması (Marks, Stricker,1970), ürünlerin üretim noktasından tüketim noktasına etkin ve verimli bir şekilde taşınması ve dağıtılması (Eilon, Watson-Gandy ve Christofides, 1971), katı atıkların toplanması ve taşınması (Liebman, 1970) şeklinde sıralanabilir (Ekşioğlu, Vural, & Reisman, 2009).

ARP'ye olasılıksal içerik ilk defa Golden ve Stewart (1978) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Klasik ARP ye zaman penceresi kısıtları ilk defa Solomon (1983) tarafından eklenmiştir. Günümüzde “Solomon Instances” olarak bilinen ve ARP de yaygın olarak kullanılan bir dizi veri seti Solomon tarafından literatüre kazandırılmıştır.

1980 yılları boyunca yapılan araştırmalar original problemin farklı statik yapılandırılmalarını kapsamaktadır. O yıllarda problemin kompleksitesine karşın bilgisayar teknolojisinin gelişmiş olmamasından dolayı ARP'nin stokastik, dinamik ve bulanık versiyonları üzerinde çalışmak için yeterince imkân bulunamamıştır.

1990 lı yıllara gelindiğinde bilgisayar kapasitelerinin gelişmesi ile daha karmaşık arama algoritmaları oluşturma ve uygulama imkanları artmıştır. Metasezgisel yöntemler ortaya çıkmıştır. Metasezgisel yöntemler çözüm arama aşamasında önemli bir unsurdur. En iyi çözüme ya da en iyi çözüme doğru en yakın çözümlere ulaşmak amaçlanır. Gendreau vd. (1998) benzetilmiş tavlama, belirleyici tavlama, tabu arama, genetik algoritmalar, karınca sistemleri ve sinir ağları gibi metasezgisel yöntemlerle ARP varyantlarını incelemiştir. Güçlü bilgisayar imkanları ve gelişmiş kod yazma kapasitesi sayesinde stokastik ARP problemleri de kolayca çözülmeye başlanmıştır.

Gelişen imkanlar çerçevesinde ARP alanında yapılan çalışmaların sayısı 2000’li yıllardan itibaren önemli derecede artmaya başlamıştır. Söz konusu yıllarda yapılan çalışmaların sayıları Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3-1: ARP alanında yapılan çalışmaların 1954 yılından 2006 yılına kadarki sayıları (Ekşioğlu, Vural, & Reisman, 2009)

Literatürde yapılan çalışmalar, ARP’nin anlaşılmasına ve çözüm yaklaşımlarının zenginleştirilmesine fayda sağlamaktadır. ARP’nin çıkışı katedilen yolun minimizasyonu olsa da maliyetler haricinde farklı amaç fonksiyonları içeren çalışmalar da yapılmıştır (Yang, Sun, & Duan, 2015). müşteri tatmini maksimizasyonu; (Szczepeński, Zak, Jacyna-Golda, & Murawski, 2017) başarılı teslimat maksimizasyonu; (Ansariipoor, Oliveira, & Liret, 2014) risk minimizasyonu; (Soysal & Çimen, 2017) karbon emisyonu minimizasyonu ve (Xia, Zhu, Gu, Zhang, & Li, 2016) araç kullanım oranı maksimizasyonu gibi farklı amaç fonksiyonları olan modeller de geliştirilmiştir.

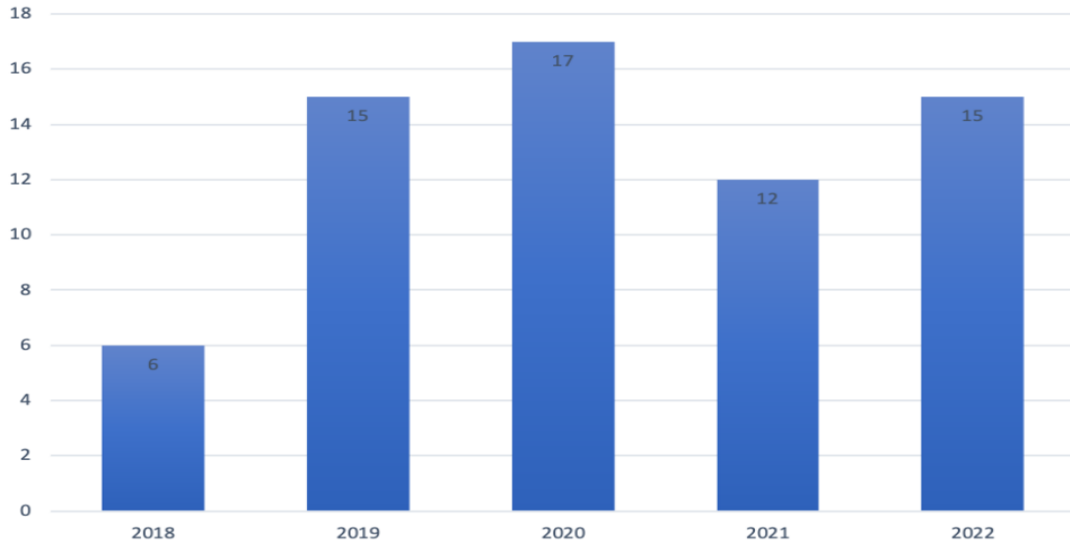
Bu çalışmada konu olan ZARP özellikle lojistik alanında yaygın olarak kullanılan bir türdür. Her teslimat için belirli zaman pencereleri dikkate alınarak teslimat rotalarının optimizasyonu sağlanır. ZARP ilk olarak 1987’de Solomon tarafından önerilmiştir. (Solomon, 1987) ZARP, kendi içerisinde katı (hard) ve yumuşak (soft) şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Katı zaman pencereli problemlerde başlangıçta müşteriye ne zaman atanmışsa o zamanda teslimat yapılması/hizmetin verilmesi gerekir, algoritma bu çerçevede oluşturulur. Araç hedef noktaya erken geldiği takdirde zamanının gelmesini bekler, hedefine geç gelmesi ise mümkün değildir, bu durum zaten model kısıtlarında tanımlanır. Yumuşak zaman pencereli problemlerde ise zaman penceresi öncesi ya da sonrası teslimat yapılabilir. Ancak model, erken ya da geç teslimat durumunda ceza maliyeti hesaplanması üzerine bina edilmiştir. Braekers ve ark (2016) çalışmasında ZARP modelleri sınıflandırılmıştır. Detayları incelenen 124 çalışmadan %80,64’ünün modeli katı zaman pencereli, %15,32’si yumuşak zaman pencereli ve kalanlar ise iki modelin karışımı olan hibrit modellerdir. Aynı çalışmaya göre detaylandırılan 277 ARP çalışmasının 124 tanesinde zaman pencereli algoritma içeren modellerle çalışıldığı görülmüştür.

Literatürde yapılan çalışmalara ve söz konusu araştırmanın sonuçlarına da bakıldığında ZARP’ın araştırmacıların epey ilgisini çektiği görünmektedir. Bu sonucun çıkmasında fazla sayıda gerçek dünya uygulamasının olmasının da rolü büyüktür. Bu çalışmalara örnek olarak; Atık toplama (Agraval, Kaur, & Kolesar, 2021), evde sağlık hizmetleri (Jiang, Men, Xu, & Zheng, 2020), bozulabilir malların teslimatı (Wu, Zheng, & Zhou, 2020), belediye katı atık toplama (Zang, Mu, & Wang, 2020), ev teslimatı (Zhou, He, & Zhou, 2019), otobüs güzergahı otomasyonu (Liu & Wang, 2022), araç paylaşım hizmetleri (Li, Gao, Wang, Huang, & Nie, 2022), özelleştirilmiş otobüs hizmetleri (Sun, Chien, Hu, Chen, & Jiang, 2020) çalışmalarını verebiliriz (Bouyahyious & Bellabdaoui, 2022). çalışmasında oluşturulan modelde komple araç için çoklu depo içeren zaman pencereli bir tam sayılı model ve genetik algoritma çözümü karşılaştırılmıştır. Yüklerini boşaltmış araçların depoya dönüş maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır (Reşat & Turkay, 2015). incelendiğinde ülkemizde Marmara bölgesinde intermodel bir vakanın çoklu amaç fonksiyonu ile çözümlendiği görülmektedir. Model hem maliyeti hem de seyahat süresinin minimize etmek üzerine kurulmuştur. (Ekiz, Bozdemir, & Türkan, 2019) ise çalışmalarında firma çalışanlarının sabah ve akşam mesai içi ve mesai dışı çalışma zamanlarına göre en yakın servis rotası güzergahının oluşturulmasını amaçladılar.

ZARP için optimal bir çözüm bulmak, çözümü zor olan bir problemdir ve problem boyutu büyüdükçe karmaşıklığı önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar optimal çözümlerin elde edildiği kesin algoritmaları daha az kullanmaktadırlar ve kabul edilebilir yaklaşık çözümler bulmak için daha çok sezgisel metotlara yönelmektedirler. Bu zorluğu ele almak için tekli algoritmalar, hibrit algoritmalar ve makine öğrenimi yöntemleri gibi birçok yaklaşık algoritma çalışılmıştır, araç rotalarını optimize etmek için daha etkili ve verimli çözümlere hala ihtiyaç vardır (Liu, Chen, Por, & Ku, A Systematic Literature Review of Vehicle Routing Problems, 2023).

Son yıllarda ZARP daha fazla aktif bir araştırma alanı haline gelmiştir ve birçok çalışma, araç rotalamanın verimliliğini ve etkinliğini artırmak için yeni algoritmalar ve teknikler geliştirmeye odaklanmıştır. Ancak, önemli ilerlemelere rağmen, hala ele alınması gereken birkaç zorluk bulunmaktadır. Bunlar arasında, çoklu kısıtların dahil edilmesi, çoklu amaçların kullanılması ve çözümlerin gerçek dünya senaryolarına uyarlanması yer almaktadır.

2018 ile 2022 yılları arasında ZARP konusunda yapılan çalışmaların sayıları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3-2: 2018 – 2022 arasında yıl bazlı yayımlanan makale sayıları (Liu, Chen, Por, & Ku, 2023)

ZARP problemlerinin boyutu arttıkça zorluğu da arttığından dolayı modellenen problemlerin çözümünü bulmak için çoğunlukla sezgisel ve metasezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Kesin yöntemler bu iki yönteme göre daha az kullanılmaktadır. 2018 – 2022 yılları arasındaki çalışmalar baz alındığında metasezgisel yöntemler %69,

sezgisel yöntemler %17 ve kesin yöntemler ise % 7'dir. Kalan %7'yi ise diğer yöntemler oluşturmaktadır (Liu, Chen, Por, & Ku, 2023).



