

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EŞ ZAMANLI TOPLA DAĞIT ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMİ İÇİN YENİ BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rabia Gökçen BÜYÜKYILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Harun Reşit YAZĞAN

Haziran 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EŞ ZAMANLI TOPLA DAĞIT ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMİ İÇİN YENİ BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rabia Gökçen BÜYÜKYILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 09 / 06 / 2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr.
Harun Reşit YAZĞAN
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr.
Halil İbrahim DEMİR
Üye**

**Doç. Dr.
Kasım BAYNAL
Üye**



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Rabia Gökçen BÜYÜKYILMAZ

09.06.2017

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Harun Reşit YAZGAN'a ve yine yardım ve desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Serap ERCAN CÖMERT'e teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen ve bu aşamaya gelmemde en büyük paya sahip olan sevgili aileme sonsuz teşekkür eder ve minnettarlığımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	iiix
SUMMARY	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2 .

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	4
2.1. Araç Rotalama Problemi	4
2.2. Araç Rotalama Problemleri Çeşitleri	6
2.2.1. Kısıtlarına göre araç rotalama problemleri	7
2.2.1.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi	7
2.2.1.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi	7
2.2.1.3. Zaman pencereleli araç rotalama problemi	7
2.2.1.4. Bölünmüş dağıtımlı araç rotalama problemi	8

2.2.1.5. Çok depolu araç rotalama problemi	8
2.2.1.6. Periyodik araç rotalama problemi	9
2.2.1.7. Stokastik araç rotalama problemi	9
2.2.1.8. Topla dağıt araç rotalama problemi	10
2.2.2. Yolların durumuna göre araç rotalama problemi	10
2.2.3. Rotaların durumlarına göre araç rotalama problemleri	10
2.2.4. Verilerin durumuna göre araç rotalama problemi	11
2.3. Araç Rotalama Problemleri Çözüm Yöntemleri	11
2.3.1. Kesin sonuç veren yöntemler	11
2.3.2. Sezgisel yöntemler	12
2.3.2.1. Klasik sezgisel yöntemler	12
2.3.2.1.1. En kısa yol yöntemi	13
2.3.2.2. Meta sezgisel yöntemler	19
2.3.3. En kısa yol problemleri için geliştirilen diğer algoritmalar	19

BÖLÜM 3.

EŞ ZAMANLI TOPLA DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	23
3.1. Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi	23
3.1.1. Topla dağıt araç rotalama problemi türleri	24
3.1.1.1. Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi	25
3.1.1.2. Karma topla dağıt araç rotalama problemi	25
3.1.1.3. Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi	25
3.2. EZTDARP' Matematiksel Modeli	27
3.3. EZTDARP İçin Literatür Araştırması	30

BÖLÜM 4.	
ÖNERİLEN ÇÖZÜM AŞAMALARI	35
BÖLÜM 5.	
UYGULAMA	39
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	54
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Ayrıt kümesi
c_{ij}	: i ve j düğümleri arasındaki uzaklık
d_j	: j müşterisinin dağıtım talebi
F_k	: Her bir aracın sabit maliyeti
$G(N,A)$	: Serim
N	: Müşteriler kümesi
No	: Depo ve müşterilerden oluşan düğümler kümesi
p_j	: j müşterisinin toplama talebi
v_k	: Her bir aracın değişken maliyeti
V	: Araçlar kümesi
y_{ijk}	: k nolu araç i düğümünden j düğümüne gittiğinde, j . düğüme gelene kadar toplanan kümülatif yük miktarı
z_{ijk}	: k nolu araç i düğümünden j düğümüne gittiğinde, j . düğüme gelene kadar araçta dağıtılacak yük miktarı
Q_k	: Araç kapasitesi
X_{ijk}	: k nolu araç i düğümünde j düğümüne gidip gitmediğini gösteren tamsayı değişken
ARP	: Araç Rotalama Problemi
EKM	: En kısa mesafe
EZTDARP	: Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
KKA	: Karınca Kolonisi Algoritması
KKARP	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KTDARP	: Karışık Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
ÖDSTARP	: Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
TDARP	: Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi

ZPEZTDRP : Zaman Pencerele Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama
Problemi



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Araç rotalama problemlerinin sınıflandırılması (Koç, 2012)	6
Şekil 2.2. Örnek problem düğümler arası mesafe verileri (Erol, 2006)	15
Şekil 2.3. Örnek problem adım adım çözümü(a,b,c,d,e,f,g,h)	15
Şekil 2.4. Örnek problem çözümü devam	16
Şekil 2.5. Dijkstra algoritması örnek çözümü	20
Şekil 3.1. Topla dağıt araç rotalama problem türleri (Zachariadis ve ark., 2009) ..	26
Şekil 4.1. Geliştirilen sezgisel algoritmanın akış diyagramı	37
Şekil 5.1. Programlar arası veri aktarımı	41
Şekil 5.2. Rota bilgisi	44

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Örnek problem için müşteriler, arz ve talep miktarları	14
Tablo 2.2. En kısa yol yöntemi örnek problem çözümü	18
Tablo 2.3. ARP çözüm yöntemleri (Ercan & Gencer, 2013)	22
Tablo 3.1. Literatür araştırması	33
Tablo 3.2. Literatür araştırması (devam)	34
Tablo 4.1. Önerilen çözüm aşamaları	35
Tablo 4.2. Geliştirilen sezgisel algoritmanın adımları	36
Tablo 5.1. Senaryolar	42
Tablo 5.2. Kapasite 50 birim için problem çözümü	44
Tablo 5.3. Kapasite 50 birim için problem çözümü (devam)	45
Tablo 5.4. Kapasite 80 birim için problem çözümü	45
Tablo 5.5. Kapasite 100 birim için problem çözümü	46
Tablo 5.6. Problemin 152 müşteri için çözümü	47
Tablo 5.7. Çözümlerin sonuçları	49
Tablo 5.8. Çözüm sonuçları (devam)	50
Tablo 5.9. Korelasyon tablosu	50
Tablo 5.10. Korelasyon (devam)	51
Tablo 5.11. Regresyon analizi model özeti	51
Tablo 5.12. Anova tablosu	52
Tablo 5.13. Regresyon analizi katsayılar tablosu	52

ÖZET

Anahtar kelimeler: Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi, en kısa yol yöntemi, regresyon analizi, karışık tam sayılı programlama

Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi; müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerinin eş zamanlı olarak karşılandığı bir araç rotalama problemidir. Bu tez kapsamında bir ana depo üzerinden 76 müşteriye hizmet sağlayacak bir firmanın araç rotalama problemi ele alınmıştır. Minimum sayıda araç kullanımı ile gidilen mesafeyi en küçükleyecek araç rotalarının oluşturulması hedeflenmiştir. Problem çözümü için literatürde yer alan karışık tamsayıli matematiksel model kullanılmıştır ve sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Farklı büyüklükteki veri setleri dikkate alınarak önerilen yöntemin etkinliğı gösterilmiş ve regresyon analizi kullanılarak araç sayıları ve mesafeler arasındaki ilişki incelenmiştir.

A NEW SOLUTION APPROACH FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH SIMULTANEOUS PICK-UP AND DELIVERY

SUMMARY

Keywords: Vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery, the shortest path algorithm, regression analysis, mix integer linear programming

Pick up and delivery vehicle routing problem is that customers' demand are met using a vehicle with simultaneously pickup and delivery policies on each route. In this study, a vehicle routing problem consists of single depot and 76 customers is solved. The main objective is to create vehicle routes which minimize the distance travelled using the minimum number of vehicles. A Mixed Integer Linear Programming (MILP) from literature and a new heuristic algorithm are proposed to solve the problem. Effectives of new proposed algorithm is illustrated using different data set and a relationship among distances and number of vehicle is examined searched using a regression analysis.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde küreselleşmenin etkisiyle işletmeler ürünlerini tüm dünyaya sunarken, üretim kaynaklarının azalış göstermesi ve insanların geri dönüşüm konusunda bilinçlenmesiyle; işletmelerin rakiplerine karşı rekabet avantajı elde ederek ayakta kalabilmeleri, müşteri memnuniyetini mümkün olan en yüksek karlılık seviyesinde sağlamalarında işletmelerin sahip olduğu tedarik zinciri ve lojistik yönetimi kavramlarının önemi ortaya çıkmaktadır. İşletmelerin pazarda sürdürülebilirliğini sağlayabilmeleri için iyi düzenlenmiş bir lojistik planlarına ihtiyaçları vardır. İşletme içerisinde önemli bir kaleme sahip olan dağıtım maliyetlerinin azaltılmasında kullanılan araç sayısı, araçların kat edeceği toplam mesafe gibi ölçütlerin dikkate alınarak düşük maliyetli sonuçlar veren rota planlarının hazırlanması işletme karlılığı açısından oldukça önemlidir. Kaynakların daha verimli kullanılarak, müşteri taleplerinin etkin bir şekilde karşılanmasını sağlayan; araç rotalama probleminin işletme tarafından çözülmesi lojistik giderlerinin azalmasına önemli derecede olanak sağlamaktadır.

Lojistik alanında önemli bir yönetim problemi olan araç rotalama problemi temel olarak bir dağıtım noktasından; coğrafi olarak dağılmış noktaların taleplerini, belirli kısıtlar altında karşılayacak minimum maliyetli rotaları tasarlama problemidir.

Araç Rotalama Problemi (ARP) ilk olarak 1959 yılında Dantzing ve Ramser tarafından oluşturulmuştur. Klasik ARP olarak bilinen bu problemde; merkezi bir dağıtım noktasından, talep miktarları belirli olan müşteri kümesinin ihtiyaçlarını karşılayacak homojen özellikteki araç filosunun rotaları, kat edilen toplam mesafeyi en küçükleyecek şekilde belirlenir. Literatürde ARP'nin çeşitli türleri bulunmaktadır. 1980'li yıllardan itibaren çeşitli çalışmaların yapıldığı, ürünlerin tesislerden müşterilere dağıtımı ile müşterilerden toplanması faaliyetlerinin aynı araç ile

gerçekleştirildiği problemler, kaynaklarda Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (TDARP) olarak isimlendirilmektedir (Goksal, ve ark., 2013).

Günümüzde; üretim kaynaklarının azalması, geri dönüşüm faaliyetlerinin işletmeler üzerinde ekonomik getirisinin olması, yasal ve çevresel sorumluluk gibi birçok faktöre bağlı olarak, TDARP'ye ve Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (EZTDARP)'ye tersine lojistik uygulamalarında karşılaşılmaktadır. Tüketim sonucu oluşan atıkların toplanıp ekonomik değere sahip ürünler haline dönüştürülmesi, müşterilerin satın aldıkları üründen memnun olmamalarından dolayı ürünlerin geri iadesi, ürün tüketim ömrünün dolması, stok ayarlamaları, yeniden işleme, atıkların bertaraf edilmesi, geri dönüşüm gibi tersine lojistik amaçlarını gerçekleştirebilmek için işletmeler topla dağıt araç rotalama problemlerine önem vermektedir.

EZTDARP'de depodan ya da dağıtım merkezinden hareket eden araç, rotası üzerinde yer alan her müşteriye talep ettiği miktarda ürünü teslim ettikten sonra aynı araç eş zamanlı olarak müşteriden arz edilen miktarı toplayarak depoya geri döner. Toplama ve dağıtımın ayrı ayrı planlandığı araç rotalama sistemlerine göre aynı araç tarafından eş zamanlı olarak gerçekleştirilen dağıtım ve toplama faaliyetleriyle kaynakların daha verimli kullanılarak, maliyetin düşürülmesine olanak sağlamaktadır.

Gıda, otomotiv, bilgisayar, yedek parça, elektrik-elektronik gibi farklı sektörlerde EZTDARP' uygulamalarıyla karşılaşılmaktadır. İçeceklerin marketlere dağıtılırken boş şişelerin veya günü geçen ürünlerin fabrikaya veya depoya taşınması, otomobil, bilgisayar parçaları, elektronik cihazlar, endüstri ekipmanlarının teslimatı ve yeniden üretim veya yeniden kullanım amaçlı olarak toplanması, kargo şirketlerinde merkez depodan kolilerin bayilere dağıtılması ve bayilerden gönderim yapılacak kolilerin merkez depoya iletilmesi, üreticiden palet ve kolilerle gelen sebze meyvelerin manavlara dağıtılması ve boş koli, paletlerin yeniden kullanım için toplanması EZTPDARP uygulamalarına örnek olarak verilebilir.

Bu tezde bir müşteriye uğranıldığında toplama ve dağıtım işlemlerinin aynı anda yapıldığı EZTDARP ele alınmıştır.

Çalışmada homojen filo ya sahip EZTDARP için literatürde yer alan karışık tamsayılı matematiksel model ele alınmıştır. Merkez bir depo üzerinden 76 adet müşteriye hizmet sağlanacak EZTDARP uygulamasının çözümü için en kısa yol mantığını hedef alan algoritma geliştirilmiştir. Tüm müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerini karşılayacak, en az sayıda araç kullanımıyla, kat edilen toplam mesafeyi minimize edecek araç rotalarının oluşturulması hedeflenmiştir. Farklı büyüklükteki örnekler için algoritmanın sonuçları istatistiksel analizler ile değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümde ARP tanımlanmış, türleri ve çözüm yöntemleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde tez kapsamında dikkate alınan EZTDARP açıklanarak, problemle ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir. EZTDARP için karışık tam sayılı doğrusal bir model ele alınmıştır. Dördüncü bölümde tez kapsamında ele aldığımız probleme yönelik önerilen çözüm aşamalarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde ele alınan problemin tanımı yapılmış ve probleme yönelik farklı senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan problem senaryoları, dördüncü bölümde belirtilen çözüm aşamaları doğrultusunda geliştirilen sezgisel yöntem ile çözülmüştür. Problemlere ilişkin çözüm sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Tezin son bölümü olan sonuç kısmında ise, yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar özetlenmiş, gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

2.1. Araç Rotalama Problemi

İlk olarak Dantzig ve Ramser tarafından (1959) yılında yapılan bir çalışmayla ele alınan ARP müşteri ihtiyaçlarını yerine getirecek araç filosu için minimum maliyetli araç rotaların belirlenmesi problemidir. Dantzig ve Ramser benzin dağıtım problemini ele almışlar ve problem çözümü için matematiksel model geliştirmişlerdir. ARP için literatürde çok sayıda geliştirilmiş matematiksel modeller ve çözüm yöntemleri bulunmaktadır (Toth ve Vigo, 2002).