4. METODOLOJİ

Tez çalışması, Telekom sektöründe faaliyet gösteren firmanın saha ekiplerinin araç rota planlamasının yapılması ve müşterilerine doğru zamanda ve doğru yerde hizmet vermesini sağlamayı amaçlamaktadır. Bunun için de firma işleyişine en uygun ARP'nin bir çeşidi olan ZARP (Zaman Pencereli Rota Planlaması) matematiksel modeli firmaya uyarlanarak günlük rota planlaması yapılmıştır.

ZARP'ın ARP nin geliştirilmiş bir çeşidi olduğunu belirtmiştik, firmada kurulan modele geçmeden önce ARP'nin ve ZARP'ın temel yapısından bahsetmek faydalı olacaktır. Klasik Araç Rotalama Problemi (KARP), ARP'nin en çok çalışılan türlerindendir. Her bir araç rotası başladığı yerde tamamlanmaktadır. Araçlar aynı özellik ve kapasiteye sahiptir. Müşteri talepleri önceden bilinmektedir, bir araç sadece bir lokasyona uğrayabilir ve her bir müşterinin talebi tamamen karşılanmalıdır.

ARP'nin temel notasyonları aşağıdaki şekildedir;

d_{ij} : i lokasyonu ile j lokasyonu arasındaki mesafe

Karar değişkeni: x_{ij} : $\begin{cases} 1; & \text{eğer } i \text{ lokasyonundan } j \text{ lokasyonuna gidiliyorsa} \\ 0, & \text{eğer } i \text{ lokasyonundan } j \text{ lokasyonuna gidilmiyorsa} \end{cases}$

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i=0}^n d_{ij} * x_{ij} \quad i == j; \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (3)$$

$$\sum_{ij} x_{ij} \geq |S| - V(S) \quad \{S: S \in V \setminus \{1\}, |S| \geq 2\} \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in E; i \neq j \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu (1): toplam mesafeyi minimize etmeyi amaçlamaktadır. Kısıt (2)'ye göre her düğümden mutlaka bir başka düğüme gidilmelidir. (3)'e göre her düğüme mutlaka uğranılmalıdır. (2) ve (3) kısıtları araç akış kısıtlarıdır. (4) alt tur engelleme kısıtıdır. (Alpaslan, 2015)

Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminde müşteri istekleri belirli bir zaman dilimi $[a_i, b_i]$ aralığında karşılanmalıdır. ZARP modelinde a_i : i. müşteriye servisin başlaması gereken zamanı, b_i : i. müşterideki servisin bitmesi gereken zamanı ifade etmektedir. Araçlar başlangıç noktasından ayrıldıktan sonra, t_{ij} (i şehrinden j şehrine gitmek için geçen süre) kadar bir seyahat süresi sonrasında müşteri lokasyonuna ulaşmaktadır ve s_i kadarlık bir süre içerisinde müşteriye hizmet verirler. Temel anlamda araç rotalama problemlerinden farkı budur, çözülen problemin niteliğine göre bazı ufak farklılıklar söz konusu olabilir. ZARP'ın amacı; araç kapasiteleri, servis zamanları, zaman pencereleri dikkate alınarak optimal rota kümesinin oluşturulması ve her araç için ziyaret edilecek müşteri sırasının belirlenmesidir. (Çetin & Gencer, 2010) Bu belirtilenler ışığında ARP modelinin üzerine bina edilen ZARP'ın temel notasyonları aşağıdaki gibidir.

Karar değişkeni:

W_i : i düğümünde servise başlama zamanı

Amaç fonksiyonu:

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^n d_{ij} * x_{ij} \quad i \neq j; \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{0j} = \sum_{i=1}^n X_{i0} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (7)$$

$$W_i + P_i + T_{ij} - W_j \leq M(1 - X_{ij})$$

$$e_i \sum_{i=1, j=1}^n X_{ij} \leq W_i \quad (9)$$

$$l_i \sum_{i=1, j=1}^n X_{ij} \geq W_i \quad (10)$$

$$u_i - u_j - n + 1 + M * \sum_{j=2}^n \sum_{i=2}^n X_{ij} \quad i == j \quad (11)$$

$$W_i \geq 0$$

4.1. Firmanın Yapısı

Sipariş ya da arıza işleri firmada saha ekipleri tarafından icra edilmektedir. Saha ekiplerinin yapması gereken işler İşgücü Yönetim Sistemi ile takip edilmektedir. İşlerin atanması mevcuttaki yazılım ile otomatik olarak yapılmaktadır. Saha çalışanları ekibi, ekip çalışma bölgesini, çalışma bölgesi de çalışma alanını oluşturmaktadır. Çalışma alanlarının her birinin yönetimi Dispatcher (İş Dağıtıcı) personel tarafından gerçekleştirilmektedir. Sistem tarafından ekiplere atanan işlere Dispatcher gerektiğinde müdahale edebilmektedir. Çalışma bölgeleri ekiplerden oluşur ve her bir çalışma bölgelerine sorumluluk sahaları tanımlanmıştır. İşleri yapabilmek belirli yetenek gerektirir ve her ekibin sorumluluğunda hangi işler varsa o işlerin gerektirdiği yetenekler ekiplere tanımlanmıştır. İşler lokasyona ve işin gerektirdiği yeteneklere göre ilgili ekiplere sistem tarafından atanmaktadır.

Firmanın geniş bir ürün portföyü bulunmaktadır, bunların başında fiber ve bakır altyapıdaki ses ve internet ürünleri gelmektedir, saha ekiplerinin yaptığı işlerin çoğunu bu hizmet türlerindeki iş emirleri oluşturmaktadır. İlgili işler randevulu ya da randevusuz olabilmektedir. Randevulu işler müşterinin istediği ve ajanda uygunluğuna göre belirlenen slot zaman aralığında, randevusuz işler ise sla süresi içerisinde tamamlanması gerekmektedir.

Saha ekipleri siparişlere istinaden oluşan kurulum ya da arıza kapsamında oluşan iş emirleri için müşteri lokasyonunda hizmet vermektedirler. Müşteri lokasyonunda verilen bu hizmet yukarıda detayları verildiği gibi ilgili zaman dilimi içerisinde tamamlanması gerekmektedir.

4.2. Firma Veri Yapısı ve Matematiksel Model

Bu bölümde firmanın veri yapısı detayları ile açıklanmış ve bu veri yapısı çerçevesinde oluşturulan model ortaya konuşmuştur. Örnek gerçek veriler üzerinden matematiksel model IBM Ilog CPLEX programı ile çözülmüştür.

Firma tüm Türkiye bazında geniş bir ekip ağına sahiptir. Kurulan model belirli bir ildeki çalışma bölgesindeki ekiplerin belirli bir gündeki işleri üzerinden çalıştırılacak sonuçları yorumlanacaktır. Ortaya çıkacak model diğer ekipler için de örnek teşkil etmiş olacaktır.

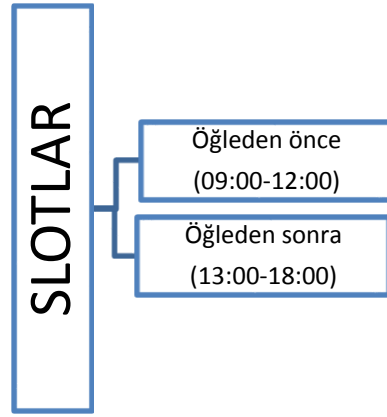
Modele ait terimler ve açıklamaları maddelendirilmiştir.

- **Telekom müdürlüğünün konumu:** Ekip araçları müşterilere gitmek için Telekom Müdürlüğünden hareket etmekte ve işleri bittiğinde Telekom Müdürlüğüne dönmektedir. Bu sebeple Telekom müdürlüğü konumu önemlidir.
- **İşlerin tamamlanma süresi:** Her bir iş emri tipinin ne kadar sürede tamamlandığını ifade etmektedir. İşlerin tamamlanma süreleri iş türü bazlı Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4-1: İş süreleri

İş Türü	Süre (dk)
DSL ARIZA	18
FİBER ARIZA	25
FİBER İNTERNET KURULUM	25
FİBER SES KURULUM	15
HARICI	18
SES ARIZA	18
SES KURULUM	18
ELİT ARIZA	48

- **Müşterilerin birbirleri arasındaki mesafe:** Her bir müşterinin birbiri arasındaki mesafenin km cinsinden değeridir. Mesafeler Google Maps (2024) uygulamasından alınmıştır. İki müşteri arasında birden fazla rota seçeneği olabilmektedir. En kısa mesafeli rotalar seçilmiştir.
- **Müşterilerin birbirlerine ulaşım süresi:** Google Maps ten alınan en kısa mesafeli müşteriler arası rotanın Google maps ten alınmış ulaşım süresidir.
- **Depo ve müşteriler arasındaki mesafe:** Her bir müşteri ile Telekom Müdürlüğünün birbiri arasındaki mesafenin km cinsinden değeridir. Mesafeler Google Maps (2024) uygulamasından alınmıştır. Müşteriler ve depo arasında birden fazla rota seçeneği olabilmektedir. En kısa mesafeli rotalar seçilmiştir.
- **Depo ve müşteriler arasındaki ulaşım süresi:** Google Maps ten alınan en kısa mesafeli müşteriler ve depo arası rotanın Google maps ten alınmış ulaşım süresidir.
- **İşlerin en erken başlama zamanı:** İlgili müşteride işin yapmaya başlanabileceği en erken zamandır.
- **İşlerin en geç başlama zamanı:** İlgili müşteride işin yapmaya başlanabileceği en erken zamandır.
- **Ekiplerin mesai başlangıç ve bitiş zamanları:** Ekiplerin mesailerinin günlük başlangıç ve bitiş zamanlarını ifade etmektedir.
- **Slot bilgileri:** Ekiplerin müşterilere hizmet verdiği zaman aralıklarını ifade eder. Slot çeşitleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4-1: Ekip Slot Bilgileri

Kurulan matematiksel modelin varsayımları aşağıdaki gibidir;

- Her ekip Telekom Müdürlüğünden yola çıkacaktır.
- Bir iş günü normal mesai süresi 9 saattir. Ek mesai yapılmışsa bunun süresi de maksimum 3 saattir.
- Bir müşteriye bir ekip gider
- Araç kapasitesi ve yük kapasitesi göz ardı edilmiştir.
- Ekip mesaisi 08:00'de başlamaktadır. Müşterilere verilen hizmet 09:00'da başlamaktadır. Model buna göre kurgulanacaktır.
- Her müşteriye bir kez uğranmalıdır.
- Tüm rotalar Telekom müdürlüğünde başlar ve Telekom Müdürlüğünde sona erer.
- Mesai başlangıç ve bitişinde hizmet verilmesi gerekmektedir.
- Her müşterinin zaman aralığı (slot) içerisinde hizmet verilmelidir.
- Araç müşteriye ulaştığı anda servis hizmetine başlamaktadır, hazırlık süreleri ve molalar hizmet sürelerine dahil edilmiştir.
- İşin atandığı ekipteki çalışan işin gerektirdiği yeteneğe sahip olduğu varsayılmıştır.
- Hizmet sağlanacak müşteriye ulaşıldığında herhangi bir problemle karşılaşılmadan hizmetin yerine getirildiği varsayılmıştır.
- Servis zamanından önce ekip müşteri lokasyonuna ulaşmışsa ceza maliyeti olmayacak, en erken servis zamanı gelinceye kadar bekleyecektir.
- Her bir müşterinin talebi 1'dir.
- Her ekip bir tane araca sahiptir ve araçlar aynı özelliktedir.
- İş emirleri lokasyon ve yeteneğe göre firmanın sahip olduğu İş gücü Yönetim Sistemi tarafından ekiplere otomatik olarak atanmaktadır.

Modelde kullanılan indisler Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4-2: Model İndisleri

Küme/İndis	Tanım
D	Başlangıç deposu
C_i	Müşteriler kümesi
i,j	İ ve j müşteriler indisi
V	Araçlar kümesi
v	Araçlar indisi

Modele ait karar değişkenleri Çizelge 4.3’te belirtilmiştir.

Çizelge 4-3: Model karar değişkenleri

Karar Değişkeni	Tanım
x_{ij}	İ düğümünden j düğümüne gidiliyorsa 1, aksi durumda 0
w_{ij}	İ düğümünde servise başlama zamanı

Model parametreleri aşağıda yer almaktadır.

Parametreler;

e_i : i düğümünde en erken başlama zamanı

l_i : i düğümünde en geç başlama zamanı

d_{ij} : İ düğümünün j düğümüne olan uzaklığı (km)

t_{ij} : İ düğümünden j düğümüne olan seyahat süresi (dk)

p_i : İ düğümündeki servis süresi

M: Büyük bir sayı

Modelin matematiksel gösterimi altta verilmiştir.

Amaç fonksiyonu:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^V d_{ijv} * x_{ijv} \quad i == j; \quad (1)$$

Katedilen mesafenin minimizasyonu amaçlanmaktadır.

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ijv} = 0 \quad v \in V \quad (2)$$

Bir müşteriden aynı müşteriye gidişin engellenmesini sağlar.

$$\sum_{j=1}^n x_{0jv} = 1 \quad v \in V \quad (3)$$

Her bir ekibin Telekom müdürlüğünden işe çıkmasını sağlar.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n x_{ijv} \leq 1 \quad v \in V \quad (4)$$

Her bir ekibin müşteriden bir kere çıkmasını sağlar.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ijv} = 1 \quad v \in V \quad (5)$$

Her müşteriye ziyaret gerçekleştirilecektir.

$$\sum_{j=1}^n x_{0jv} = \sum_{i=1}^n x_{i0v} = 1 \quad v \in V \quad (6)$$

Telekom müdürlüğünden ayrılan araç tekrar Telekom Müdürlüğüne dönecektir.

$$\sum_{i=1}^n X_{ijv} = \sum_{j=1}^n X_{ijv} = 1 \quad v \in V \quad (7)$$

Bir müşteriye hangi araçla gidilmişse, o müşteriden aynı araçla çıkılmasını sağlar.

$$W_{iv} + P_i + T_{ij} - W_{jv} \leq M(1 - X_{ijv}) \quad (8)$$

v aracı i. Müşteriden j. Müşteriye gidiyorsa, j. Müşteriye i. Müşteri servise başlama zamanı, servis süresi ve ulaşım süresinden önce ulaşmamasını sağlar.

$$e_i \sum_{i=1, j=1}^n X_{ijv} \leq W_{iv} \quad v \in V \quad (9)$$

Zaman penceresi kısıttır, yani bir müşteriye en erken zaman kısıtında hizmetin verilmesini garanti eder.

$$l_i \sum_{i=1, j=1}^n X_{ijv} \geq W_{iv} \quad v \in V \quad (10)$$

Zaman penceresi kısıttır, yani bir müşteriye en geç zaman kısıtında hizmetin verilmesini garanti eder.

$$u_i - u_j - n + 1 + M * \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n \sum_{v=1}^{KV} X_{ijv} \quad i == j \quad (11)$$

Alt turları engelleyen kısıttır.

$$X_{ijv} \in \{0,1\} \quad (12)$$

X_{ijv} karar değişkeninin alabileceği değerleri ifade eder.

$$W_{iv} \geq 0 \quad (13)$$

W_{iv} karar değişkeninin alabileceği değer kümesini ifade eder.

Bir numaralı denklem amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Amaç fonksiyonunun amacı katedilen toplam mesafeyi minimize etmektir. i düğümünden j düğümüne v aracı ile gidildiğinde katedilen mesafenin değerini almaktadır. $d_{ijv} * x_{ijv}$ değerlerinin toplamı amaç fonksiyonunu ifade etmektedir.

İki numaralı denklem i düğümünden yine i düğümüne gidilmesini engellemektedir. Yani bir müşteriden aynı müşteriye, akışlar engellenmiştir. Denklemde yer alan i, j ve v indisleri müşteri/depo ve araçlar kümesinin elemanlarıdır.

Saha ekipleri mesaiye Telekom Müdürlüğünden başlamaktadır. Üç numaralı denklem bunu sağlamaktadır. Aynı zamanda her bir ekibin depodan çıkmasını garanti eder. i indisi depoyu, j indisi müşteriler kümesini, v indisi ise araçlar kümesini ifade etmektedir.

Dört numaralı denklem her bir ekibin müşteriden bir kere çıkmasını sağlar. Yani her bir müşteriye bir kere uğranılması sağlanmış olacaktır. i ve j indisleri müşteri kümesini, v ise araçlar kümesini ifade etmektedir.

Beş numaralı denklem her bir müşteriye mutlaka hizmet verileceğini ve mutlaka ilgili müşteriye gidileceğini sağlamaktadır. i indisi depo ve müşteri kümesini, j indisi müşteriler kümesini, v indisi ise araçlar kümesinin elemanını ifade etmektedir.

Altı numaralı denklem Telekom Müdürlüğünden ayrılan aracın tekrar Telekom Müdürlüğüne döneceğini ifade eder. Eşitliğin sol tarafında i depoyu, j müşteriler kümesini, eşitliğin sağ tarafında ise i müşteriler kümesini, j depoyu ifade eder. Her iki tarafta bulunan v indisi ise araçlar kümesinin elemanını temsil eder.

Yedi numaralı denklem bir müşteriye hangi araçla gidilmişse o araçla çıkılacağını ifade etmektedir. i ve j indisleri müşteriler kümesini, v indisi ise araçlar kümesinin elemanını ifade etmektedir.

Sekiz numaralı denklem v aracı i . müşteriden j . müşteriye gidiyorsa, j . müşteriye i . müşteri servise başlama zamanı, servis süresi ve ulaşım süresi toplamından önce

ulaşmamasını sağlar. Bu kısıtı şöyle de ifade edebiliriz, bir sonraki müşteriye servise başlama zamanı önceki müşterinin servis süresi ve ulaşım süresi toplamından küçük olamaz. Kısıt denkleminde yer alan i başlangıç deposunu ve müşteri kümesi, j müşteriler ve dönüş deposu kümesinin elemanıdır. v indisi de araçlar kümesinin bir elemanıdır.

Dokuz ve on numaralı kısıtlar ise zaman penceresi kısıtlarıdır. Bir müşteriye belirtilen zaman dilimleri içerisinde hizmet verilmesini garanti etmektedir. Servise en erken başlama zamanı müşterinin servise başlama zamanından küçük ya da eşit olmasını sağlar. Bu kısıt benzer şekilde müşteriye en geç servise başlama zamanının müşterinin servise başlama zamanından eşit ya da büyük olmasını sağlamaktadır. i indisi başlangıç deposu ve müşteriler kümesinin, j indisi müşteriler ve dönüş deposu kümesinin, v indisi ise araçlar kümesinin elemanıdır.

11 numaralı kısıt bir müşteriye bir daha gidilmemesini ve de alt turları engelleyen kısıttır. i ve j indisleri en az “2” değerini almakta ve müşteriler kümesinin elemanlarıdır. v indisi ise araçlar kümesinin elemanıdır.

12 numaralı kısıtta karar değişkenlerimizden biri olan x_{ijv} ‘nin “1” veya “0” değerlerinden birini alabileceğini ifade etmektedir.

13 numaralı kısıt w_{iv} ‘nin “0” ya da daha büyük bir tamsayı değeri alabileceğini ifade etmektedir.

5. UYGULAMA

Bu bölümde tez çalışmasının daha önceki kısmında bahsettiğimiz modelin firmada gerçekleştirilen uygulamasının detayları açıklanacaktır. Halihazırda kullanılan İşgücü Yönetim Sistemi uygulamasında ilgili müşterilerin işlerinin yapılacağı lokasyonun koordinatları tutulmaktadır. İşler mobil uygulama üzerinden kapatılmaktadır. İşin kapatıldığı andaki koordinat bilgisi de sistem veri tabanında tutulmaktadır. Müşteri noktaları ve de işi kapatan kişinin koordinat verileri olması sebebiyle çalışmada çözölen problemin sonuçları ile mevcut durum karşılaştırması yapabilmek mümkün olacak, somut rakamlar ortaya çıkacaktır. Matematiksel model IBM Ilog programında oluşturulmuş ve çözümlenmiştir. Modelde kullanılan veriler yakın geçmişteki işlere ait veriler olacaktır. Telekom müdürlüğünün ve işin yapıldığı lokasyonun konumlarının haritada gösterimi için Google Maps (Google Maps, 2024) uygulamasından yararlanılmıştır.

Problem verileri Kırıkkale ilinde yer alan ekiplerin 15.04.2024 tarihli ekip çalışmalarından yararlanılarak oluşturulmuş, tez çalışması kapsamında oluşturulan model ile çözülmüştür. Çalışma gerçek zamanlı olduğundan her bir ekibin verileri değışkenlik göstermektedir.

Veri setlerinde belirtilen ilk ve son düğümler Telekom müdürlüğünü ifade etmektedir. Söz konusu müşterilere verilecek hizmete dair en erken, en geç başlama zamanları, işin türü, işin süresi ilgili Çizelgelerde verilmiştir. Çizelgelerdeki veriler gerçekte ekibin işi kapattığı zaman sırası ile verilmiştir. Slot 1; 09 00 – 12 00 zaman aralığını, Slot 2 ise 13 00 – 18 00 zaman aralığını ifade etmektedir. Tüm ekipler fazla mesai yapmamaktadır. Fazla mesai yapan ekip ajandasında Slot 3; 18 00 – 21 00 zaman aralığı aktiftir. Bu çalışmaya konu olan ekipler fazla mesai yapmamaktadırlar. Ekipler mesaiye sabah 08 00 de başlamaktadır ve en erken müşteri randevusu 09 00'dan itibaren verilmektedir. Erken başlama ve geç başlama kolonlarında işin başlanabileceği dakika bilgisi verilmiştir. Örneğin erken başlamanın değeri 60 ise, ilgili düğümdaki hizmete en erken 09 00 da başlanabileceği anlamına gelmektedir.