Klasik ARP’de; merkezi bir depoda bulunan aynı kapasitede aynı tip özelliklere sahip araç filosu, merkezi bir depodan harekete başlayarak, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Müşterilerin talepleri ve müşteri lokasyonları deterministiktir, bilinmektedir. Bu problem kapsamında, her müşteriye yalnızca bir araç ziyaret etmekte ve her araç yalnızca bir rotada faaliyet göstermektedir. Her aracın rotası depodan başlamalı ve depoda sona ermelidir. Tüm bu kısıtlar altında toplam taşıma maliyetini minimize eden araç rotalarının oluşturulması amaçlanmaktadır (Elbasan, 2015).

Birden fazla ve genellikle birbiriyle çelişen amaçların yer aldığı araç rotalama problemlerinde kullanılabilecek amaç fonksiyonları aşağıdaki gibidir (Toth ve Vigo, 2002):

- Araçların toplam kat ettiği mesafeye veya toplam seyahat zamanına bağlı oluşan toplam taşıma maliyetlerini en aza indirmek
- Araç rotalarını seyahat süresi ve araç yükü açısından dengelemek

- Tüm müşterilerin taleplerini karşılayacak toplam araç sayısını minimize etmek
- Müşterilerin taleplerinin parçalı olarak dağıtılması sonucu oluşan ceza maliyetlerini en aza indirmek

Problemlerin amaç fonksiyonlarını, yukarıda belirtilen amaçların çeşitli seçimlerle ile bir araya getirilmesi de oluşturabilmektedir.

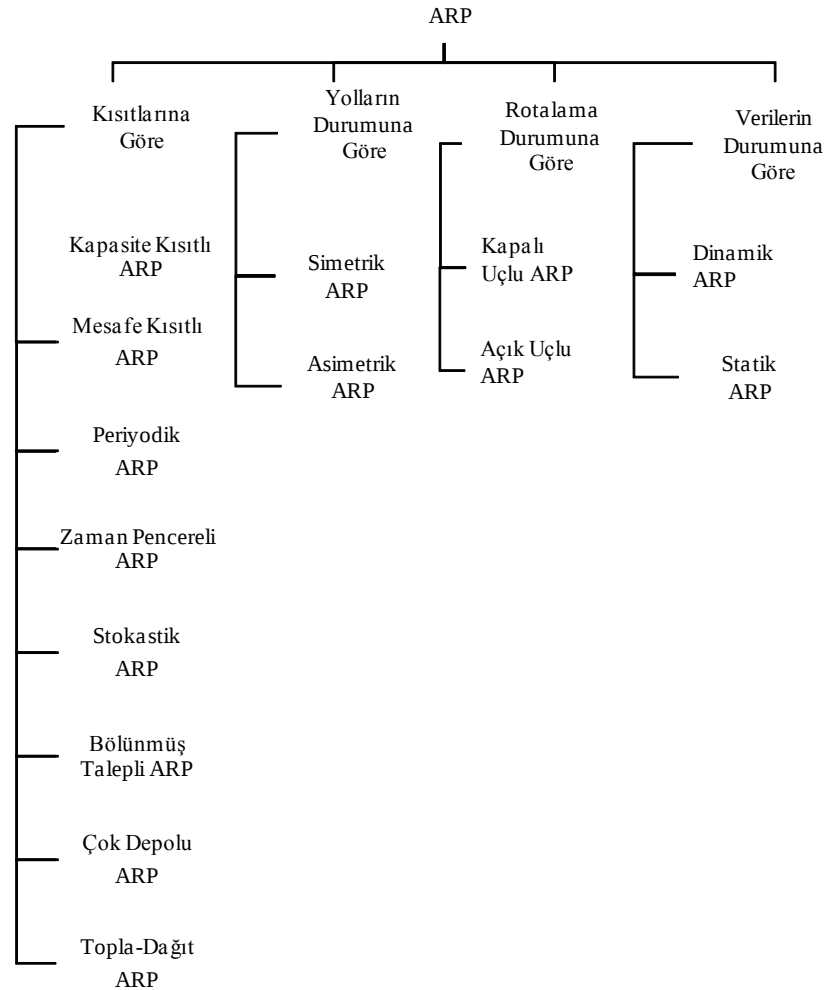
Talep yapısı, malzeme tipi, dağıtım-toplama noktaları ve araç filosu araç rotalama problemlerinin temel bileşenlerini oluşturmaktadır (Eryavuz ve Gencer, 2001):

- Talep yapısı: Araç rotalama problemlerinde talep deterministik veya stokastik olabilir. Deterministik talep durumunda, müşterilerin talepleri önceden bilinir. Stokastik durumda ise bazı düğümlerdeki müşterilerin talepleri bilinmekte iken bazıları araç rotasını izlerken belli olmaktadır.
- Malzeme Tipi: Araç rotalama problemleri taşınan malzeme tipine göre rota faaliyetlerinde karmaşıklık oluşturabilir. Gıda maddeleri, gazete dağıtımı, çöp toplama gibi rotalama faaliyetleri probleme ilave bir karmaşıklık getirmez iken öğrenci servisleri gibi rotalama faaliyeti çeşitli ihtiyaçlardan dolayı karmaşık yapıdadır. Tehlikeli malzemeleri taşıyan araçlar için coğrafi özellikler rotaların belirlenmesinde büyük önem kazanır.
- Dağıtım/Toplama Noktaları: ARP’de genellikle, dağıtım noktaları müşterilerin konumları iken, toplama noktası ise depodur. Tüketim mallarının fabrikalardan toptancılara dağıtımı buna örnek olarak verilebilir. Depo sayısının birden fazla olduğu araç rotalama problemlerinde depoların her biri kendi araçlarıyla işlerini yürütebilir, bu tarz durumlarda problem birkaç bağımsız ARP gibi davranır. Araç bir depodan çıkıp başka bir depoda yükleme/ boşaltma işlemi yapıyorsa problem bir bütün olarak ele alınmalıdır.
- Araç Filosu: Ele alınan problemin karakteristiklerine göre, ARP’de araç filoları homojen (aynı kapasitede) veya araçların taşıma kapasitelerinin farklı olduğu heterojen filo olarak belirlenir. Araç filosunun heterojen olması

durumunda hangi araç tipinin hangi rotaya hizmet vereceğinin belirlenmesi için ilave bir karar gerektirir.

2.2. Araç Rotalama Problemleri Çeşitleri

Araç rotalama problemleri çeşitli operasyonel kısıtlara ve ele alınan problemin karakteristiklerine göre birçok sınıfa ayrılmaktadır. Operasyonel kısıtlara göre, yol, rotalama ve verilerin durumlarına göre araç rotalama problemleri 4 ana başlık altında Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Araç rotalama problemlerinin sınıflandırılması (Koç, 2012)

2.2.1. Kısıtlarına göre araç rotalama problemleri

2.2.1.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi

Bir dağıtım merkezinden, işletmenin talepleri önceden belli olan müşterilere, kapasiteleri kısıtlı olan araçlarla hizmet verdiği araç rotalama problemidir. Müşteriler ve talepleri deterministiktir ve müşteri talepleri bölünemez. Araçlar homojen özellikte ve tek bir merkezi depoda yer almaktadırlar. Tüm müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayarak toplam maliyetin minimize edilmesi amaçlanmaktadır (Ekizler, 2011).

2.2.1.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi

Her bir aracın rotalama faaliyetinde gidebileceği mesafe sınırının olduğu problemlerdir. Yani rotalara atanan her aracın belirli kat edeceği toplam mesafesinin olması durumudur. Taşınan ürün cinsi, kullanılan araç, sürücü unsuru bu problem türünü ortaya çıkarabilir. Sürücünün belirli bir süreden fazla sürekli olarak yolculuk yapmaması söz konusuysa, taşınan ürünün uzun süre taşıma sonucu bozulabilme durumu varsa mesafe kısıtı modele dahil edilmelidir (Dursun, 2009).

2.2.1.3. Zaman pencereci araç rotalama problemi

Zaman bağımlı araç rotalama probleminde belirli sayıda aynı kapasiteye ve özelliklere sahip araçlar depoda bulunmaktadır. Müşterilerin konumları ve talep miktarları bilinmektedir. Bu problem türünde de her bir araç depodan harekete geçer ve depoda turunu sona erdirir. Her müşteriye yalnızca bir kez uğranır. Araçların toplam kat ettiği mesafenin minimizasyonu amaçlanmaktadır. Zaman bağımlı araç rotalama probleminin diğerlerinden ayıran kısıdı, her müşteriye ait servise başlanabilecek belirli bir (a_i, b_i) zaman aralığının olması ve zaman aralığı içerisinde söz konusu müşteriye hizmet edilme koşulunun olmasıdır. Zaman pencereci ARP sıkı zaman ve esnek zaman olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar (Badeu ve ark., 1997):

- Sıkı Zaman Pencereleli ARP: Her müşteri konumunda aracın servise başlama zamanı müşterinin zaman aralığının üst sınırından önce gerçekleşmelidir. Araç müşteriye zaman penceresinin başlangıcından önce gidebilir. Bu durumda bekleme süresine katlanılmalıdır. Zaman penceresinin bitişinden sonra servis verilememektedir. Her aracın rotası depo ile ilişkili zaman penceresinin sınırları dahilinde olmalıdır.
- Esnek Zaman Pencereleli ARP: Müşterilere ilgili zaman pencerelerinin haricinde hizmet verildiğinde, ceza maliyetine katlanıldığı araç rotalama problemi.

Bu araç rotalama problem türünün gerçek hayatta karşılaşılan; banka teslimatları, gazete dağıtımı, endüstriyel atık toplama, okul servis aracı rotalama faaliyetleri örnek olarak verilebilir (Badeu ve ark., 1997).

2.2.1.4. Bölünmüş dağıtımli araç rotalama problemi

Bölünmüş dağıtımli araç rotalama probleminde, KKARP'nin aksine; taleplerin müşterilere birden fazla araç ile temin edilmesine izin verilmektedir ve ortalama müşteri talebi fazladır. Yani talep noktalarına farklı araçlarla birden fazla kez hizmet sağlanabilmektedir. Ortalama müşteri talebi ve talep nokta sayısı yüksek olan problemlerde bölünmüş topla dağıta izin verildiği durumda KKARP sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; toplam gidilen mesafe ve ihtiyaç duyulan araç sayısında önemli oranda kazanç sağlamaktadır (Jiu ve ark.,2008).

2.2.1.5. Çok depolu araç rotalama problemi

Araçların harekete başlayabileceği birden fazla deponun bulunduğu araç rotalama problemidir. Depoların sayısı ve konumları ile müşterilerin konumları ve talepleri deterministiktir. Her bir depo müşterilerin bütün taleplerini sağlayacak büyüklüktedir. Müşterilerin talepleri depolardan sınırlı kapasiteye sahip araçlarla sağlanır. Her bir aracın rotası depodan başlamalı ve depoda sonlanmalıdır. Çok depolu araç rotalama problemleri aynı depo tarafından hizmet sağlanacak

müşterilerin gruplanması, depolara göre gruplanan müşteri kümelerinin araç kapasitesi aşılmayacak şekilde rotalanması ve her depo için rotalama faaliyetlerinin çizelgelenmesini aşamalarını içerir. Genellikle çok depolu araç rotalama problemi tüm müşterilere hizmet sağlayarak toplam kat edilen mesafeyi ya da harcanan zamanı en küçüklemeyi amaçlamaktadır (Ho ve ark., 2008).

2.2.1.6. Periyodik araç rotalama problemi

Periyodik ARP' de belirli bir dönemin planı en başta yapılmaktadır. Müşterilere planlanan süreç içerisinde birden fazla kez hizmet verilmektedir. Müşteri talep miktarları ve müşterilerin stok sahalarına bağlı olarak müşteri ziyaret sayısı değişkenlik gösterir. Talep miktarı yüksek veya stoklama alanı küçük olan müşteri; talebi az veya stok sahası büyük olan müşteriye göre daha çok ziyaret edilir. Bu problem türüne bakkaliye, alkolsüz içecek endüstrisi, atık toplama gibi faaliyet alanlarında karşılaşılmaktadır (Hemmelmayr ve ark., 2009).

2.2.1.7. Stokastik araç rotalama problemi

Klasik araç rotalama probleminin, bir veya birkaç problem elemanın rastsal olduğu problem türüdür. Stokastik ARP; müşterilerin, taleplerin ve servis süreleri veya dolaşım sürelerinin stokastik olduğu 3 farklı tür problemden oluşmaktadır. Stokastik müşterili ARP'de talep belirli iken bir müşteriye hizmet vermek bir p_i olasılığıyla gerçekleşebilmektedir. Yani sistemde her i müşterisi bir p_i olasılığı ile vardır. Stokastik talepli ARP dağıtım noktalarında talebin belirsiz olduğu problem türüdür. Her i müşterisinin talebi q_i rastsal değişkendir. Stokastik servis zamanlı veya seyahat zamanlı araç rotalama problemi ise belirsiz çevre şartlarında servis süreleri ve dolaşım sürelerinin rastsal değişken olduğu problemidir. Ziyaret edilme durumu belirli olan müşterilerin taleplerini karşılayacak, toplam süreyi en küçükleyecek araç filosunun optimal rotalarını oluşturmak amaçlanır (Şeker, 2007).