Aynı şekilde geç başlama 600 ise ilgili işin 18 00'e kadar bitirilmesi gerektiği şeklinde yorumlanmalıdır. Ekip bazlı uygulama detaylarının anlatıldığı alttaki başlıklarda müşterilerin birbirleri ile olan mesafeleri ve ulaşım sürelerini gösteren Çizelgeler de paylaşılacaktır. Ulaşım dair söz konusu mesafeler Google Maps (Google Maps, 2024) uygulamasından temin edilmiştir.

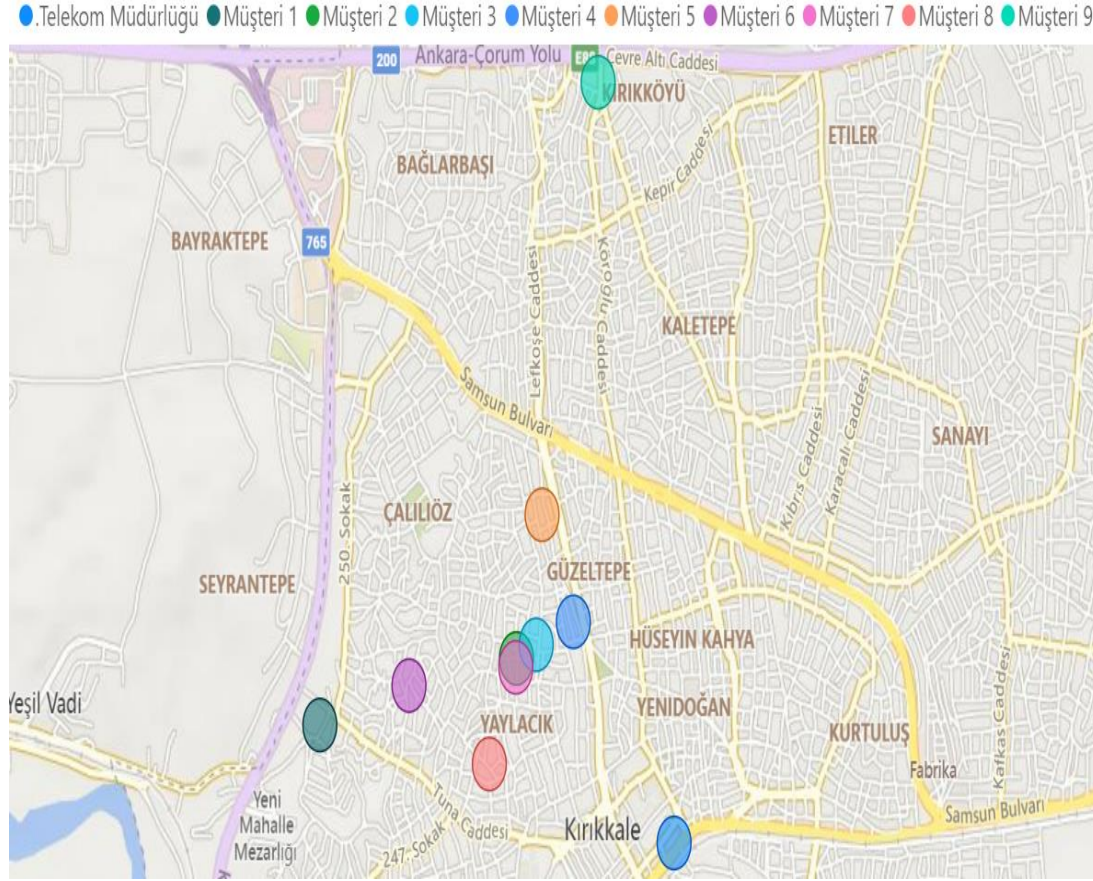
5.1. Ekip A

Ekiplerin tam kapasite çalıştığı 15.04.2024 tarihinin verileri tez çalışmasında oluşturulan algoritma ile çözülmüştür. Veri setinde 9 müşteri vardır. Veri setinde yer alan işlerin özellikleri altta Çizelge 5.1'de verilmiştir. 0 ve 10 numaralı düğümler rotanın başlangıç ve bitiş noktası olan Telekom Müdürlüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 5.1: Ekip A verileri

Düğüm	İşin Tipi	Randevu Slotu	Erken Başlama (e_i)	Geç Başlama (l_i)	İşin Süresi (p_i)
0	-		0	0	15
1	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
2	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
3	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
4	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
5	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
6	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
7	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
8	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
9	UYDU TV ARIZA	Slot 2	300	600	24
10	-		60	600	15

Ekip A veri setindeki müşterilerin ve Telekom müdürlüğünün haritada gösterimi Şekil 5.1'deki gibidir.



Şekil 5-1: Ekip A: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının haritada gösterimi

Çizelge 5.2’de Telekom Müdürlüğünün müşterilerle ve müşterilerin birbiri arasındaki mesafe bilgileri kilometre cinsinden verilmiştir. 0 ve 10 numaralı düğümler Telekom Müdürlüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 5-2: Ekip A: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbiri arasındaki mesafe bilgileri

d_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1,3	1,6	1,5	1,5	1,7	2,1	1,5	1,5	3,5	0,0
1	1,3	0	1,5	1,7	1,8	2,0	0,7	1,5	1,2	4,3	1,3
2	1,6	1,5	0	0,2	0,6	0,8	0,9	0,4	0,9	2,7	1,6
3	1,5	1,7	0,2	0	0,4	0,6	1,0	0,2	0,8	2,5	1,5
4	1,5	1,8	0,6	0,4	0	0,7	1,4	0,7	1,4	2,5	1,5
5	1,7	2,0	0,8	0,6	0,7	0	1,4	0,8	1,5	1,9	1,7
6	2,1	0,7	0,9	1,0	1,4	1,4	0	0,8	0,6	4,9	2,1
7	1,5	1,5	0,4	0,2	0,7	0,8	0,8	0	0,8	2,7	1,5
8	1,5	1,2	0,9	0,8	1,4	1,5	0,6	0,8	0	5,4	3,5
9	3,5	4,3	2,7	2,5	2,5	1,9	4,9	2,7	5,4	0	3,5
10	0,0	1,3	1,6	1,5	1,5	1,7	2,1	1,5	3,5	3,5	0

Çizelge 5.3’de Telekom Müdürlüğünün müşterilerle ve müşterilerin birbiriyle olan seyahat süreleri dakika cinsinden gösterilmiştir. Ulaşım süreleri Google Maps (Google Maps, 2024) uygulamasından temin edilmiştir.

Çizelge 5-3: Ekip A: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbirleriyle olan seyahat süreleri

t_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	6	6	6	5	6	6	6	4	9	0
1	6	0	4	4	5	5	2	4	3	5	6
2	6	4	0	1	2	2	3	1	3	7	6
3	6	4	1	0	2	2	3	1	2	6	6
4	5	5	2	2	0	2	5	3	5	6	5
5	6	5	2	2	2	0	4	2	5	4	6
6	6	2	3	3	5	4	0	3	2	6	6
7	6	4	1	1	3	2	3	0	3	7	6
8	4	3	3	2	5	5	2	3	0	8	4
9	9	5	7	6	6	4	6	7	8	0	9
10	0	6	6	6	5	6	6	6	4	9	0

Çizelge 5.4'te Ekip A senaryosuna ilişkin çözümün rota, toplam süre, yolda geçen süre, amaç fonksiyonu değeri (en kısa mesafe), ekibin o güne dair doluluk oranı, müşteriye gitmesi gereken zaman bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5-4: Ekip A senaryosu optimal çözüm ile mevcut durum kıyaslaması

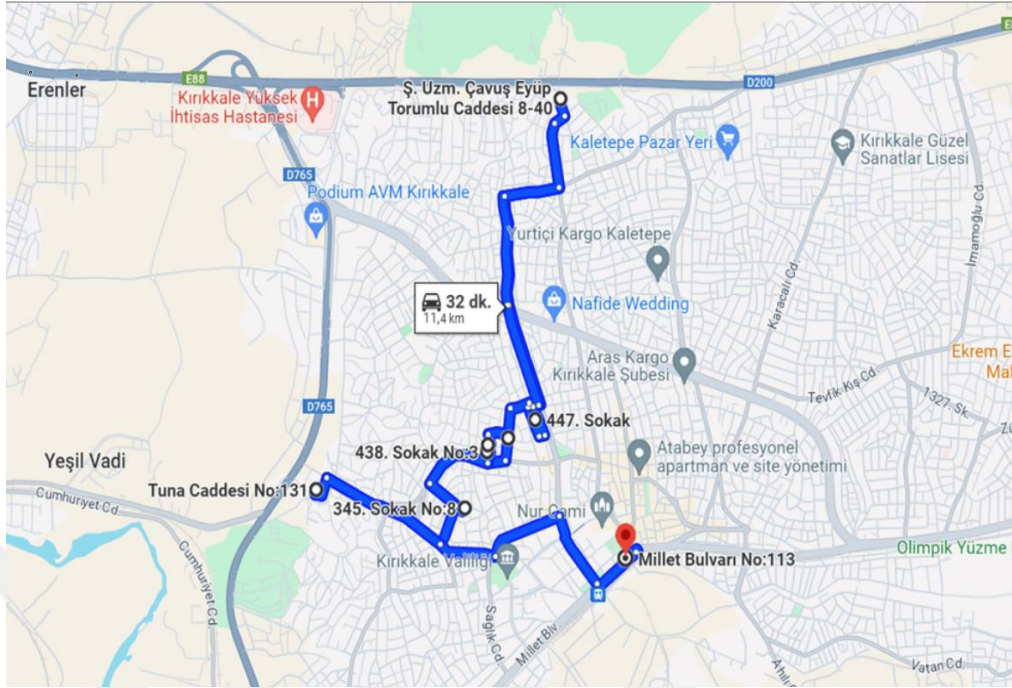
Tip	Rota	Toplam Süre (saat)	Yolda Geçen Süre (saat)	Toplam mesafe (km)	Ekibin doluluk oranı (%)
Model sonucu	0-8-4-5-9-2-3-7-6-1-10	7,88	0,58	11,4	87,59
Mevcut durum	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	8,0	0,70	16	88,89

Çizelge 5.5'de optimal çözümde ekibin depodan müşteri düğümlerine hangi saatte gittikleri, depoya hangi zamanda döndükleri iş süreleri ile gösterilmiştir. Kısacası düğümlere varış saatleri gösterilmektedir.

Çizelge 5-5: Ekip A: Telekom Müdürlüğü ve müşteri noktalarına varış zamanları

Düğüm:	0	8	4	5	9	2	3	7	6	1	10
İşin süresi (dk):	15	48	48	48	24	48	48	48	48	48	15
Düğüme gidilen zaman:	08:00	09:00	09:53	10:43	13:00	13:31	14:20	15:09	16:00	16:50	17:44

Şekil 5.2, Ekip A optimal çözümün rotasının haritada gösterimini ifade etmektedir.



Şekil 5-2: Ekip A: Optimal çözümün haritada gösterimi

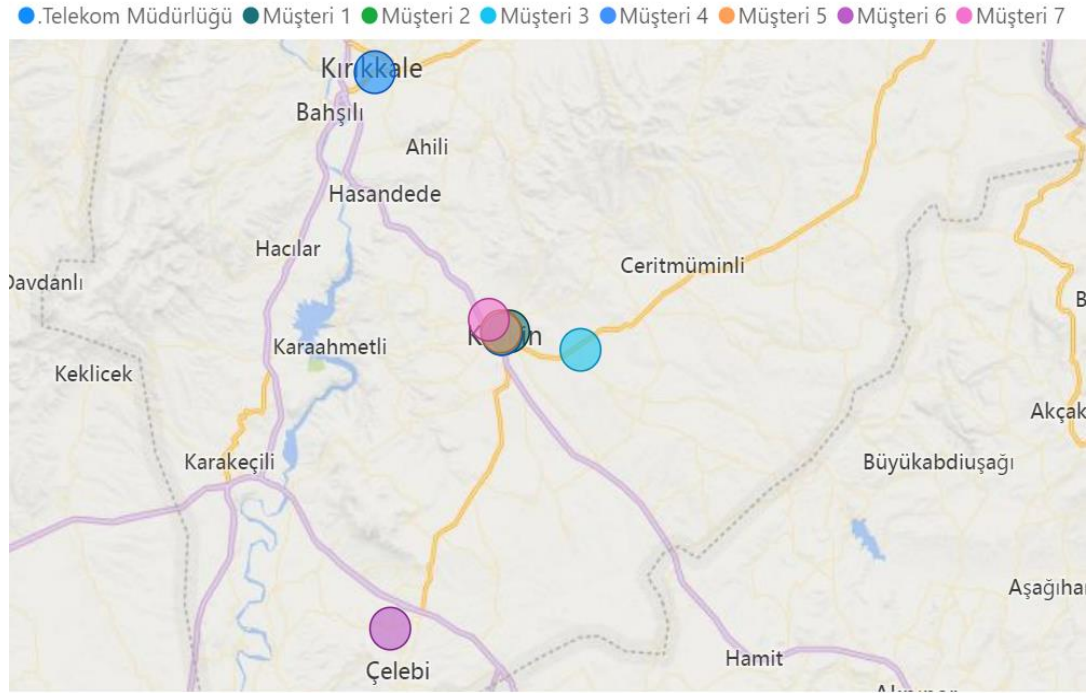
5.2. Ekip B

Ekiplerin tam kapasite çalıştığı 15.04.2024 tarihinin verileri tez çalışmasında oluşturulan algoritma ile çözülmüştür. Veri setinde 7 müşteri vardır. Veri setinde yer alan işlerin özellikleri altta Çizelge 5.6'da verilmiştir. 0 ve 8 numaralı düğümler rotanın başlangıç ve bitiş noktası olan Telekom Müdürlüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 5-6: Ekip B verileri

Düğüm	İşin Tipi	Randevu Slotu	Erken Başlama (e_i)	Geç Başlama (l_i)	İşin Süresi (p_i)
0	-		0	0	15
1	İNTERNET KURULUM	Slot 1	60	300	18
2	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	24
3	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	24
4	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	24
5	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	24
6	İNTERNET ARIZA	Slot 2	300	600	24
7	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
8	-		60	600	15

Ekip B veri setindeki müşterilerin ve Telekom müdürlüğünün haritada gösterimi Şekil 5.3'deki gibidir.



Şekil 5-3: Ekip B: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının haritada gösterimi

Çizelge 5.7’de deponun müşterilerle ve müşterilerin birbiri arasındaki mesafe bilgileri kilometre cinsinden verilmiştir. 0 ve 8 numaralı düğümler Telekom Müdürlüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 5-7: Ekip B: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbiri arasındaki mesafe bilgileri

d_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	27,7	27,2	33,2	27,1	27,4	47,9	24,9	0,0
1	27,7	0	0,7	6,6	0,8	0,9	33,9	2,6	27,7
2	27,2	0,7	0	6,7	0,0	0,2	33,3	1,8	27,2
3	33,2	6,6	6,7	0	6,9	6,9	39,3	8,5	33,2
4	27,1	0,8	0,0	6,9	0	0,2	33,3	1,9	27,1
5	27,4	0,9	0,2	6,9	0,2	0	33,6	1,6	27,4
6	47,9	33,9	33,3	39,3	33,3	33,6	0	27,7	47,9
7	24,9	2,6	1,8	8,5	1,9	1,6	27,7	0	24,9
8	0,0	27,7	27,2	33,2	27,1	27,4	47,9	24,9	0

Çizelge 5.8’de Telekom Müdürlüğünün müşterilerle ve müşterilerin birbiriyle olan seyahat süreleri dakika cinsinden gösterilmiştir.

Çizelge 5-8: Ekip B: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbirleriyle olan seyahat süreleri

t_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	28	27	33	27	27	41	26	0
1	28	0	3	8	3	3	35	8	28
2	27	3	0	9	1	1	33	5	27
3	33	8	9	0	9	9	39	13	33
4	27	3	1	9	0	1	33	5	27
5	27	3	1	9	1	0	34	5	27
6	41	35	33	39	33	34	0	26	41
7	26	8	5	13	5	5	26	0	26
8	0	28	27	33	27	27	41	26	0

Çizelge 5.9’da Ekip B senaryosuna ilişkin çözümün rota, toplam süre, yolda geçen süre, amaç fonksiyonu değeri (en kısa mesafe), ekibin o güne dair doluluk oranı, müşteriye gitmesi gereken zaman bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5-9: Ekip B senaryosu optimal çözüm ile mevcut durum kıyaslaması

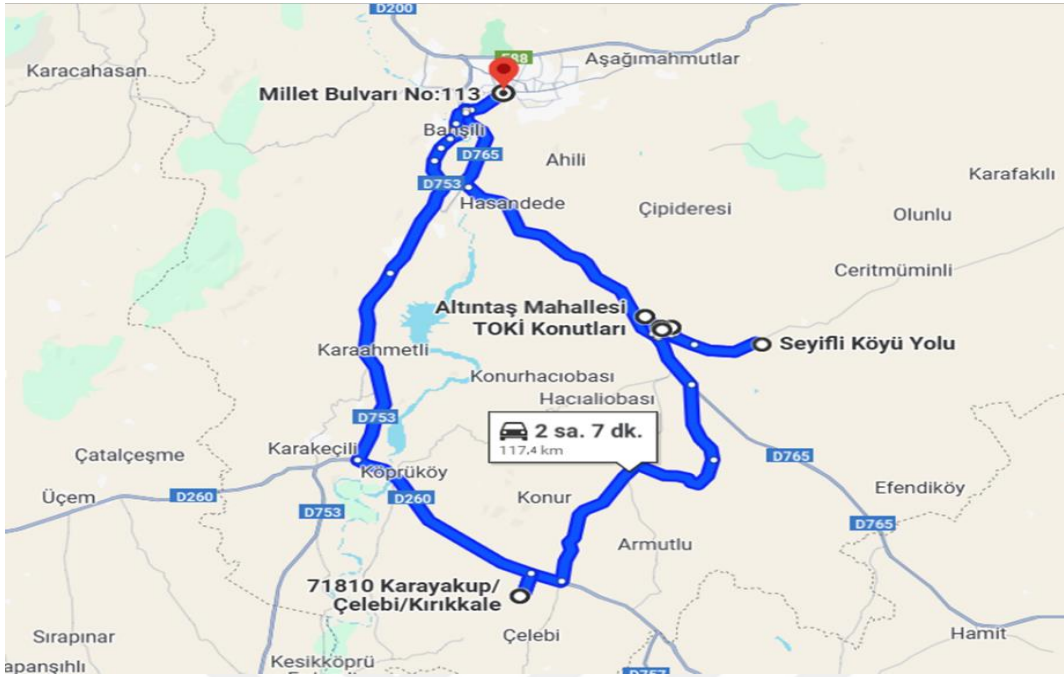
Tip	Rota	Toplam Süre (saat)	Yolda Geçen Süre (saat)	Toplam mesafe (km)	Ekibin doluluk oranı (%)
Model sonucu	0-3-1-5-2-4-7-6-8	5,17	1,57	117,4	57,41
Mevcut durum	0-1-2-3-4-5-6-7-8	5,47	1,87	128,4	60,74

Çizelge 5.10’da optimal çözümde ekibin depodan müşteri düğümlerine hangi saatte gittikleri, depoya hangi zamanda döndükleri iş süreleri ile gösterilmiştir. Kısacası düğümlere varış saatleri gösterilmektedir.

Çizelge 5-10: Ekip B: Telekom Müdürlüğü ve müşteri noktalarına varış zamanları

Düğüm:	0	3	1	5	2	4	7	6	8
İşin süresi (dk):	15	24	18	24	24	24	24	24	15
Düğüme gidilen zaman:	08:00	09:00	09:32	09:53	10:18	10:43	13:00	14:14	15:19

Şekil 5.4 optimal çözümün rotasının haritada gösterimini ifade etmektedir.



Şekil 5-4: Ekip B: Optimal çözümün haritada gösterimi

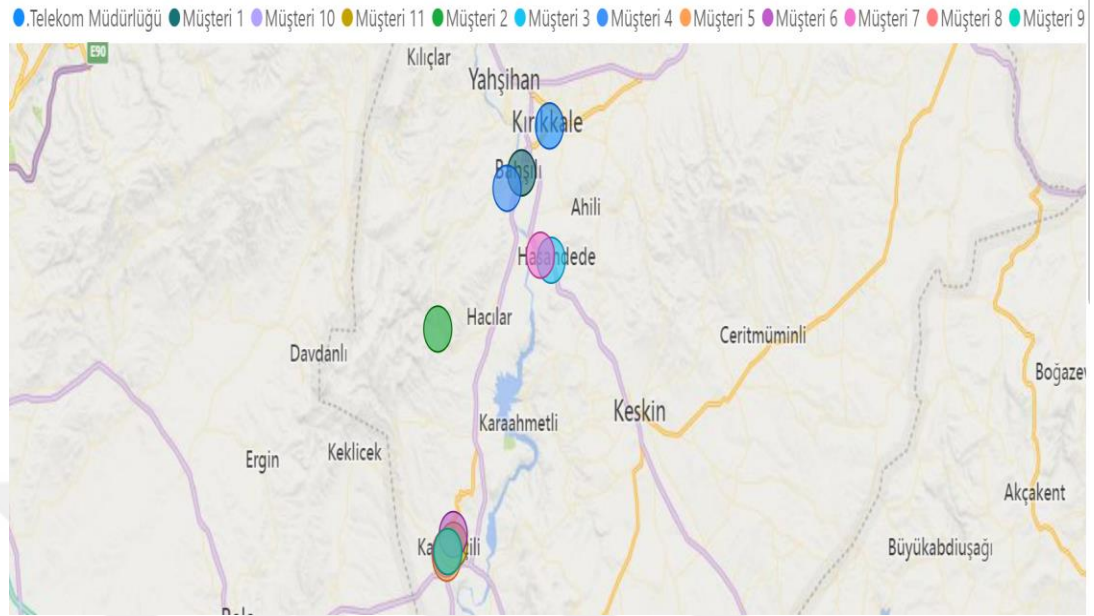
5.3. Ekip C

Ekiplerin tam kapasite çalıştığı 15.04.2024 tarihinin verileri tez çalışmasında oluşturulan algoritma ile çözülmüştür. Veri setinde 11 müşteri vardır. Veri setinde yer alan işlerin özellikleri altta Çizelge 5.11’de verilmiştir. 0 ve 12 numaralı düğümler rotanın başlangıç ve bitiş noktası olan Telekom Müdürlüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 5-11: Ekip C verileri

Düğüm	İşin Tipi	Randevu Slotu	Erken Başlama (e_i)	Geç Başlama (l_i)	İşin Süresi (p_i)
0	-		0	0	15
1	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
2	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	24
3	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
4	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
5	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
6	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
7	UYDU TV KURULUM	Slot 2	300	600	24
8	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
9	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
10	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	24
11	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	24
12	-		60	600	15

Ekip A veri setindeki müşterilerin ve Telekom müdürlüğünün haritada gösterimi Şekil 5.5’deki gibidir.