2.2.1.8. Topla dağıt araç rotalama problemi

Müşterilerin dağıtım ve toplama faaliyetlerinin aynı araçlar ile sağlandığı problem türüdür. TDARP, 3. bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2.2.2. Yolların durumuna göre araç rotalama problemi

Yolların durumuna göre ARP; simetrik ve asimetrik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Koç, 2012):

- Simetrik ARP: Gidilecek olan düğümler arasındaki gidiş ve dönüş mesafelerinin birbirine eşit olduğu problemlerdir.
- Asimetrik ARP: Bir noktadan diğerine olan gidiş ve dönüş mesafelerinin birbirine eşit olmadığı problemlerdir. ($d_{yz} \neq d_{zy}$).

2.2.3. Rotaların durumlarına göre araç rotalama problemleri

ARP, rotaların durumlarına göre açık ve kapalı uçlu olmak üzere iki gruba ayrılır:

- Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemleri: Başlangıç ve bitiş noktalarının aynı olduğu problemlerdir. Her rota bir depodan başlayıp, aynı depoda sona ermelidir. Dağıtım araçlarının sevkiyatı tamamladıktan sonra dağıtım merkezine dönmesi, nakliye araçlarının depodan müşterilere sevkiyatından sonra depoya dönmesi, okul servisleri, gazete dağıtım araçları veya çöp taşıtlarının hareketleri kapalı uçlu araç rotalama problemine yönelik örneklerdir (Koç, 2012).
- Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri: Diğer problem türlerinden en önemli farkı her rota merkez depo ile başlamakta, talep noktası veya başka bir depo ile sona ermektedir. Gerçek hayatta nakliye işlerini yapan taşımacılık firmalarında, farklı şehirlerde şubesi olan araç kiralama firmalarında bu tipteki probleme örnek olarak verilebilmektedir (Brandao, 2004).

2.2.4. Verilerin durumuna göre araç rotalama problemi

ARP verilerin durumuna göre; statik (deterministik) ve dinamik(stokastik) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır:

- Statik Araç Rotalama Problemi: Rotalama süreci başlamadan önce planlanacak rotalarla ilgili kısıt, talep, kapasite, maliyet gibi bilgilerin bilindiği ve rotalamaya ilişkin bu bilgilerin problemin çözüm aşamasında da değişkenlik göstermediği, sabit kaldığı problem türüdür (Erol, 2006).
- Dinamik Araç Rotalama Problemi: Problemin çözümüne ait bilgilerin zamana bağlı olarak değiştiği araç rotalama problemi türüdür. Araç rotasını izlerken, müşteri talebindeki dalgalanma, müşteriler arasındaki mesafelerin değişmesi, yola bağlı oluşabilecek aksaklıklar, yeni bir müşteri talebinin ortaya çıkması, gibi beklenmeyen durumlar karşısında yeni kararlar alarak, oluşan yeni koşullar altında en iyi rotaların bulunmasıdır (Psaraftis, 1995).

2.3. Araç Rotalama Problemleri Çözüm Yöntemleri

Araç rotalama problemlerinin çözümü için kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir.

2.3.1. Kesin sonuç veren yöntemler

Kesin sonuç veren yöntemler ile araç rotalama problemlerinde optimum sonuç elde edilmektedir. Fakat kapasite kısıtlı, zaman pencereli, dağıtım ve toplamalı araç rotalama problemleri gibi ARP çeşitlerinin matematiksel modelleri tam sayılı değişkenler içerdiğinden büyük ölçekli problemlerin çözüm zamanı çok uzun zaman alabilmektedir. Kesin sonuç veren yöntemler, küçük yapıdaki problemler için çözüm zamanı uygunken, büyük yapıli problemlerde çözüm zamanı üssel olarak artış göstermektedir (Küçükoğlu, 2010). Dal sınır algoritmaları, kesme düzlem algoritması, dinamik programlama, tamsayılı programlama vs. kesin sonuç veren algoritmalara örnek olarak verilebilir.

2.3.2. Sezgisel yöntemler

Araç rotalama problemlerinin NP-Zor tipi problemler olması nedeniyle değişken sayısı çok büyük olan problemlerde optimal sonuca ulaşma zamanının fazla olmasına sebep olmaktadır. Hizmet sunulan müşteri sayısı ve coğrafi alan artış gösterdikçe, problemin boyutu büyümektedir. Müşteri sayısı arttıkça alternatif rota sayısının artması, hesaplamayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle ARP çözümünde sezgisel algoritmalar ön plana çıkmaktadır (Eryavuz ve Gencer, 2001). Sezgisel yöntemler arama uzayında dar bir alanda tarama yapmalarına rağmen oldukça kısa bir süre içinde en iyiye yakın çözümler üretmektedirler (Santos ve ark., 2009).

Sezgisel yaklaşımlar iki gruba ayrılabilir; klasik sezgisel (özel amaçlı) yaklaşımlar ve meta-sezgisel yaklaşımlar. Klasik sezgisel yaklaşımlar belirli bir problem için olurlu çözümü hızlıca bulabilmektedir. ARP için kullanılan çözüm yöntemleri Tablo 2.3.'de gösterilmiştir.

2.3.2.1. Klasik sezgisel yöntemler

Sezgisel yöntemler yapısal sezgisel yöntemler, iki aşamalı sezgisel yöntemler ve geliştirici sezgisel yöntemler olarak 3 başlık altında incelenebilmektedir. ARP için geliştirilen sezgisel algoritmalar genel olarak üç ana sınıfa ayrılır (Eryavuz ve Gencer, 2001):

- Yapısal (tur kurucu) sezgiseller
- Geliştirici sezgiseller
- İki aşamalı sezgiseller

Yapısal sezgisel yöntemler çözüm maliyetini de göz önünde bulundurarak, aşama aşama ilerleyerek uygun çözüm geliştirirler. ARP için geliştirilmiş yapısal sezgisel yöntemlerin genel çalışma yapısı; maliyetin en küçüklenmesine bağlı olarak müşterilerin seçilmesi ve daha sonra kapasite ve zaman kısıtları dikkate alınarak rotalama işleminin gerçekleştirilmesine dayanır. Clarke ve Wright tasarruf

algoritması (1964) yapısal sezgisel yöntemlerden en çok bilinen methodtur. Diğer bir yapısal sezgisel yöntem en kısa yol sezgiselidir. Bu yöntemde de bir rotaya eklenmiş en son müşterinin ardına bu müşteriye en yakın olan başka bir müşteriye eklemeye dayanır. Bir rotaya atanacak ilk müşteri rastsal olarak ya da keyfi seçilebilmektedir. Ekleme işlemi araç kapasitesi sağlanana kadar yapılmaktadır Bu yöntem dışında Eşleme temelli tasarruf algoritmaları, sıralı ekleme sezgisel yöntemleri mevcuttur (Caric ve Gold, 2008 ; Dursun, 2009).

- Tasarruf Algoritması: Clark ve Wright (1964)
- Eşleme Tabanlı Algoritmalar
- Yerleştirme Yöntemi
- En Kısa Yol Yöntemi

2.3.2.1.1. En kısa yol yöntemi

Yöntemin temel mantığını müşteri noktaları arasındaki mesafe durumunu ve araç yükleme kapasitelerini baz alarak araçlara müşterilerin atanması oluşturmaktadır. En kısa yol yönteminin işleyiş süreci aşağıdaki gibidir (Breedam, 2001):

- Araç rootalamaya merkezi birimden başlanır. İlk araca merkezi birime en yakın mesafedeki müşteri atanır.
- Rotaya atanan müşteriye en yakın mesafede ve daha önce rotaya dahil edilmemiş noktalar incelenmektedir. Müşteriye en yakın iki nokta var ise her biri için ayrı çözüm dalları oluşturulmaktadır.
- Eğer müşteri direkt olarak merkezi birim ile bağlantılı değilse (oluşturulan rotada müşteri merkezi birimden sonra gelmiyorsa) ve müşteriye en yakın başka müşteri ile merkezi birim aynı mesafede ise süreç yine ikiye ayrılarak yeni çözümler oluşturulur. Rotalamada atanan müşteri başka müşteriye araç kapasite kısıtı sağlıyorsa bağlanır. Daha sonra çözüm ağacında yeni bir dal oluşturularak müşteri direkt olarak merkezi birime bağlanır. Ziyaret edilmemiş müşteriler arasından mevcut düğüme en yakın olan müşteriler değerlendirilerek, tüm müşteriler atanana kadar mantık devam ettirilir.

- Çözümler ayrı ayrı hesaplanır ve en uygun çözüm seçilir (Erol, 2006).

En kısa yol algoritmasında ele alınan en temel yaklaşım her seferinde ziyaret edilmemiş düğümler arasından mevcut düğüme en yakın olana gitmektir: Bu algorithmada aracın yükü, müşterilerin ziyaret sırasına bağlı olarak değişkenlik gösterir, dolayısıyla tur içinde araç kapasite kontrolünün sağlanması gerekmektedir.

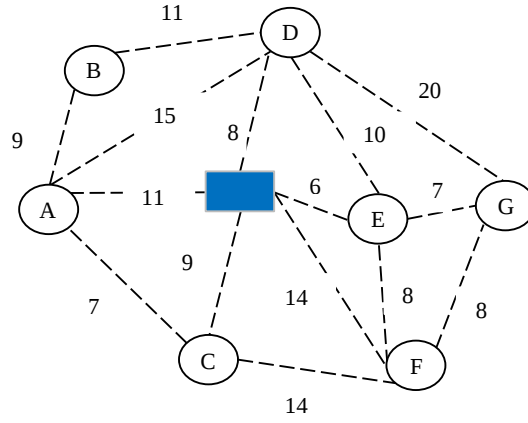
Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama probleminin çözümünde kullanılan en kısa yol algoritmasının uygulama mantığını açıklayabilmek için Erol'un (2006) çalışmasında yer alan kapasite kısıtlı araç rotalama problemine yönelik örnek, EZTDARP yapısına adapte edilerek, örnek problemin çözümü detaylandırılarak anlatılmıştır.

Buna göre bir merkez depodan (A,B,...,G) olarak isimlendirilen 7 adet müşteriye hizmet sağlayacak örnek problem ele alınmıştır. Müşterilere depodan teslim edilecek miktarlar talep olarak, her bir müşteriden toplanacak miktarlar Tablo 2.1.'de arz olarak belirtilmiştir. Depoda 2 adet araç bulunmakta ve her birinin yükleme kapasitesi 15 birimdir.

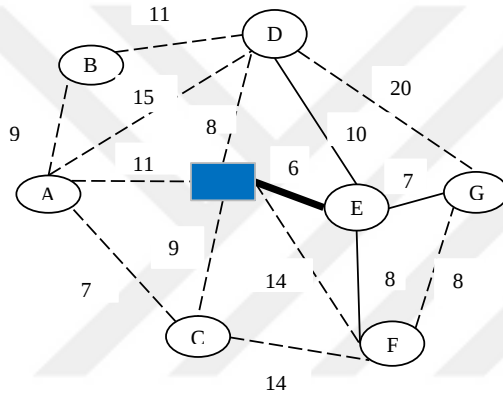
Tablo 2.1. Örnek problem için müşteriler, arz ve talep miktarları

Müşteri	Talep	Arz
A	3	1
B	5	4
C	3	3
D	4	3
E	4	3
F	5	4
G	3	2

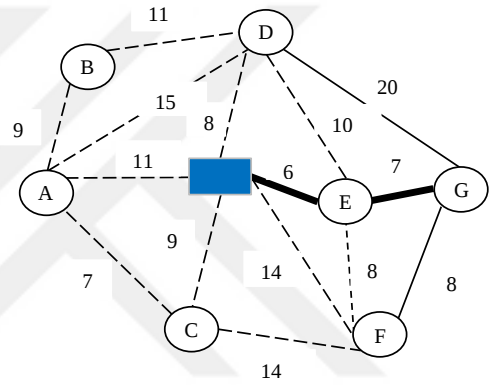
Müşteriler, depo birimi (dikdörtgen) , düğümler arası taşımaya olanak sağlayan yollar ve mesafe verileri öklidyen düzlem üzerinde Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Araçların kapasitesi aşılmadan tüm müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayacak ve kat edilen toplam mesafeyi en küçükleyecek olan araçların rotalarının bulunması hedeflenmiştir.