Şekil 5-5: Ekip C: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının haritada gösterimi

Çizelge 5.12’de Telekom Müdürlüğünün müşterilerle ve müşterilerin birbiri arasındaki mesafe bilgileri kilometre cinsinden verilmiştir. 0 ve 12 numaralı düğümler Telekom Müdürlüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 5-12: Ekip C: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbiri arasındaki mesafe bilgileri

d_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	5,0	22,9	12,3	7,1	35,3	32,5	11,3	35,1	35,1	35,4	35,3	0,0
1	5,0	0	18,0	12,8	2,2	30,4	27,7	11,8	30,2	30,2	30,5	30,4	5,0
2	22,9	18,0	0	18,0	17,3	26,2	23,4	17,1	26,0	26,0	26,3	26,2	22,9
3	12,3	12,8	18,0	0	12,7	31,3	28,5	1,3	31,1	31,1	31,4	31,2	12,3
4	7,1	2,2	17,3	12,7	0	29,7	26,9	11,1	29,5	29,5	29,8	29,7	7,1
5	35,3	30,4	26,2	31,3	29,7	0	1,9	30,3	0,6	0,8	0,4	1,5	35,3
6	32,5	27,7	23,4	28,5	26,9	1,9	0	27,7	1,5	1,6	2,0	0,8	32,5
7	11,3	11,8	17,1	1,3	11,1	30,3	27,7	0	31,5	31,5	31,8	31,6	11,3
8	35,1	30,2	26,0	31,1	29,5	0,6	1,5	31,5	0	0,1	0,3	1,1	35,1
9	35,1	30,2	26,0	31,1	29,5	0,8	1,6	31,5	0,1	0	0,4	1,2	35,1
10	35,4	30,5	26,3	31,4	29,8	0,4	2,0	31,8	0,3	0,4	0	1,2	35,4
11	35,3	30,4	26,2	31,2	29,7	1,5	0,8	31,6	1,1	1,2	1,2	0	35,3
12	0,0	5,0	22,9	12,3	7,1	35,3	32,5	11,3	35,1	35,1	35,4	35,3	0

Çizelge 5.13’de Telekom Müdürlüğünün müşterilerle ve müşterilerin birbiriyle olan seyahat süreleri dakika cinsinden gösterilmiştir. Ulaşım süreleri Google Maps (Google Maps, 2024) uygulamasından temin edilmiştir.

Çizelge 5-13: Ekip C: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbirleriyle olan seyahat süreleri

t_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	9	27	14	13	32	33	13	32	33	33	33	0
1	9	0	20	13	5	25	26	12	25	25	26	26	9
2	27	20	0	21	21	25	25	20	25	25	26	26	27
3	14	13	21	0	15	25	28	4	27	27	27	28	14
4	13	5	21	15	0	26	27	12	26	26	27	27	13
5	32	25	25	25	26	0	5	25	2	3	2	4	32
6	33	26	25	28	27	5	0	27	4	4	4	2	33
7	13	12	20	4	12	25	27	0	27	27	28	28	13
8	32	25	25	27	26	2	4	27	0	1	1	3	32
9	33	25	25	27	26	3	4	27	1	0	2	3	33
10	33	26	26	27	27	2	4	28	1	2	0	4	33
11	33	26	26	28	27	4	2	28	3	3	4	0	33
12	0	9	27	14	13	32	33	13	32	33	33	33	0

Çizelge 5.14’te Ekip C senaryosuna ilişkin çözümün rota, rota süresi, amaç fonksiyonu değeri (en kısa mesafe), ekibin o güne dair doluluk oranı, müşteriye gitmesi gereken zaman bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5-14: Ekip C senaryosu optimal çözüm ile mevcut durum kıyaslaması

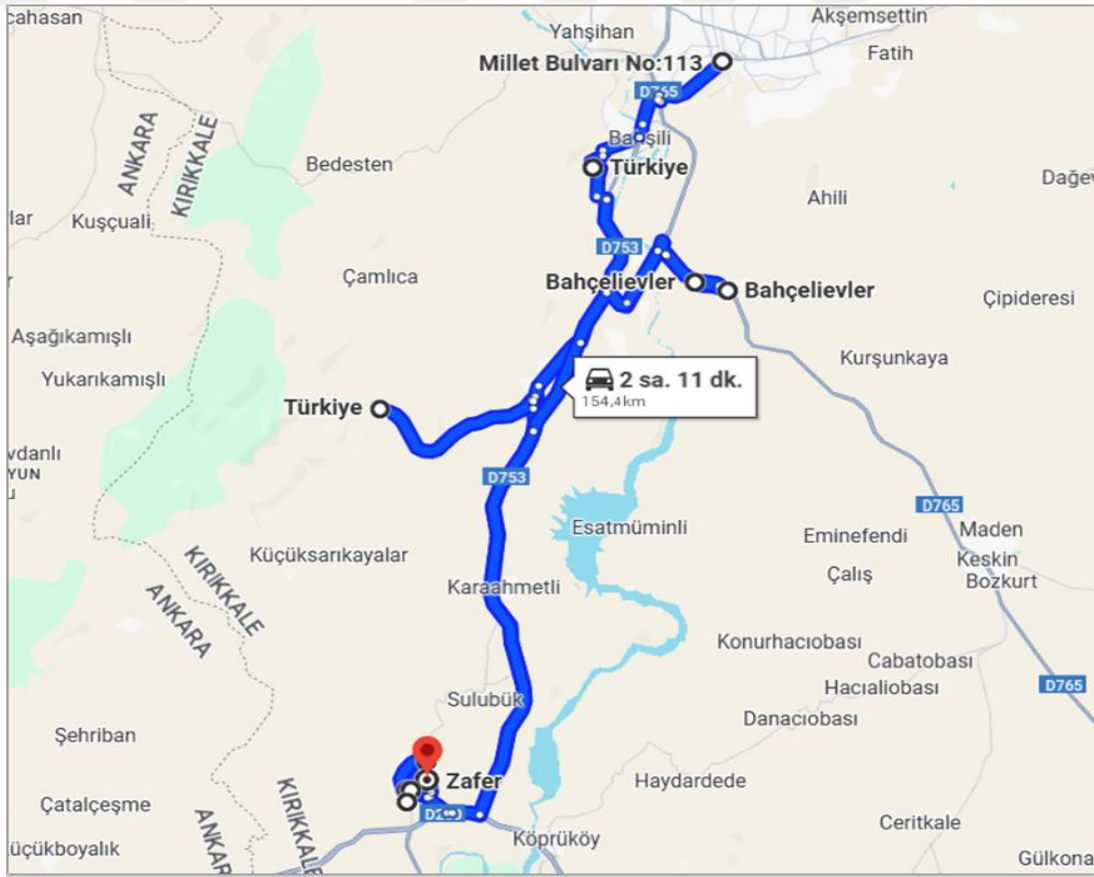
Tip	Rota	Toplam Süre (saat)	Yolda Geçen Süre (saat)	Toplam mesafe (km)	Ekibin doluluk oranı (%)
Model sonucu	0-4-8-5-6-9-2-3-7-10-11-1-12	10,48	2,78	154,4	116,48
Mevcut durum	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12	10,87	3,17	181,5	120,74

Çizelge 5.15'te optimal çözümde ekibin Telekom müdürlüğünden müşteri düğümlerine hangi saatte gittikleri, depoya hangi zamanda döndükleri iş süreleri ile gösterilmiştir. Kısacası düğümlere varış saatleri gösterilmektedir.

Çizelge 5-15: Ekip C: Telekom Müdürlüğü ve müşteri noktalarına varış zamanları

Düğüm:	0	4	8	5	6	9	2	3	7	10	11	1	12
İşin süresi (dk):	15	48	48	48	48	48	24	48	24	24	24	48	15
Düğüme gidilen zaman:	08:00	09:00	10:14	11:04	11:57	12:49	14:02	14:47	15:39	16:31	16:59	18:00	18:57

Şekil 5.6 optimal çözümdeki düğümlerin haritada gösterimini ifade etmektedir.