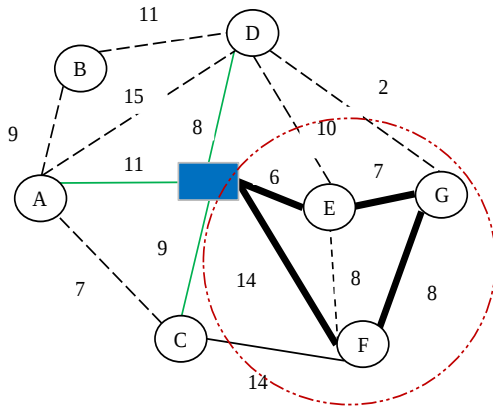
Şekil 2.2. Örnek problem düğümleri arasındaki mesafe verileri (Erol, 2006)



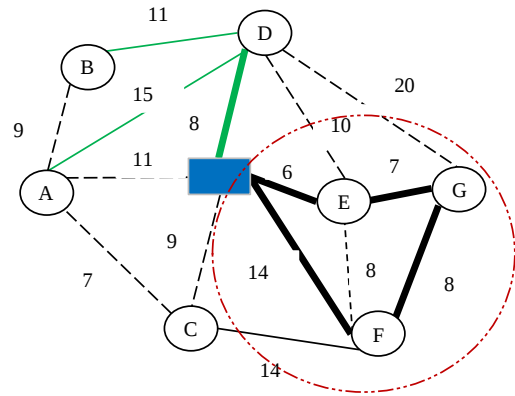
a) E düğümü EKM=6



b) G düğümü EKM=13

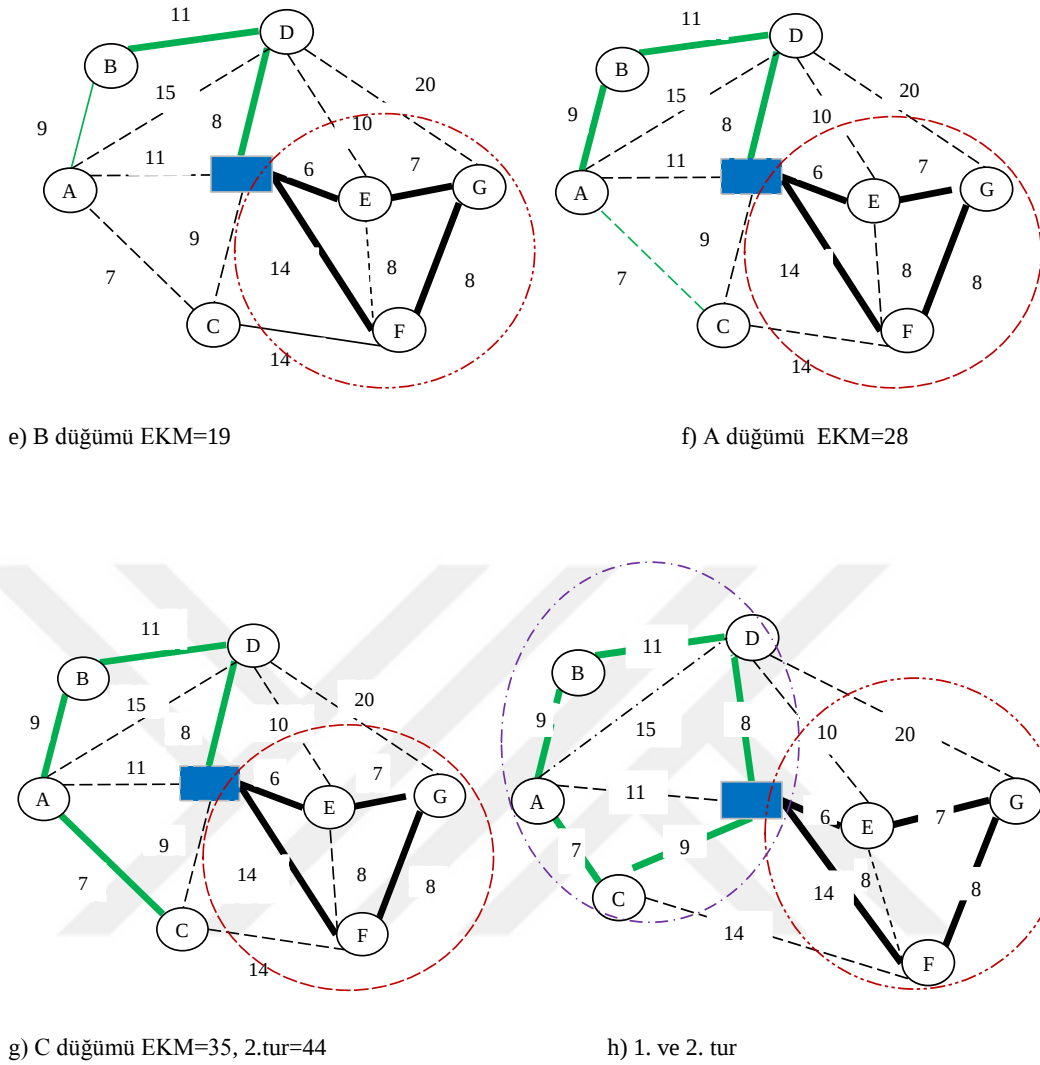


c) F düğümü EKM=21,1.tur=35



d) D düğümü EKM=8

Şekil 2.3. Örnek problem adım adım çözümü(a,b,c,d,e,f,g,h)



Şekil 2.4. Örnek problem çözümü devam

Verilen örnek problemin en kısa yol metodu kullanılarak adım adım çözümü Şekil 2.3. ve Şekil 2.4.'de verilmiştir.

Adım 1: Algoritmanın başlangıcında konumu depo olan birinci araç aktif edilir. Algoritma adımlarına göre merkezi depodan hareket edecek olan aracın ilk önce hangi müşteriye gideceği; depo ile doğrudan bağlantılı olan A,D,E,C,F düğümlerinden depoya en yakın mesafede yer olan düğüm tercih edilerek belirlenir. Dolayısıyla araç ilk önce depoya 6 birim uzaklıkta olan E düğümüne gitmiştir. E düğümünde 4 birim yük dağıtım 3 birim yük toplama yaparak, araç güncel kapasitesi 14 birim olmuştur.

Adım 2: Araç kapasite koşulu altında gidilecek sonraki düğümler, kendisi ile bağlantılı düğümler kümesi içerisinde en kısa mesafeli müşteriler olacaktır. Gidilecek bir sonraki düğüm, öklidyen düzlem üzerinde E düğümü ile doğrudan bağlantılı D,G,F düğümler kümesi içerisinde en kısa mesafeye sahip ve herhangi bir aracın rotasında yer almayan olan G düğümüdür. Bu müşterinin tercih edilmesi için, G düğümüne 3 birim yük teslimat yapıldığında ve düğümden 2 birim yük toplandığında; araç kapasitesinin 15 birim yükü aşmamış olması gerekir. Aracın G düğümündeki dinamik kapasitesi 13 birim yüküdür.

Adım 3: G düğümünden sonra kapasite ve en kısa mesafe şartını sağlayan F müşterisine gidilir. Tam yükleme kapasitesi ile yola çıkan aracın üç müşteriye dolaşmasında toplam $4+3+5=12$ birim yük müşteriye teslim edilmiş, eş zamanlı olarak her gidilen müşteriden toplama yapılarak $4+3+2=9$ birim yük alınmıştır. F müşterisine en yakın müşteri C müşterisidir ve C müşterisine daha önce gidilmemiştir. C müşterisine ait 3'er birim yük talep ve arz miktarları araç kapasitesi koşulunu sağlamaktadır. Aynı zamanda F düğümünün depoya olan uzaklığı, F ile C düğümler arasındaki mesafeyle aynıdır. (14 birim). Çözümde; birinci araç Depo-E-G-F-Depo rotasını izlemiş toplamda 35 birim yol kat etmiştir.

Adım 4: A,B,C,D müşterileri henüz bir rotaya atanmamış olduklarından algoritma devam eder, ikinci araç aktif edilir. İkinci araç ise kalan müşteri kümesi içerisinde aynı algoritma adımlarını izleyerek Depo-D-B-A-C-Depo rotasını izlemiştir. İkinci aracın toplam kat ettiği mesafe 44 birimdir. Bu durumda toplamda her iki aracın kat ettiği mesafe $35+44=79$ birim'dir.

Depodan çıkan aracın F düğümünden sonra aynı mesafeye sahip, kapasite koşulunu sağlayan C müşterisine gitmesi durumunda oluşacak rota Depo-E-G-F-C-Depo olur. Araç bu durumda 15 birim yük teslimat yapmış, 12 birim yük toplama yapmış olur. İkinci aracın rotası ise Depo-D-B-A-Depo olur. İkinci araç toplamda 12 birim teslimat, 8 birim toplama yapmış olur. Toplam kat edilen mesafe $44+39=83$ birim olur. Dolayısıyla toplam gidilen mesafeyi en küçükleyen rotalar çözümü oluşturmuştur. Tablo 2.2.'de çözüm aşamaları gösterilmiştir.

Tablo 2.2. En kısa yol yöntemi örnek problem çözümü

		Araç kapasitesi	Toplam Mesafe	Toplam Talep	Toplam Arz
1.Araç	Depo-	15	0	0	0
	Depo-E	14	6	4	3
	Depo-E-G	13	13	7	5
	Depo-E-G-F	12	21	12	9
	Depo-E-G-F- Depo	12	35	12	9
2.Araç	Depo-	15	0	0	0
	Depo-D	14	8	4	3
	Depo-D-B	13	19	9	7
	Depo-D-B-A	11	28	12	8
	Depo-D-B-A-C	11	35	15	11
	Depo-D-B-A-C- Depo	11	44	15	11

İyileştirmeli sezgisel yöntemler mevcut çözümde bulunan araç rotaları arasında müşteri veya yol değişimi ile uygun çözümü bulmaya çalışan yöntemlerdir. İyileştirici yöntemler, araç rotalarının tekil olarak veya birden fazla araç rotasının aynı anda iyileştirmelerini sağlayacak şekilde iki sınıfta ele alınır (Ekizler, 2011). Tek rota iyileştirmelerinde, gezgin satıcı algoritması için geliştirilen yöntemler, çoklu rota iyileştirmelerinde ise ayrıt değişimine dayalı algoritmalar kullanılabilmektedir (Tüfekçier, 2008).

- Tek Rota İyileştirmeli Sezgisel Algoritma
- Çok Rota İyileştirmeli Sezgisel Algoritmaları
- Thompson ve Psaraftis Algoritması(1993)
- Van Breedam Algoritması (1994)
- Kinderwater ve Savelsbergh Algoritması (1997)

İki aşamalı sezgisel yöntemler kendi içinde birbirleri ile geri besleme döngüsüne sahip köşelerin elverişli rotalarda kümelenendirilmesi, asıl rotaların oluşturulması olmak üzere iki bileşene ayrıştırılmıştır. Müşterilerin kapasite kısıtlarına göre gruplara ayrılması ve grup içerisinde rotalamanın gerçekleştirilmesi olmak üzere çözüm genellikle iki aşamada yapılmaktadır (Ekizler, 2011).

- Önce Kümele Sonra Rotala Algoritmaları
- Fisher ve Jaikumar Algoritması (1981)
- Taç Yaprağı Algoritması
- Süpürme Algoritması
- Taillard Algoritması (1993)
- Önce Rotala Sonra Kümele Algoritmaları

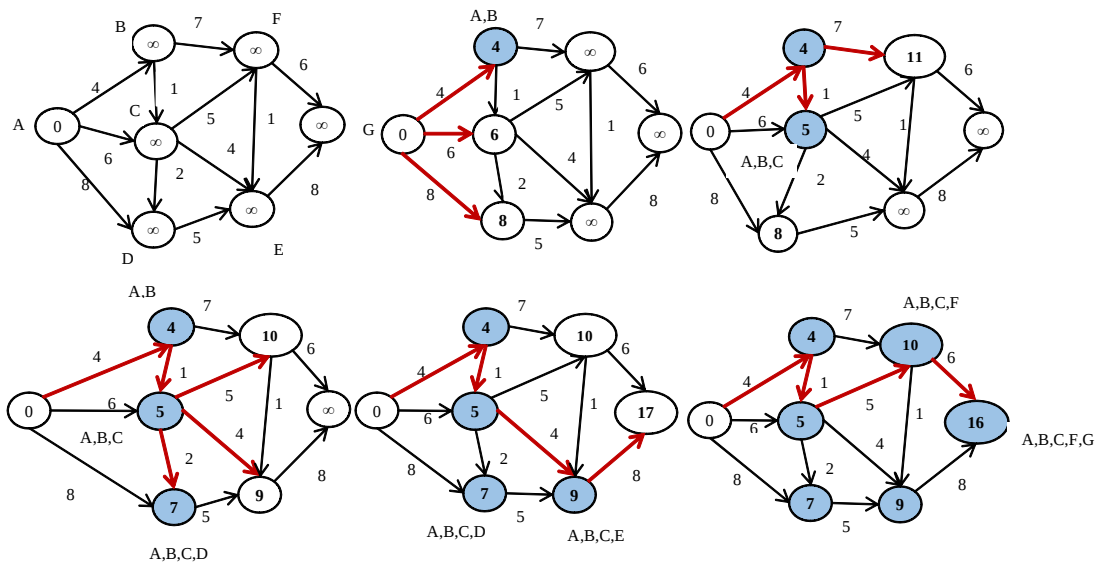
2.3.2.2. Meta sezgisel yöntemler

Meta sezgisel yöntemler, en iyi çözümü garanti etmezler fakat daha az deneme ile denenmesi gereken durum olasılıklarında kabul edilebilir seviyede iyi bir çözüm bulabilen, deterministik olmayan yöntemlerdir (Ekizler, 2011). Meta sezgisel yöntemlerde amaç çözüm uzayının en olası bölgelerinde arama yaparak yerel optimumlardan kurtulmak, global optimuma yakın sonuçlar elde etmektir. Bu yöntemlerle üretilen sonuçlar klasik sezgisel yöntemlerle üretilen sonuçlardan daha iyi sonuç elde edilebilir ancak hesaplama süresi klasik sezgisel yöntemlere göre uzun sürebilmektedir (Laporte ve ark., 2000). Tabu arama, genetik algoritma, karınca kolonisi algoritması, tavlama benzetimi, yapay sinir ağları meta sezgisel yöntemlere örnek olarak verilebilir.

2.3.3. En kısa yol problemleri için geliştirilen diğer algoritmalar

En kısa yol problemi, iki birim arasında minimum maliyet ile gidilebilecek bir yolun belirlenmesi problemidir. Herhangi bir noktadan tüm noktalara veya her bir noktadan tüm noktalara olan en kısa yolların bulunması için geliştirilen algoritmalarından en çok kullanılanları Dijkstra (bir noktadan diğer tüm noktalara olan en kısa yollar), Bellman ve Ford (eksi maliyete sahip olan graflarda bir noktadan diğerine en kısa yollar), Floyd (tüm noktalar için en kısa yollar) algoritmalarıdır. En kısa yol için geliştirilen algoritmalar tek hedefe giden en kısa yollar, tek başlangıç noktasından en kısa yollar, iki nokta arasındaki en kısa yol, tüm noktalar arasındaki en kısa yollar olmak üzere 4 farklı şekilde de sınıflandırılabilir (Cömert, 2014).

Dijkstra'nın algoritması belirli bir başlangıç noktasına göre en kısa yolu bulan, bir başlangıç noktasından, diğer tüm noktalara olan en kısa yolu belirleyen, ağırlıklı ve yönlü graflar için geliştirilmiş algoritmadır. Graf üzerindeki her bir kenarın ağırlığı sıfır veya pozitif bir değer olmalıdır. Dijkstra'nın algoritması en kısa yolu belirlerken, bir sonraki düğümü belirlemek, en iyi sonucu bulmak amacıyla bir karar mekanizması kullanır. Şekil 2.5.'de 7 düğümlü örnek problem üzerinde Dijkstra algoritmasının çözüm aşamaları verilmiştir. Şekilde; mesafelerle ağırlıklandırılmış bir grafın başlangıç hali ve birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci çözüm adımları gösterilmiştir. Referans noktası A olan örnek problemde izlenen adım, A noktasına doğrudan bağlantılı noktalara ait mesafe bilgisi güncellenmesidir. Her seferinde bir sonraki noktaya gidebilmek için, aktif noktanın ziyaret edilmemiş bütün komşularının başlangıç noktasından uzaklıkları hesaplanır ve hesaplanan değer komşu noktaların o anki uzaklık değerinden küçük ise uzaklık değeri yeni bulunan değer ile değiştirilerek yapılır (Bayzan, 2005).



Şekil 2.5. Dijkstra algoritması örnek çözümü

Bellman ve Ford Algoritması da bir başlangıç noktasından diğer tüm noktalara olan en kısa yolu bulan algoritmadır. Dijkstra algoritmasından farklı olarak kenar maliyetleri eksi olan graflar için de çalışır. Floyd Algoritması ise graf üzerinde yer

alan her bir nokta için diğer noktalara olan en kısa yolları bulan algoritmadır. Floyd algoritması basitçe gidilebilecek noktaların komşuluk matrisi, uzaklık matrisi ve en kısa yol bilgilerinin kaydedileceği rota matrisi üzerinden çalışmaktadır (Bayzan, 2005).



Tablo 2.3. ARP çözüm yöntemleri (Ercan & Gencer, 2013)

ARP Çözüm Metotları				
Kesin Algoritmalar	Sezgisel Algoritmalar			
	Klasik Sezgiseller			İleri (Modern) Sezgiseller
	Tur Kurucu (Yapısal)	Tur Geliştirici (İyileştirme)	İki veya Çok Aşamalı	
1) Dal-Sınır	1) Clarke ve Wright (Tasarruf)	1) Tek Rota İyileştirme	1) Süpürme	1) Tavlama Benzetimi
2) Dal Kesme	2) Yerleştirme	2) Çoklu Rota İyileştirme	2) Fisher ve Jaikumar	2) Yasaklı Tabu Arama
3) Dal ve Değer	3) Sıralı Ekleme	3) Van Breedam	3) Bramel ve Simichi Levi	3) Genetik Algoritma
4) Dal, Kesme ve Değer	4) En Kısa Yol	4) Thomson ve Pasaraftis	4) Kısıtlanmış Dal Sınır	4) Karınca Kolonisi Algoritması
5) Kesme Düzlemi	5) Christodes	5) Kinderwater ve	5) Taç Yapağı	5) Yapay Sinir Ağları
6) Sütun Yaratma		Savelsbergh	6) Taillard	6) Parçacık Sürü Ağları
7) Dinamik Programlama			7) Budanmış Dal Sınır	
8) Tamsayı Programlama				

BÖLÜM 3. EŞ ZAMANLI TOPLA DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (EZTDARP), Topla Dağıt Araç Rotalama Probleminin (TDARP) alt tür problemlerinden biridir. Dolayısıyla EZTDARP'yi tanımlamadan önce bu bölümde sırasıyla TDARP ve türleri açıklanmıştır. EZTDARP için literatürde yer alan çalışmalar verilmiştir.

3.1. Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi

1980'li yıllardan itibaren çeşitli çalışmaların yapılan topla dağıt araç rotalama problemi, bir merkezden müşterilere yapılacak dağıtım faaliyeti ile müşterilerden merkezi birime taşınacak toplama faaliyetlerinin aynı araçlarla yapıldığı problem türüdür (Karaoğlu, 2009). Klasik ARP'nin geliştirilmiş bir hali olan TDARP'de talep edilen ürünlerin depodan müşterilere dağıtılması ile müşterilerden depoya gönderilecek ürünlerin toplanması olmak üzere, aynı aracın gerçekleştirdiği iki farklı işlem söz konusudur.

Günümüzde; üretim kaynaklarının azalması, geri dönüşüm faaliyetlerinin işletmeler üzerinde ekonomik getirisinin olması, yasal ve çevresel sorumluluk gibi birçok faktöre bağlı olarak, TDARP'ye tersine lojistik uygulamalarında karşılaşılmaktadır. Atıkların toplanarak katkı değeri olan ürünlere dönüştürülmesi, müşteri memnuniyetsizliği sonucu satın alınan ürünlerin iadeleri, ürün tüketim ömrünün dolması, stok ayarlamaları, yeniden işleme, atıkların bertaraf edilmesi, geri dönüşüm gibi tersine lojistik amaçlarını gerçekleştirebilmek için işletmeler topla dağıt araç rotalama problemlerine önem vermektedir (Şengül, 2011).

Gıda, otomotiv, bilgisayar, yedek parça, elektrik-elektronik gibi farklı sektörlerde TDARP'nin uygulamalarıyla karşılaşılmaktadır. İçeceklerin marketlere dağıtılırken

boş şişelerin geri dönüşüm için depoya taşınması, gıdaların marketlere dağıtımı esnasında günü geçmiş ürünlerin toplanması, otomobil, bilgisayar parçaları, elektronik cihazlar, endüstri ekipmanlarının teslimatı ve yeniden üretim veya geri dönüşüm amaçlı olarak toplanması, kargo şirketlerinde merkez depodan kolilerin bayilere dağıtılması ve bayilerden gönderim yapılacak kolilerin merkez depoya iletilmesi, üreticiden palet ve kolilerle gelen sebze-meyvelerin manavlara dağıtılması ve boş koli, paletlerin yeniden kullanım için toplanması TDARP'nin uygulamalarına örnek olarak verilebilir (Ropke ve Pisinger, 2006; Ganesh ve Narendran, 2008; Zachariadis ve ark., 2009).

TDARP en genel hali ile şu şekilde tanımlanabilir:

$G(N,A)$ tam bağlı (bütün düğümler arasında doğrudan bir ayrıtın mevcut olduğu durum) bir serimdir. Burada N düğümler kümesini, A ise düğümler arasında tanımlanan ayrıtlar kümesini göstermektedir. ($A=\{(i, j) : i, j \in N, i \neq j\}$). N düğümler kümesinde ilk düğüm depoyu, diğer düğümler ziyaret edilecek müşterileri temsil etmektedir. c_{ij} (i,j) ayrıtının uzunluğunu ya da maliyetini göstermektedir, üçgensel eşitsizlik $c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj}$ sağlanmaktadır. Her biri Q kapasiteye özdeş araçlar depoda beklemektedir. Tanıma göre; her müşteriye yalnızca bir kez uğranılmalı, rotalar depodan başlamalı ve tekrar depoda son bulmalı, aracın izlediği rotada müşterilerden toplanan ve müşterilere dağıtılan yük miktarı toplamı araç kapasitesini geçmemelidir. TDARP, tanımlanan sistem doğrultusunda belirtilen kısıtları sağlayan minimum maliyetli araç rotalarının bulunması problemidir (Karaoğlu, 2009).

3.1.1. Topla dağıt araç rotalama problemi türleri

TDARP kendi içerisinde alt türlere ayrılmaktadır. Bu çalışmada Önce Dağıt Sonra Topla ARP (ÖDSTARP), Karma Topla-Dağıt ARP (KTDARP) ve Eş Zamanlı Topla Dağıt ARP (EZTDARP) ele alınmıştır.

3.1.1.1. Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi

ÖDSTARP, müşterilerin dağıtım ve toplama müşterileri olmak üzere iki guruba ayrıldığı, aracın izlediği rotada dağıtım müşterilerine toplama müşterilerinden önce hizmet verildiği problem türüdür. Genelde, araç içerisinde dağıtılacak ürünler ile toplanan ürünlerin tekrar yerleştirilmesinin mümkün olmadığı durumlarda bu tür bir varsayım ihtiyacı duyulur. Bu durumda dağıtım müşterilerinin talepleri ile yüklenen araç, ancak bütün dağıtım talepleri müşterilere dağıtılıp araç boşaldıktan sonra toplama müşterilerine hizmet verebilmekte, müşterilerden depoya gelecek ürünlerin toplanması işlemini gerçekleştirebilmektedir. Gıda sektöründe araçların ana depodan marketlere sebze-meyve dağıttıktan sonra, üreticilerden gelen ürünleri depoya taşımaları bu problem türüne örnek olarak verilebilir (Ropke ve Pissingier, 2006; Dinç, 2012).

3.1.1.2. Karma topla dağıt araç rotalama problemi

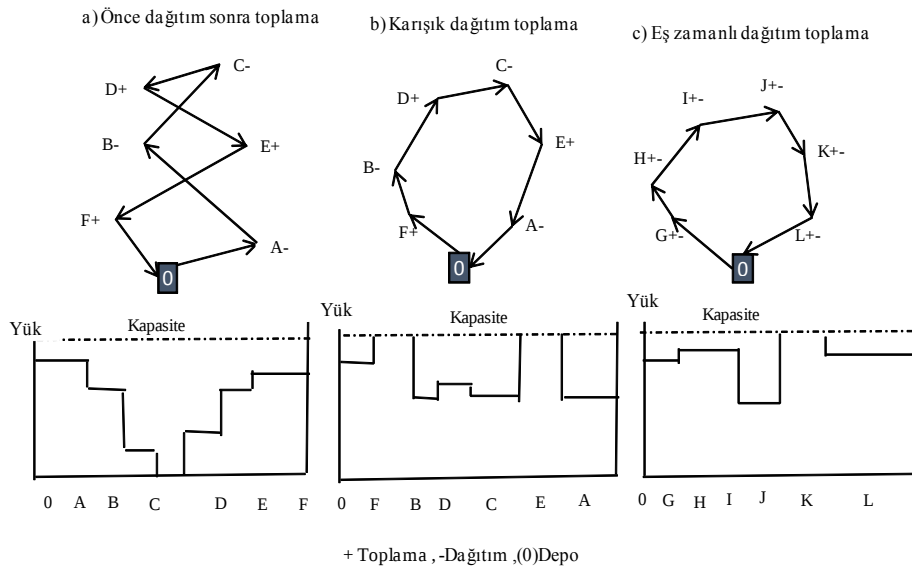
Müşteri önceliklerinin kaldırıldığı, araçların rota üzerindeki toplama ve dağıtım müşterilerine karışık sırada hizmet verebildiği, TDARP'nin alt problem türüdür. Dolayısıyla bu problem, araç içerisinde yükleme ve boşaltmanın birlikte yapılmasının mümkün olduğu durumlar için geçerlidir. Her iki yanında da kapısı olan araçlarla bu problem yapısı gerçekleştirilebilir. Hizmet sektöründe, depodan müşterilere kargo dağıtımını yapılırken diğer müşterilerden kargoların toplanarak depoya taşınması bu problem türüne örnek olarak verilebilir (Karaoğlu, 2009).

3.1.1.3. Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi

EZTDARP probleminin ÖDSTARP ve KTDARP'den farkı, bir müşteri aynı anda hem toplama hem de dağıtım müşterisi olabilme durumudur. EZTDARP'de depodan ya da dağıtım merkezinden hareket eden araç, rotası üzerinde yer alan her müşteriye talep ettiği miktarda ürünü teslim ettikten sonra aynı araç eş zamanlı olarak müşteriye arz edilen miktarı toplayarak depoya geri döner. Müşteriye önce verilecek ürün bırakılır sonra toplanacak ürün alınmaktadır. Müşteriler herhangi bir

ayırma tabi tutulmaksızın her müşteri yalnızca bir kez hizmet görmektedir. Toplama ve dağıtımın ayrı ayrı planlandığı araç rotalama sistemlerine göre aynı araç tarafından eş zamanlı olarak gerçekleştirilen dağıtım ve toplama faaliyetleriyle kaynakların daha verimli kullanılarak, maliyetin düşürülmesine olanak sağlamaktadır. Gıda sektöründe, marketlere içeceklerin dağıtıldıktan sonra aynı marketlerden boş şişelerin geri dönüşüm amaçlı toplanması, otomobil, bilgisayar parçaları, elektronik cihazlar, endüstri ekipmanlarının teslimatı ve yeniden üretim veya geri dönüşüm amaçlı olarak toplanması bu problem tipine örnek olarak verilebilir (Zachariadis ve ark., 2009).