Şekil 5-6: Ekip C: Optimal çözümün haritada gösterimi

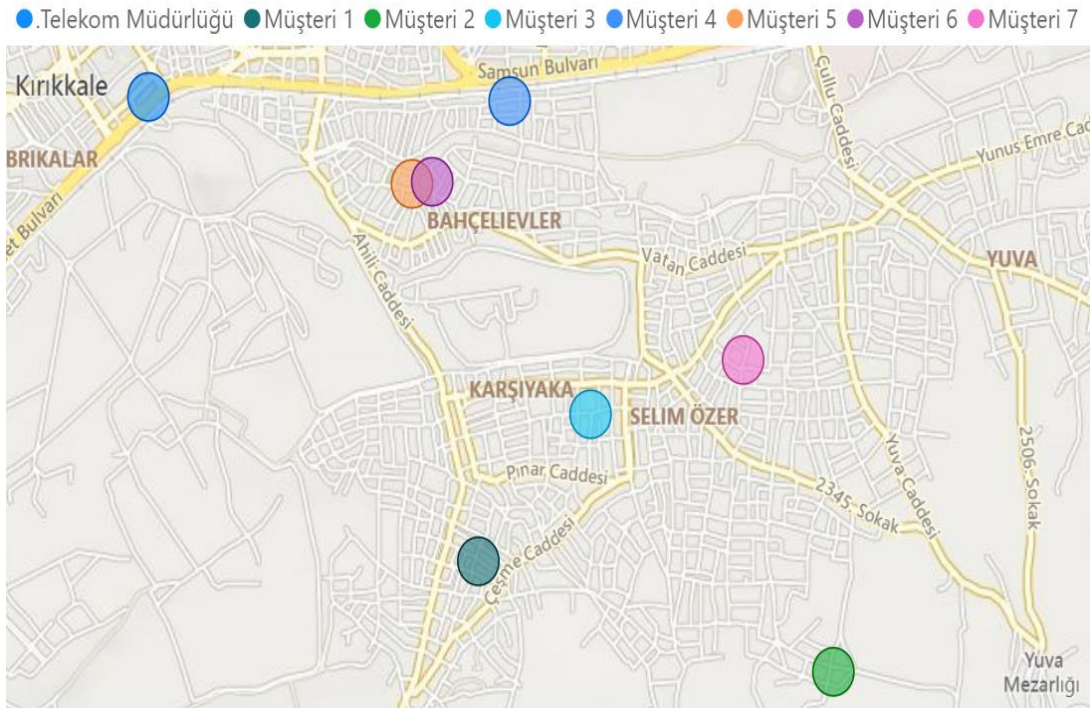
5.4. Ekip D

Ekiplerin tam kapasite çalıştığı 15.04.2024 tarihinin verileri tez çalışmasında oluşturulan algoritma ile çözülmüştür. Veri setinde 7 müşteri vardır. Veri setinde yer alan işlerin özellikleri altta Çizelge 5.16’da verilmiştir. 0 ve 8 numaralı düğümler rotanın başlangıç ve bitiş noktası olan Telekom Müdürlüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 5-16: Ekip D verileri

Düğüm	İşin Tipi	Randevu Slotu	Erken Başlama (e_i)	Geç Başlama (l_i)	İşin Süresi (p_i)
0	-		0	0	15
1	İNTERNET ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	24
2	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
3	İNTERNET KURULUM	Slot 1	60	300	18
4	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
5	SES TOPLAMA	Slot 1, Slot 2	60	600	18
6	ELİT ARIZA	Slot 1, Slot 2	60	600	48
7	ELİT ARIZA	Slot 2	60	600	48
8	-		60	600	15

Ekip D veri setindeki müşterilerin ve Telekom müdürlüğünün haritada gösterimi Şekil 5.7’deki gibidir.



Şekil 5-7: Ekip D: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının haritada gösterimi

Çizelge 5.17’de Telekom Müdürlüğünün müşterilerle ve müşterilerin birbiri arasındaki mesafe bilgileri kilometre cinsinden verilmiştir. 0 ve 8 numaralı düğümler Telekom Müdürlüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 5-17: Ekip D: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbiri arasındaki mesafe bilgileri

d_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	3,2	5,1	3,3	2,5	2,0	2,1	4,0	0
1	3,2	0	1,9	1,1	2,9	2,1	2,2	1,9	3,2
2	5,1	1,9	0	2,0	3,2	3,4	3,1	1,5	5,1
3	3,3	1,1	2,0	0	2,1	2,1	2,0	1,0	3,3
4	2,5	2,9	3,2	2,1	0	0,8	0,8	2,0	2,5
5	2,0	2,1	3,4	2,1	0,8	0	0,2	2,0	2,0
6	2,1	2,2	3,1	2,0	0,8	0,2	0	5,9	2,1
7	4,0	1,9	1,5	1,0	2,0	2,0	5,9	0	4,0
8	0,0	3,2	5,1	3,3	2,5	2,0	2,1	4,0	0

Çizelge 5.18’de Telekom Müdürlüğünün müşterilerle ve müşterilerin birbiriyle olan seyahat süreleri dakika cinsinden gösterilmiştir. Ulaşım süreleri Google Maps (Google Maps, 2024) uygulamasından temin edilmiştir.

Çizelge 5-18: Ekip D: Telekom müdürlüğü ve müşteri noktalarının birbirleriyle olan seyahat süreleri

t_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	7	10	7	6	5	5	8	0
1	7	0	6	3	5	4	5	4	7
2	10	6	0	5	8	7	7	5	10
3	7	3	5	0	5	5	5	3	7
4	6	5	8	5	0	3	3	5	6
5	5	4	7	5	3	0	1	5	5
6	5	5	7	5	3	1	0	5	5
7	8	4	5	3	5	5	5	0	8
8	0	7	10	7	6	5	5	8	0

Çizelge 5.19’da Ekip D senaryosuna ilişkin çözümün rota, rota süresi, amaç fonksiyonu değeri (en kısa mesafe), ekibin o güne dair doluluk oranı, müşteriye gitmesi gereken zaman bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5-19: Ekip D senaryosu optimal çözüm ile mevcut durum kıyaslaması

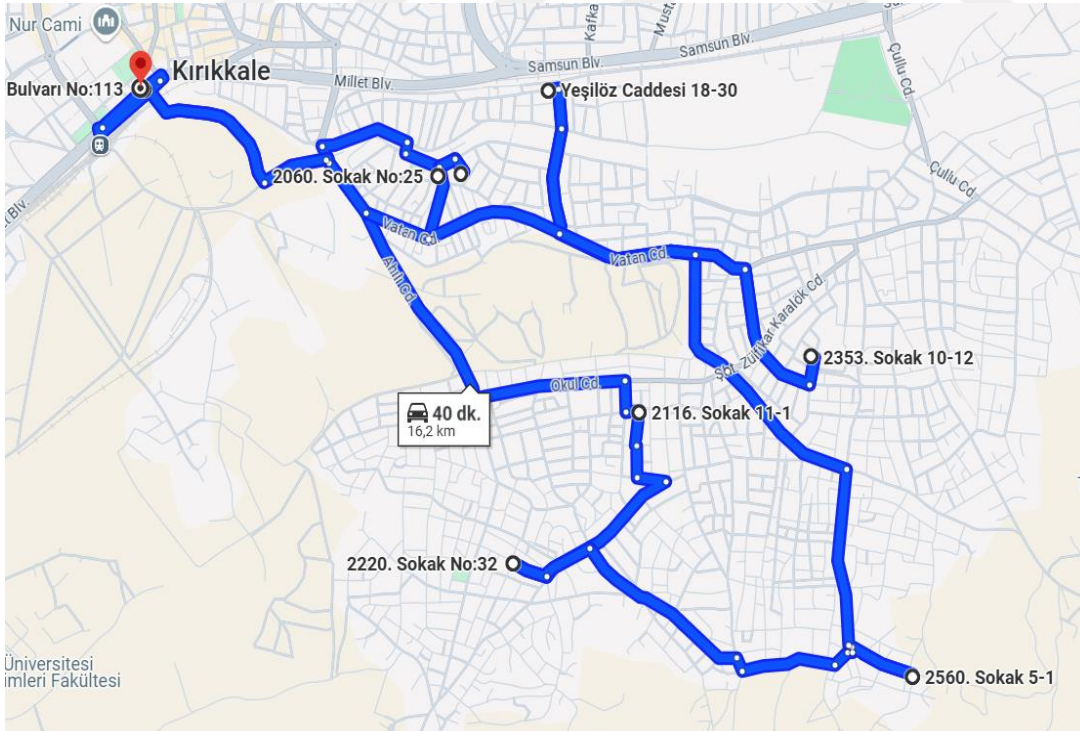
Tip	Rota	Toplam Süre (saat)	Yolda Geçen Süre (saat)	Toplam mesafe (km)	Ekibin doluluk oranı (%)
Model sonucu	0-6-5-3-1-2-4-7-8	5,38	0,68	16,2	59,81
Mevcut durum	0-1-2-3-4-5-6-7-8	5,58	0,88	20,1	62,04

Çizelge 5.20’de optimal çözümde ekibin depodan müşteri düğümlerine hangi saatte gittikleri, depoya hangi zamanda döndükleri iş süreleri ile birlikte gösterilmiştir. Kısacası düğümlere varış saatleri gösterilmektedir.

Çizelge 5-20: Ekip D: Telekom Müdürlüğü ve müşteri noktalarına varış zamanları

Düğüm:	0	6	5	3	1	2	4	7	8
İşin süresi (dk):	15	48	18	18	24	48	48	48	15
Düğümüne gidilen zaman:	08:00	09:00	09:49	10:12	10:33	11:03	11:59	13:00	13:58

Şekil 5.8, Ekip D optimal çözümün rotasının haritada gösterimini ifade etmektedir.



Şekil 5-8: Ekip D: Optimal çözümün haritada gösterimi

SONUÇ

ARP problemleri ortaya çıktığından beri araştırmacıların ilgisini çeken ve çok fazla çalışması yapılan bir konudur. ARP'nin bir varyantı olan ZARP için de literatürde fazla sayıda çalışmaların olduğunu görmekteyiz. ZARP belirli zaman aralıklarında hizmet verilmesi gereken müşterilere giden araçlar tekrar işe başladıkları noktaya geri dönmektedirler. Telekom sektöründe faaliyet gösteren firmanın belirli bir ildeki ekipleri üzerinde bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Her bir ekibin bir günde katettiği mesafenin minimizasyonu amaçlanmıştır. Halihazırda firmadaki saha ekipleri günlerini planlarken aynı slot içerisinde yer alan işlerden önce hangilerine gitmeleri gerektiğini sahip oldukları telefondaki harita uygulamasından her iş için ayrı ayrı inceleme yaparak ya da geçmiş tecrübelerine dayanarak belirlemektedirler. Firmada halihazırda hangi ekibin hangi işi nerede, hangi zamanda kapattığı yani mevcutta bir günde hangi müşterilere hangi sırada, hangi zamanda gittiği, işlerini ne zaman kapattığı bilinmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan model firma verileri ile çözülmüş sonuçları değerlendirilmiştir. Firmanın o ildeki ekiplerinin belirli günlerdeki işleri kapama zamanları, kapattıkları konumlar alınmış model vasıtası ile çözülmüştür. Uygulamada ele alınan tüm ekiplerin rakamları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6-1: Sonuçlar

Ekip	Mevcut	Model	İyileşme (%)
Ekip A	16 km	11,4 km	28,8
Ekip B	128,4 km	117,4 km	8,6
Ekip C	181,5 km	154,4 km	14,9
Ekip D	20,1 km	16,2 km	19,4

Çıkan sonuçlara bakıldığında ekiplerin günlük katettiği toplam mesafede ortalama %20 civarlarında düşüş olacağı öngörülmektedir. Bu da doğrudan ulaşım maliyetlerini düşürecektir. Mesafenin azalması ile ekiplerin günlük yolda geçireceği zaman da azalacaktır. Bu da ekiplerin verimliliğinin artmasına sebep olacaktır. Firmada ekiplerin

kullandığı mobil uygulamaya Araç rotalama modülünün eklenmesi suretiyle yapılacak iyileştirme hem ekiplerin yolda geçen zamanının azaltılması, hem de şirket lojistik maliyetlerinin azaltılması açısından katkı sağlayacağı açıktır. Bu durum müşteri memnuniyetinin artmasına da sebep olacaktır.