EZTDARP, ÖDSTARP ve KTDARP'nin genel halidir. Dolayısıyla, ETZDARP için geliştirilen bir model, ETDARP üzerinde bir takım değişiklikler ve varsayımlar yapılarak diğer TDARP türleri için kullanılabilir (Bozyer, 2013).



Şekil 3.1. Topla dağıt araç rotalama problem türleri (Zachariadis ve ark., 2009)

Şekil 3.1.'de TDARP'nin üç farklı problem türü verilmiştir. Şekil 3.1.(a).’da önce dağıtım sonra toplama yapılan problem türü gösterilmiştir. Müşteriler dağıtım ve toplama müşterisi olarak ikiye ayrılmıştır. Araç atanan rotada önce dağıtım işlemini gerçekleştirdikten sonra müşterilerden toplama işlemini gerçekleştirmiştir. Şekil

3.1.(b).’de karışık dağıtım toplama problemi gösterilmiştir. Müşterilere karışık sırada dağıtım ve toplama hizmeti verilmiştir. Şekil 3.1.(c).’de eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi gösterilmiştir. Bu problem türünde her nokta mutlaka hem dağıtım hem de toplama noktasıdır. Araç rotası boyunca eş zamanlı olarak dağıtım ve toplama işlemini gerçekleştirir. Şekil’de TDARP türlerine bağlı olarak aracın izlediği rota boyunca kapasitesindeki dalgalanmalar gösterilmiştir. TDARP’de filodaki araçların müşterinin ihtiyaçlarını karşılamak için hem dağıtım hem de toplama işlemini yapıyor olması araç kapasite kontrolünü ve planlamayı zor hale getirmektedir. Dolayısıyla depodan çıkan araç izlediği rota boyunca ziyaret edeceği müşterilerin dağıtım taleplerini karşılayacak ve müşterilerden toplayacağı tüm ürünleri depoya taşıyabilecek şekilde kapasite kontrolü sağlanarak rotalama yapılmalıdır. EZTDARP’de diğer iki TDARP türüne göre araç kapasitesindeki dalgalanmanın daha az olduğu görülmektedir.

3.2. EZTDARP’ Matematiksel Modeli

EZTDARP’nin literatürde yer alan matematiksel olarak tanımı aşağıdaki gibidir:

$G(N,A)$ yönlü bir serim olsun. Burada N düğüm kümesi ($N=\{0,..,n\}$) ve A ayrıt kümesidir. ($A=\{ (i, j) : i,j \in N, i \neq j \}$). N düğüm kümesinde 0 ile gösterilen düğüm, her biri Q kapasiteye sahip ve aynı özellikteki araçların bulunduğu merkezi bir depoyu temsil etmektedir. N düğüm kümesinde tanımlı, kalan düğümler ise müşterileri temsil etmektedir. Her i müşterisinin d_i kadar dağıtım talebi (depodan müşteriye taşınacak miktar) ve p_i kadar ise toplama talebi (müşteriden depoya taşınacak miktar) vardır. c_{ij} , $(i, j) \in A$ ayrıtının serim üzerindeki ağırlığını temsil etmektedir ve i düğümünden j düğüme geçiş olması halinde i ile j düğümleri arasındaki mesafe, zaman, maliyet anlamında da kullanılmaktadır (Zachariadis ve ark., 2009). EZTDARP çözümü için önerilen modelde c_{ij} i ile j düğümleri arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. ($V=\{1,2,..,m\}$), $k \in V$ olmak üzere her biri aynı özellikte, aynı sabit (F) ve değişken (v) maliyete sahip olan araç filosunu göstermektedir. Araçlar parçalı dağıtım-toplama yapmamaktadırlar. Buna göre ele alınan problemin amacı, aşağıdaki kısıtlar sağlanacak şekilde, tüm müşterilere yalnızca bir kere servis yapıldığı

minimum maliyetli rotaları planlamaktır. Bu da gerekli olan araç sayısına ve müşterilere hizmet sağlayan araç rotalarının kümesine karar vermeyi içerir.

Problemde; Mosheiov (1998) modeline dayalı Montane ve Galvao (2006) ve Ai ve Kachitvichyanukul (2009) önerdikleri matematiksel model esas alınmıştır. Eş zamanlı topla dağıt probleminin matematiksel modeli aşağıda yer almaktadır.

Dizin Kümeleri ve Parametreler

- N : Müşteriler kümesi, $\{1,2,3, \dots, n\}$
 N_0 : Depo ve müşterilerden oluşan düğümler kümesi, $N_0 = N \cup \{0\}$
 V : Araçlar kümesi, $\{1,2,3, \dots, m\}$
 Q_k : Araç kapasitesi, $k \in V$
 F_k : Her aracın sabit maliyeti, $k \in V$
 v_k : Her aracın değişken maliyeti, $k \in V$
 c_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki uzaklık, $i \in N_0, j \in N_0$
 d_j : j müşterisinin dağıtım talebi, $j \in N$
 p_j : j müşterisinin toplama talebi, $j \in N$

Karar Değişkenleri

$$X_{ijk} : \begin{cases} 1, k \text{ nolu araç } i \text{ düğümünden } j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

y_{ijk} : k nolu araç i düğümünden j düğümüne gittiğinde, j . düğüme gelene kadar toplanan kümülatif yük miktarını gösterir.

z_{ijk} : k nolu araç i düğümünden j düğümüne gittiğinde, j . düğüme gelene kadar araçta dağıtılacak yük miktarını gösterir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min}Z = \sum_{k \in V} \sum_{j \in N} F_k X_{0jk} + \sum_{k \in V} \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} v_k X_{ijk} c_{ij} \quad (3.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in N_0} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in N_0} X_{ipk} - \sum_{j \in N_0} X_{pj k} = 0, \quad \forall p \in N_0, \forall k \in V \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in N} X_{0jk} \leq 1, \quad \forall k \in V \quad (3.4)$$

$$y_{0ik} = 0, \quad \forall i \in N, \forall k \in V \quad (3.5)$$

$$z_{i0k} = 0, \quad \forall i \in N, \forall k \in V \quad (3.6)$$

$$\sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} y_{jik} - \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} y_{ijk} = p_j, \quad \forall j \in N \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} z_{ijk} - \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} z_{jik} = d_j, \quad \forall j \in N \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in V} y_{i0k} = \sum_{i \in N} p_i \quad (3.9)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in V} z_{i0k} = \sum_{i \in N} d_i \quad (3.10)$$

$$y_{ijk} + z_{ijk} = Q_k X_{ijk}, \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (3.11)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (3.12)$$

$$y_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (3.13)$$

$$z_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (3.14)$$

Modeldeki (3.1) numaralı eşitlik araç kullanım maliyeti ve taşıma maliyeti toplamını en küçüklemeyi hedefleyen amaç fonksiyonudur. (3.2) numaralı kısıt bütün düğümlerin yalnız bir kez ziyaret edilmesini, (3.3) numaralı kısıt hizmeti sağlanan düğümü aynı araç ile araç terk etmeyi sağlar. (3.4) numaralı kısıt her bir aracın yalnızca bir rota için kullanılmasını sağlar. (3.5) numaralı kısıt aracın topladığı yükü tur başında sıfıra eşitlemektedir. (3.6) numaralı kısıt aracın dağıtım yükünü tur sonunda sıfıra eşitler. (3.7) numaralı kısıt aracın topladığı yükün araç rotası boyunca artarak izlemesini (3.8) numaralı kısıt aracın dağıtım yükünün araç rotası boyunca azalarak izlemesini sağlar. (3.9) numaralı kısıt aracın başlangıç noktasına dönüşte tur içinde topladığı yük miktar akışını; tur içinde yer alan düğümlerin toplam toplama

taleplerine eşit olmasını sağlar. (3.10) numaralı kısıt aracın başlangıç noktasından itibaren tur içinde dağıtılacak yük miktar akışını; tur içinde yer alan düğümlerin toplam dağıtım taleplerine eşit olmasını sağlar. (3.11) numaralı kısıt rota içindeki herhangi bir müşteride aracın kapasitesinin aşılmasını engellemektedir. (3.12) numaralı kısıt değişkene 0-1 tamsayı değerini atar. (3.13) ve (3.14) numaralı kısıtlar işaret kısıtlarıdır.

3.3. EZTDARP İçin Literatür Araştırması

Eş zamanlı topla- dağıt araç rotalama problemi ilk olarak 1989 yılında gerçek bir kütüphane sistemi ele alınarak Min (1989) tarafından tanımlanmıştır. Çalışmada 22 müşteriden oluşan problemde kütüphanelerde kitap taşınmasını ele alan algoritma geliştirilerek, çözüm için önce kümele sonra rotalama yöntemi uygulanmıştır. Dethloff (2001) düğüm tabanlı bir matematiksel model önermiş ve çözümü için farklı ölçütlere göre ekleme stratejileri uygulayan tur kurucu sezgisel algoritma önermiştir. Crispim ve Brandao (2005) çalışmalarında değişken komşu iniş ve tabu arama algoritmalarını birleştiren melez bir meta sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Nagy ve Salhi (2005) dağıtım ve teslimat içeren araç rotalama problemleri çeşitleri için sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Montane ve Galvao (2006) problem çözümü için tabu arama algoritması geliştirmişlerdir. Ropke ve Pisinger (2006) EZTDARP'ye zaman penceresi ekleyerek, problemin çözümü için büyük komşuluk arama sezgiseli geliştirmişlerdir. Chen (2006) çalışmasında problem çözümü için tavlama benzetimi ve değişken komşu iniş algoritmalarından oluşan melez bir meta sezgisel algoritma geliştirmiştir. Bianchessi ve Righii (2007) yerel arama ve tabu arama algoritmaları geliştirmişler ve sezgisel algoritma sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışmalarda TDARP iki temel sınıfa ayrılmıştır. Parrag ve ark. (2008a) dağıtım faaliyetlerinin depolar ve müşteriler arasında gerçekleştiği problem çeşitleri üzerine Parrag ve ark. (2008b) ise dağıtım işlemlerinin toplama ve dağıtım birimleri arasında gerçekleştiği problem türleri olarak TDARP'yi ele alan detaylı bir çalışma yapmışlardır. Erbao ve ark. (2008) zaman pencereli EZTDARP ele almışlardır. Problem çözümü için diferansiyel evrim algoritması ile genetik algoritmanın avantajlarından faydalanan melez bir algoritma önerilmiştir. Ai ve

Kachitvichyanukul (2009) problem çözümü için kuş sürüsü en iyileme algoritması geliştirmişlerdir. Karlaftis ve ark. (2009) çalışmada merkez ile birkaç liman arasında faaliyet gösterecek olan özel bir konteynır filosu için zaman kısıtları altında en uygun rotaları belirlemeye çalışmışlardır. Nispeten küçük kapasiteye sahip filonun çözümü için hibrid genetik algoritma geliştirilmiş, algoritma performansı yaklaşımın fizibilitesi test edilmiştir. Zachariadis ve ark. (2009) müşterilerin teslimat ve toplama taleplerini karşılayacak optimal araç rotalarının belirlenmesini amaçlayan EZTDARP çözümü için yerel arama ve tabu arama algoritmalarının sentezlenmesiyle oluşan bir melez meta sezgisel algoritma oluşturmuşlardır. Gajpal ve Abad (2009) karınca kolonisi algoritması geliştirmişlerdir. Algoritmada en yakın yol metodu ile başlangıç çözüm oluşturulmuş, yerel arama prosedürü her bir karınca çözümü üzerinde uygulanmıştır. Mingyong ve Erbao (2010) çalışmalarında eş zamanlı topla- dağıt problemine zaman penceresi kısıtı ilave ederek problemi ele almışlar ve karışık tamsayılı programlama modeli oluşturmuşlardır. Problem çözümü için geliştirilmiş diferansiyel evrim algoritması önerilmiştir. Algoritmada başlangıç popülasyonu oluşturmak için roman ondalıklı kodlama benimsenmiştir. Mutasyon aşamasında doğal sayı kodlama metodunu temel alan tamsayılı sıra kriteri kullanılmış, cezalandırma tekniği ile olursuz çözümlerin oluşması engellenmiştir. Zachariadis ve ark. (2010) EZTDARP yönelik yüksek kalite çözüm oluşturabilmek için adapte edilebilir hafıza metodolojisi çerçevesinde çözüme gitmişlerdir. Önerilen metodolojide çeşitli çözüm uzaylarına ulaşabilmek için sistematik olarak rotalama bilgisini artırıcı yenilikçi bellek mekanizması kullanılmıştır. Oluşturulan meta sezgisel algoritma literatürde yer alan örnek veri setlerinde test edilmiştir. Subramanian ve ark. (2010) değişken komşu iniş algoritması ile rastgele komşu sıralama algoritmalarını entegre ederek çoklu başlama sezgisel algoritması geliştirmişlerdir. Çatay (2010) başlangıç çözümünü en yakın komşu arama algoritması ile oluşturmuştur. Tasarruf temelli fonksiyon ve feromon güncelleme kurallarını geliştirerek problem çözümü için karınca kolonisi algoritmasını uygulamıştır. Çetin ve Gencer (2010) zaman pencereli heterojen filoya sahip EZTDARP' ele almışlardır. Minimum maliyetle ana bir depodan farklı noktalardaki müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerini karşılayacak uygun araç filosunu ve araçların rotalarını bulmayı amaçlayan problemin çözümü için karar destek sistemi

oluşturmuşlardır. Fan (2011) zaman kısıtlı EZTDARP için müşteri memnuniyeti göz önüne alarak toplam bekleme zamanlarının minimizasyonu, kat edilen toplam mesafeye bağlı maliyetin azaltılması ve toplam müşteri memnuniyetinin artırılması hedefleyerek yeni bir model önermiştir. Önerilen modelin başlangıç çözümü en ucuz ekleme metodu kullanılarak elde edilmiş tabu arama algoritması ile çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Subramanian ve ark. (2011) dal-kesme algoritması geliştirerek kesin çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Zachariadis ve Kiranoudis (2011) çeşitlilik için özel tabu arama kriterleri kullanılarak yerel arama algoritması geliştirmişlerdir. Tasan ve Gen (2012) genetik algoritma yaklaşımı önermişlerdir. Zhang ve ark. (2012) stokastik seyahat süresine dayalı EZTDARP yönelik dağınık arama metodu ve genetik algoritma geliştirmişlerdir. Dağınık arama yaklaşımına performans olarak karşılaştırma yapabilmek amacıyla genetik algoritma kullanarak sonuçların etkililiği test edilmiştir. Wang ve Chen (2012) EZTDARP'ye zaman penceresi kısıtı eklemişlerdir. Problem çözüm prosedürünü hızlandırmak için en ucuz ekleme metodunu kullanarak genetik algoritma yaklaşımını önermişlerdir. Cruz ve ark. (2012) EZTDARP'nin kompleks yapısından dolayı problem çözümü için Genvns-ts-cl-pr isimli bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmada en ucuz yerleştirme, çok yönlü en ucuz yerleştirme, değişken komşu arama, değişken komşu iniş ve yeniden yol arama ve tabu arama algoritmaları sentezlenerek yeni bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Goksal ve ark. (2013) parçacık sürü optimizasyonu temelli sezgisel çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Geliştirilen algoritmada yerel arama, değişken komşu iniş algoritması ile yapılmış sürü çeşitliliği tavlama benzetimine benzer bir strateji ile korunmuştur. Literatürde yer alan kıyaslama problemi örnekleri ile önerilen parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının etkililiği test edilmiştir. Liu ve ark. (2013) çalışmalarında Fransa'da faaliyet gösteren, evde sağlık bakımını sağlayan bir işletmenin; laboratuvar, hastane, hasta arasındaki malzeme dağıtımı ve teslimatının planlanmasını ele almışlardır. Probleme zaman kısıtı ve karşılanması istenen talepler eklenerek yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Problemin çözümü için genetik algoritma ve tabu arama algoritması kullanılmıştır. Günther ve ark. (2015) zaman kısıtlı EZTDARP' ele almışlardır. Problemin çözümü için pertürbasyon temelli değişken komşu arama algoritması önerilmiştir. Klasik kurtarma algoritması başlangıç çözümü oluşturmak için kullanılmış, değişken komşu

algoritması ile bulunan başlangıç çözümü geliştirilmiştir. Pertürbasyon mekanizması lokal minimum noktalarından kaçmak için uygulanmıştır. Wang ve ark. (2015) zaman pencereli EZTDARP ele almışlar ve problem çözümü için paralel tavlama benzetimi algoritmasını önermişlerdir. Avcı ve Topaloglu (2016) orijinal yapısı homojen filolu olan EZTDARP araç filolarının heterojen olduğunu varsayarak ele almışlardır. Problemin çözümü için tabu araması ile yerel arama algoritmaları entegre haline getirilerek melez meta sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritma rastsal olarak oluşturulmuş problem örnekleri üzerinde uygulanmıştır. Kalaycı ve Kaya (2016) karınca kolonisi algoritmasına dayalı değişken komşu arama algoritmasını geliştirmişlerdir. Geliştirilen algortimada karıncaların yerine değişken arama algoritması tarafından feromon serbest bırakılarak, karıncaların pertürbasyon mekanizmalarına bağlı feromon bilgisinin kullanımı sağlanır. Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de literatür araştırması özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Literatür araştırması

Yazarlar	Yıl	Çalışma	Yöntem
Min	1989	EZTDARP	Önce kümele sonra rotala
Dethloff	2001	EZTDARP	Tur kurucu sezgisel
Crispim ve Brandao	2005	EZTDARP	Değişken komşu iniş, tabu arama
Nagy ve Salhi	2005	EZTDARP	Farklı fizibilitedeki sezgiseller
Montane ve Galvao	2006	EZTDARP	Uzun dönemli hafızalı tabu arama
Ropke ve Pisinger	2006	ZPEZTDARP	Büyük komşuluk arama
Chen	2006	EZTDARP	Tavlama benzetimi, değişken komşu iniş
Bianchessi ve Righini	2007	EZTDARP	Yerel arama, tabu arama
Erbao ve ark.	2008	ZPEZTDARP	Diferansiyel evrim , genetik algoritma
Ai ve Kachitvichyanukul	2009	EZTDARP	Kuş sürüsü
Karlaftis ve ark.	2009	EZTDARP	Genetik algoritma
Zachariadis ve ark.	2009	EZTDARP	Yerel arama, tabu arama
Gajpal ve Abad	2009	EZTDARP	En kısa yol, karınca kolonisi algoritması
Mingyong ve Erbao	2010	ZPEZTDARP	Diferansiyel evrim
Zachariadis ve ark.	2010	EZTDARP	Adapte edilebilir hafıza metodolojisi
Subramanian ve ark	2010	EZTDARP	Değişken komşu iniş, rasgele komşu sıralama
Çatay	2010	EZTDARP	Karınca kolonisi algoritması
Fan	2011	EZTDARP	En ucuz ekleme, tabu araması
Subramanian ve ark.	2011	EZTDARP	Dal kesme algoritması

Tablo 3.2. Literatür araştırması (devam)

Yazarlar	Yıl	Çalışma	Yöntem
Zachariadis ve Kiranoudis	2011	EZTDARP	Yerel arama
Tasan ve Gen	2012	EZTDARP	Genetik algoritma
Zhang ve ark.	2012	Stokastik zamanlı EZTDARP	Genetik algoritma, dağınık arama
Wang ve Chen	2012	ZPEZTDARP	En ucuz ekleme, genetik algoritma
Goksal ve ark.	2013	EZTDARP	Parçacık sürü optimizasyonu
Günther ve ark.	2015	ZPEZTDARP	Değişken komşu arama
Wang ve ark.	2015	ZPEZTDARP	Paralel tavlama benzetimi
Avci ve Topaloglu	2016	Heterojen EZTDARP	Tabu arama, yerel arama
Kalayci ve Kaya	2016	EZTDARP	Değişken komşu arama, KKA

BÖLÜM 4. ÖNERİLEN ÇÖZÜM AŞAMALARI

Bu bölümde ele aldığımız eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi için önerilen çözüm aşamaları özetlenmiştir. Tablo 4.1.'de önerilen çözüm aşamaları yer almaktadır.

Tablo 4.1. Önerilen çözüm aşamaları

Aşama	Yapılan İşlemler
1	Verilerin toplanması
2	Geliştirilen sezgisel algoritma
3	İstatistiksel analiz

1.Aşama:

Problemin çözümü için ihtiyaç duyulan veriler toplanmıştır. Gerekli olan veriler aşağıdaki gibidir:

- Hizmet edilecek müşteri bilgisi
- Müşterilerin depoya ve birbirlerine olan uzaklıklarını gösteren mesafe matrisi
- Her bir müşteriye dağıtılacak ve müşterilerden toplanacak yük miktar verisi

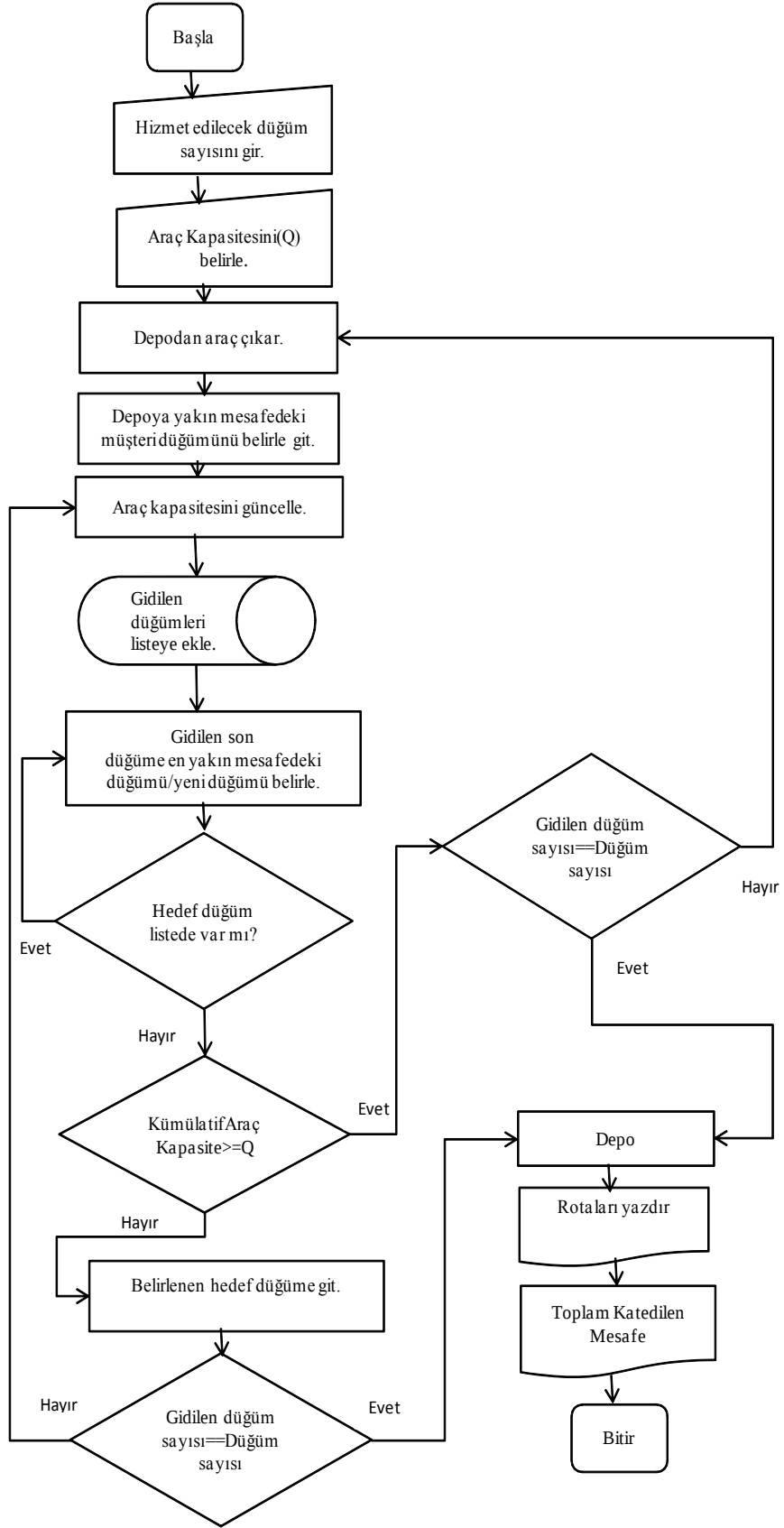
2. Aşama:

Problem çözümü için geliştirilen yöntem detaylı anlatılmıştır. Çözüm için klasik (kurucu) sezgisel algoritma sınıfında yer alan en kısa yol yöntemi ele alınmıştır. Algoritma adımlarının anlaşılabilirliğinin yüksek olması, problem için olurlu çözümü kısa bir süre içinde ürettiği için çalışmada bu yöntem tercih edilmiştir. Çözüm yöntemi C# programlama diliyle geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın işlem adımları Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Geliştirilen sezgisel algoritmanın adımları

Adım	Yapılan işlemler
1	Gidilecek müşteri sayısı ve araç kapasitesi değişkenleri belirlenir. Her müşterinin merkez depoya olan uzaklıkları değerlendirilir.
2	Merkez depoya en yakın mesafedeki müşteri tespit edilerek, aracın rotasına müşteri atanır.
3	Araç kapasitesi güncellenir.
4	Dağıtım ve toplama talebi karşılanan müşteri bir listeye kaydedilir.
5	Gidilen son müşteriye en yakın mesafedeki müşteri/yeni müşteri, müşterilerin birbirlerine göre uzaklıklarından tespit edilir.
6	Tespit edilen müşteri daha önce ziyaret edilmiş müşterilerin kaydedildiği liste içerisinde olup olmadığı sorgulanır.
7	Liste içerisinde yer almıyorsa, hedef müşterinin dağıtım ve toplama yüküyle birlikte aracın toplam yükü, araç kapasite koşulunu sağlayıp sağlamadığı sorgulanır.
8	Kapasite koşulu sağlanıyor ise adım 5'te tespit edilen müşteri aracın rotasına atanır. Adım 3'e gidilerek işlem basamakları izlenir.
9	Araç kapasite koşulu sağlanmıyorsa depodan yeni araç çıkarılır. Adım 2'ye gidilerek işlem basamakları tekrarlanır.
10	Tespit edilen müşteri, daha önce ziyaret edilmiş müşterilerin kaydedildiği liste içerisinde yer alıyorsa adım 5'e gidilir. İşlem basamakları izlenir.
11	Gidilen müşteri sayısı, müşteri sayısı değişkenine eşit ise algoritma sonlanır. Her aracın izlediği rota, kat ettiği mesafe ve toplam gidilen mesafe bilgisi rapor edilir.