Bu tez çalışması belirli bir ildeki ekiplerin verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Türkiye’deki tüm ekipleri üzerinde bu sistem kurulduğunda farklı iyileştirme noktaları ortaya çıkabilir. Örneğin Ekip B ve Ekip C verilerine bakıldığında günlük katedilen mesafenin yüksek olduğu görünmektedir. Firmada mevcutta kırsal bölgelerde ekiplerin günlük katettiği mesafe ortalamanın üstünde olsa da bu çalışmada çıkan verilerin değerlendirilmesi faydalı olacaktır. Mevcut ekip yapılanması yeterli gelmiyor olabilir.

Bu tez çalışmasında kesin çözüm yöntemi uygulanmış ve ortaya konan algoritma ile optimal çözüme ulaşılmıştır. Firmada ileride yapılabilecek çalışmalarda ortaya konan modele yeni koşullar eklenip iyileştirmeler sağlanabilir. Tekrar eden arıza (arıza çözüldükten sonra 1 hafta içinde aynı müşteride tekrar arıza oluşması), kronik arıza (belirli periyotlarda arızanın tekrarlanması), reklamasyondan dolayı oluşan yeni iş (ekip eve gittiğinde belirli nedenlerden işin iptal olması, farklı bir randevu ile müşteriye tekrar gidilmesi) gibi rotalama yaparken öncelik verilmesi gereken bazı durumlar söz konusudur. Ayrıca firma tüm rota planlamasını araç rotalama üzerinden yapabilir hale geldiğinde birim zamanda daha fazla iş yapabilme kapasitesine de sahip olacak ve bu durumda günlük tamamlanan iş sayılarının artması durumu söz konusu olabilecektir. Tüm bu detaylar modeli karmaşık hale getirecek unsurlardır, ileride yapılacak çalışmaların karmaşıklığını da artıracaktır, çözümü için sezgisel yöntemlerin uygulanmasını gerektirebilir.

KAYNAKLAR

- Agraval, P., Kaur, G., & Kolesar, S. (2021). Investigation on biomedical waste management of hospitals using cohort intelligence. *Soft Comput*, s. 4344–4355.
- Alpaslan, M. (2015, Mayıs). Araç Rotalama Problemleri için Matematiksel Modeller ve Çözüm Yöntemleri.
- Angelelli, E., & Sperenza, M. G. (2002, March 1). The periodic vehicle routing problem with intermediate facilities. *European Journal of Operational Research*, s. 233-247.
- Ansariipoor, A., Oliveira, F., & Liret, A. (2014, September 1). A risk management system for sustainable fleet replacement. *European Journal of Operation Research*, s. 701-712.
- Baldacci, R., Mingozzi, A., Roberti, R., & Calvo, R. W. (2013, March). An Exact Algorithm for the Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem. *Operations Research*, s. 298-314.
- Bent, R., & Hentenryck, P. V. (2004, November). A Two-Stage Hybrid Local Search for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Transportation Science*, s. 515-530.
- Bouyahyious, E., & Bellabdaoui, A. (2022). The Selective Full Truckload Multi-depot Vehicle Routing Problem with Time Windows: Formulation and a Genetic Algorithm. *International Journal of Supply and Operations Management* 9(.
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Nieuwenhuyse, I. V. (2016, September). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, s. 300-313.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). Supply Chain Management: Strategy, Planning & Operations. *Journal of Purchasing and Supply Management*.
- Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P. (1981, December). Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations. *Springer*, s. 255-282.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., & Sormany, J. S. (2005). New Heuristics for the Vehicle Routing Problem. *Logistics Systems: Design and Optimization*, s. 279-297.
- Coyle, J., Langley, J., Novack, R., & Gibson, B. (2016). *Supply Chain Management: A Logistics Perspective*.

- Crevier, B., Cordeau, J.-F., & Laporte, G. (2007, January 16). The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes. *European Journal of Operational Research*, s. 756-773.
- Çetin, S., & Gencer, C. (2010). KESİN ZAMAN PENCERELİ - EŞ ZAMANLI DAĞITIM TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: Matematiksel Model. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*.
- Ekiz, M. K., Bozdemir, M., & Türkkan, B. Ö. (2019). Route First-Cluster Second Method for Personal Service Routing Problem. *Journal of Engineering Studies and Research*, s. 18-24.
- Ekşioğlu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers&Industrial Engineering*, s. 1472-1483.
- Ekşioğlu, B., Vural, A., & Reisman, A. (2009, November). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, s. 1472-1483.
- Erol, V. (2006). Araç rotalama problemleri için populasyon ve komşuluk tabanlı metasezgisel bir algoritmanın tasarımı ve uygulaması.
- Fleszar, K., Osman, İ., & Hindi, K. (2009). A variable neighbourhood search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, s. 803-809.
- Ganesh, K., & Narendran, T. T. (2007, May 1). CLOVES: A cluster-and-search heuristic to solve the vehicle routing problem with delivery and pick-up. *European Journal of Operational Research*.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). Introduction to Logistics Systems Planning and Control. John Wiley & Sons.
- Gümüş, Y. (2024). *Lojistik Maliyet Kavramı ve Lojistik Maliyet Unsurları*. <https://adm.ataaof.edu.tr/pdf.aspx?du=2ZLm5CLlJqpXT9ZnSS4giA==> adresinden alındı
- Hall, R., & Partyka, J. (2014, January). Vehicle Routing Software Survey: VR delivers the goods.
- Honggi, L., Liu, Y., Chen, K., & Lin, O. (2020, January 6). The two-echelon city logistics system with on-street satellites. *Computers & Industrial Engineering*, s. 139.
- Jiang, P., Men, J., Xu, H., & Zheng, S. (2020). A Variable Neighborhood Search-Based Hybrid Multiobjective Evolutionary Algorithm for HazMat Heterogeneous Vehicle Routing Problem With Time Windows. *IEEE*.
- Kotler, P., & Keller, K. L. (2012). *Marketing Management*. Pearson.
- Kumar, S. N., & Panneerselvam, R. (2012). A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants. *Intelligent Information Management*, s. 66-74.

- Laporte, G. (1992, June 25). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, s. 345-358.
- Li, X., Gao, J., Wang, J., Huang, X., & Nie, Y. (2022, 10). Ride-Sharing Matching Under Travel Time Uncertainty Through Data-Driven Robust. *IEEE*.
- Little, J., Murty, K., Dura, S., & Karel, C. (1963). An Algorithm for the Traveling Salesman Problem. *Operations Research*, s. 972-989.
- Liu, R. S., & Wang, N. (2022, 10). Data Driven Bus Route Optimization Algorithm Under Sudden Interruption of Public Transport. *IEEE*.
- Liu, X., Chen, Y.-L., Por, L. Y., & Ku, C. S. (2023, August 1). A Systematic Literature Review of Vehicle Routing Problems. *Sustainability*.
- Liu, X., Chen, Y.-L., Por, L. Y., & Ku, C. S. (2023). A Systematic Literature Review of Vehicle Routing Problems. *Sustainability*, s. 15-20.
- Montane, F. T., & Galvao, R. D. (2006, March). A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service. *Computers & Operations Research*, s. 595-619.
- Mosheiov, G. (1998, July). Vehicle routing with pick-up and delivery: tour-partitioning heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, s. 669-684.
- Ombuki, B., Ross, B., & Hanshar, F. (2006). Multi-Objective Genetic Algorithms for Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Applied Intelligence*, s. 17-30.
- Özmen, M., Uzkurt, C., Özdemir, Ş., Altunışık, R., & Torlak, Ö. (2013). *Pazarlama İlkeleri*. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları.
- Pınar, D. (2009, August 7). Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi'nin Genetik Algoritma İle Modellenmesi. *İstanbul Üniversitesi Doktora Tezi*.
- Renaud, J., Laporte, G., & Boctor, F. (1996, March). A tabu search heuristic for the multi-depot vehicle routing problem. *Computers & Operational Research*, s. 229-235.
- Reşat, H., & Turkay, M. (2015). Design and operation of intermodal transportation network in the Marmara region of Turkey. *Logistics and Transportation Review*, s. 16-33.
- Rodriguez-Martin, I., Salazar-Gonzales, J.-J., & Yaman, H. (2019). The periodic vehicle routing problem with driver consistency. *European Journal of Operational Research*, s. 575-584.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain*. Kogan Page Publishers.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2008). *Designing and Managing*

the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Cases. McGraw-Hill.

- Solomon, M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operation Research*, s. 254-265.
- Soysal, M., & Çimen, M. (2017, July). Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm. *Transportation Research Part D: Transport and Enviroment*, s. 82-98.
- Sun, Q., Chien, S., Hu, D., Chen, G., & Jiang, R. (2020, 8). Optimizing Multi-Terminal Customized Bus Service With Mixed Fleet. *IEEE*.
- Szczepański, E., Zak, J., Jacyna-Gółda, I., & Murawski, J. (2017, May 11). Simulation Support of Freight Delivery Schedule in Urban Areas. *10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology*.
- Tan, K., Lee, L., Zhu, Q., & Ou, K. (2001). Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows. *Artificial Intelligence in Engineering*, s. 281-295.
- Tasan, S. A., & Gen, M. (2006). A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries. *Computers & Industrial Engineering*, s. 595-619.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. S.I.A.M.
- Wilson, R. (2009). Economic Impact of logistics. *Logistics engineering handbook*. içinde CRC press.
- Wu, Y., Zheng, B., & Zhou, X. (2020). A disruption recovery model for time-dependent vehicle routing problem with time windows in delivering perishable goods.
- Xia, Y., Zhu, M., Gu, Q., Zhang, L., & Li, X. (2016, December 20). Toward solving the Steiner travelling salesman problem on urban road maps using the branch decomposition of graphs. *Information Sciences*, s. 164-178.
- Yang, D., Sun, S., & Duan, Z. (2015). Urban Freight Management with Stochastic Time-Dependent Travel Times and Application to Large-Scale Transportation Networks.
- Zang, S., Mu, D., & Wang, C. (2020). A Solution for the Full-Load Collection Vehicle Routing Problem With Multiple Trips and Demands:.
- Zhou, F., He, Y., & Zhou, L. (2019). Last Mile Delivery With Stochastic Travel Times Considering Dual Services. *IEEE*.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet YALDIZ

Doğum Tarihi :

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu:

Lisans: Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği 2004

Lisans: Anadolu Üniversitesi Yönetim Bilişim Sistemleri 2022

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

Özgün A.Ş: 2005-2008

Türk Kızılayı: 2008-2013

Türk Telekom: 2013-2024

Yayınları (SCI)

:

Yayınları (Diğer) : Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi: Saha Ekiplerinde
Bir Uygulama