Geliştirilen sezgisel algoritmanın akış diyagramı Şekil 4.1.'de yer almaktadır.



Şekil 4.1. Geliştirilen sezgisel algoritmanın akış diyagramı

Geliştirilen algoritmada karar verici noktalar şu şekildedir:

- Her bir düğümün belirlenmesinde, noktaların birbirlerine ve depoya olan uzaklıklarından en yakın mesafe sorgusu yapılır. Gidilecek hedef müşteri listesi içerisinde en kısa mesafedeki düğüm belirlenir.
- Gidilecek bir sonraki müşterinin dağıtılacak ve toplanacak miktarına bağlı olarak araç kapasitesinin uygunluğu sorgulanır.
- Gidilen müşterilere bir daha uğramamak için, hizmet verilen müşteri indekslerini kaydeden liste içerisinde hedef gidilecek müşteri kontrolü sağlanır.
- Kapasite yetersiz olmasına bağlı olarak yeni bir araç depodan çıkarak kalan müşteri listesi içerisinde en yakın mesafedeki nokta sorgusu yapılır.
- Tüm müşterilere hizmetin sağlanıp sağlanmadığı kontrolü yapılır.

3. Aşama:

Bağımlı değişken üzerinde birden fazla bağımsız değişkenin etkisi ölçülmek için, problem çözüm sonuçlarına regresyon analizi uygulanmıştır. Sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 5. UYGULAMA

Tez kapsamında ele alınan problem, merkezi bir depodan günlük şişe süt sevkiyatı yapacak olan bir işletmenin müşterilerine talepleri doğrultusunda sevkiyatın yapılmasını, müşterilerden eş zamanlı toplama işlemini yaparak depoya sevkiyatın gerçekleştirilmesini içermektedir. Merkez depodan 76 müşteriye hizmet sağlanacaktır. Ele aldığımız problemde, müşteriler hem dağıtım hem toplama müşterisidir. Bu durum klasik kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin aksine, kapasite kontrolünü sağlamayı oldukça zorlaştırmaktadır. Araç kapasitelerinin verimli kullanıldığı bir rotalama sistemine ihtiyaç vardır. Araç yükleme kapasitelerinin verimli kullanılması, toplamda kullanılacak araç sayısının azalmasında önemli bir etkidir. Uygulamada, depoda yer alan her bir aracın kapasitesi aşılmadan minimum sayıda araç kullanımı ile tüm müşterilerin hizmetini karşılayarak kat edilen mesafeyi minimize edecek şekilde araç rotalarının oluşturulması hedeflenmiştir. Minimum sayıda araç kullanımı ile kat edilen yol minimize edilmeye çalışılır. Yapılan çalışmada işletmenin maksimum verimle araç kullanımı ile müşteri taleplerini karşılayacak dağıtım ve toplama rotalarının oluşturulması problemine çözüm getirilecektir. Bu şekilde dağıtım maliyeti de minimuma indirgenmiş olacaktır.

Buna göre:

- Her aracın rotası, merkezi depodan başlayıp, merkezi depoda sonlanmalıdır.
- Her bir araç sadece bir rota üzerinden faaliyet göstermelidir. Her müşteri yalnız bir tur üzerinde sadece bir defa ziyaret edilmelidir.
- Her müşteri hem ürün talebinde, hem de ürün arzında bulunur ve araç müşteriye uğradığında bu işlemler eş zamanlı olarak yapılır.

- Her rotada müşterilerden toplanacak toplam yük miktarı, müşterilere dağıtılacak yük miktarı, her müşteride yapılan dağıtım toplama sonrasında aracın fiili yükü aracın kapasitesini aşmamalıdır.
- Her bir rotada gidilecek olan müşterilerin; dağıtım talepleri ile merkezi depoya sevk edilecek toplama talepleri tamamıyla karşılanmalıdır.
- Müşterilere teslim edilecek ve müşteriden toplanacak ürünler, aynı birim cinsinden ifade edilebilecek aynı tip ürünlerdir.

Problemin varsayımları:

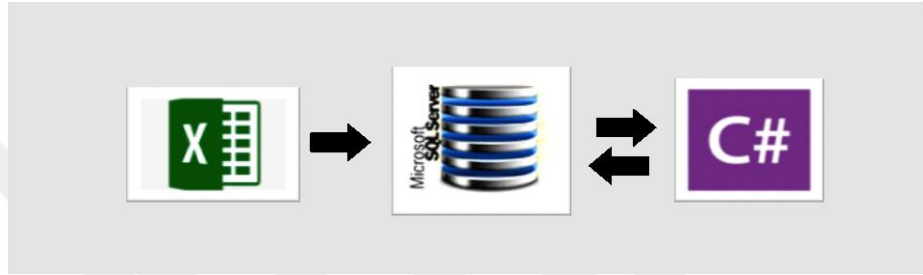
- Hizmet tek bir merkezi depodan sağlanmaktadır.
- Araçlar rotalara başlamadan önce müşterilere dağıtılacak ve müşterilerden toplanacak miktarlar bilinmektedir.
- Araçlar depoda park halindedir. Özdeş kapasitede, aynı tip araçlar kullanılmaktadır. Taşıma işlemlerini yapacak yeterli sayıda araç depoda yer almaktadır.
- Yükleme ve dağıtım yapılan yükler istiflenme sırasında araç kapasitesini tam verimle kullanmaya engel teşkil olmamaktadır.
- Trafik durumu, yol koşulları, araç arızası, sürücülerden kaynaklanabilecek olumsuz durumların olmadığı varsayılmaktadır.

Uygulama, 4. bölümde belirtilen önerilen çözüm yöntemi aşamalarına göre anlatılacaktır:

1. Aşama:

Problemde kullanılacak müşterilere ait uzaklık verisi EK 3'te gösterilmiştir. Burada algoritmanın içerisinde işlem kolaylığı olması açısından işletmeden başlanarak müşterilere 1-77 arası sıra numaraları verilmiştir. Uygulamada müşterilere tamsayı olarak 3-9 koli arasında değişen toplamda 428 koli ürün dağıtımı ve müşterilerden tamsayı olarak 1-8 koli arasında değişen toplamda 296 koli ürün toplama işlemi gerçekleştirilecektir.

Excel’de bulunan düğümlerin depoya ve birbirlerine ait uzaklıklarını gösteren [77x77]’lik mesafe matrisi ile her bir müşteriye dağıtılacak ve müşterilerden toplanacak yük miktar verisi, verilerin işleme hızını arttırmak ve verilerin Visual Studio C# programlama diline kolay aktarımını sağlayabilmek için 2014 Microsoft SQL Server Management Studio kullanılmıştır. Ayrıca verilerin bütünlüğü ve kullanımı açısından veritabanının avantajlarından faydalanılmıştır. Şekil 5.1.’de verilerin aktarımında kullanılan programlar ve programlar arasındaki entegrasyon resmedilmiştir.



Şekil 5.1. Programlar arası veri aktarımı

Excel’den Sql Server’a veri aktarımı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen algoritma için kullanılacak veriler Sql Server tablolar üzerinden gerçekleşecektir. Sql tabloları maksimum 220 sütun limitine sahiptir. Dolayısıyla tek depolu sistem için en fazla 220 müşteriye ait veri Sql Server tablosunda saklanabilir. Hizmet edilecek müşteri sayısı ve araç kapasite bilgisi algoritma için oluşturulan arayüzde kullanıcıdan alınmaktadır.

2. Aşama:

Problem oluşturulan farklı senaryolara göre geliştirilen algoritmanın işlem adımlarına göre çözülmüştür. Uygulamada araç yükleme kapasitesine göre toplam gidilen mesafede oluşan değişkenlik ele alınmıştır. Bunun için özdeş özelliklere sahip farklı taşıma kapasitelerindeki araçlar kullanıldığı durumlar için senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolar Tablo 5.1.’de yer almaktadır. Araç kapasitesi 50, 80 ve 100 koli olan araçlar kullanıldığında oluşan rota bilgisi ve kat edilen mesafe verileri elde edilmiştir.

Tablo 5.1. Senaryolar

Senaryolar	Müşteri sayısı	Kapasite
Problem 1	76	50
Problem 2	76	80
Problem 3	76	100
Problem 4	152	50

Problem 1:

76 müşterinin dağıtım ve toplama taleplerini karşılayarak, minimum sayıda araç kullanımı ile kat edilen toplam mesafeyi en küçükleyecek araç rotalarının oluşturulması hedeflenmiştir. Aynı tip ve özellikte kapasiteleri 50 koli olan araçlar kullanılmıştır.

Geliştirilen algoritma ile toplam gidilen mesafeyi en küçükleyecek araç rotalarının belirlenmesinde izlenen işlem basamakları şu şekildedir:

Adım 1: Algoritmanın başlangıcında konumu depo olan birinci araç aktif edilir. 76 müşterinin depoya olan uzaklıkları değerlendirilir, depodan çıkan araç depoya en yakın mesafedeki müşteri indeksine gider. Araç kapasitesi müşteriye dağıtılacak ve müşteriden alınacak miktara göre güncellenir. Araç önce 500m. uzaklıktaki 3 nolu müşteriye gitmiştir. 3. müşteride 7 koli dağıtım, 5 koli toplama yaparak, araç güncel kapasitesi 48 koli olmuştur. Ziyaret edilen müşteriye bir kez daha uğranılmaması için müşteri listeye kaydedilir. $G=\{3\}$

Adım 2: Bir sonraki gidilecek nokta daha önce hizmet edilmemiş, araç kapasitesini aşmayacak şekilde en yakın mesafedeki müşteridir. Burada müşterilerin birbirleriyle olan uzaklıkları değerlendirilir. 3 numaralı müşteri ile ziyaret edilmemiş 75 müşterinin her biri arasında arasındaki uzaklık hesaplanır, kendisine en yakın uzaklıktaki 36 numaralı müşteri tespit edilmiştir. 36 numaralı müşterinin 5 koli dağıtım, 2 koli toplama talebi sonrası araç kapasitesi 45 kolidir. $G=\{3, 36\}$

Adım 3: Gidilecek hedef müşterinin dağıtım ve toplama yükü ile aracın mevcut yük toplamı araç kapasitesini aşmadığı sürece; ziyaret edilmemiş müşteri kümesinden en yakın mesafedeki müşteri seçilir.

Adım 4: Aracın izleyeceği rotada en kısa mesafeli müşterinin dağıtım ve toplama talebi karşılandığı durumdaki araç fiili kapasitesi; araç yükleme kapasitesini aşıyorsa, yeni bir hedef müşteri belirlenir. Her belirlenen hedef müşterinin araç yük durumuyla uygunluğu ve daha önce ziyaret edilmiş müşteri olup olmadığı kontrolü yapılır. Adım 1, adım 2, adım 3 ve adım 4'teki gibi hareket edilir. 1. Aracın izlediği rota bilgisi {1, 36, 23, 46, 20, 17, 18, 45} olur.

Adım 5: Belirlenen sayıda müşterilerin tamamına hizmet sağlanmamış ve araç kapasitesi aşılmış ise kapasitesi dolan araç, hizmet edilen son müşteriden depoya gider. 1. aracın 45 numaralı müşteriden sonra gideceği en kısa mesafeli müşteri/müşteriler araç mevcut kapasitesini aştığı için ziyaret ettiği en son müşteriden depoya dönmüştür. Hizmet edilmesi gereken 58 müşteri vardır. Dolayısıyla 76 müşterinin tamamına hizmet sağlanmadığı için depodan yeni bir araç çıkarak depoya en yakın mesafedeki ziyaret edilmemiş müşteri kümesi değerlendirilir. 2. aracın rotası da izlenen adımlardaki kriterlere göre oluşturulur.

Adım 6: Tüm müşterilere hizmet sağlanana kadar yukarıdaki işlem basamakları devam eder. Rotalara atanmayan müşteri kalmadığında algoritma sonlanır. Kullanılan araçların rota, mesafe bilgileri elde edilir.

Araç kapasitesi 50 koli olan ve 76 müşteriden oluşan probleme yönelik olarak her bir aracın faaliyet gösterdiği rotalar Şekil 5.2.'deki gibidir. Müşteri sayısındaki değer 78 olarak girilmesinin sebebi depo ve sanal depo indeks değerlerinden kaynaklanmaktadır. Araç kapasitesi 50 birim (koli) alındığında tüm müşterilere hizmetin sağlanabilmesi için 9 adet araç kullanılmıştır. Geliştirilen metot için oluşturulan arayüzdeki listelerde her bir aracın gittiği müşteri numarası, gittiği hedefin mesafesi, müşteriye ait teslimat ve alınacak iade miktarı, araç yük durumu eş zamanlı olarak görülmektedir. Her aracın kümülatif artan güzergah mesafeleri,

araçların ayrı ayrı toplam kat ettikleri mesafe bilgisi ve tüm araçların kat ettiği toplam mesafelerine yönelik arayüz ekran görüntüleri EK 1 ve EK 2’de verilmiştir.

Şekil 5.2. Rota bilgisi

Araçların rota bilgisi, her aracın kat ettiği mesafe ve toplam gidilen mesafe bilgisi Tablo 5.2. ve Tablo 5.3.’de yer almaktadır. Belirlenen araç kapasitesine bağlı olarak 76 müşteriye hizmetin sağlanabilmesi için 9 adet araca ihtiyaç vardır. Araçlar toplam 91428 metre mesafe gitmişlerdir.

Tablo 5.2. Kapasite 50 birim için problem çözümü

Kapasite: 50 koli; müşteri sayısı:76		
Araç No	Araç Rota Bilgisi	Kat edilen Mesafe(m)
1	Depo-3-36-23-46-20-17-18-45-Depo	6579
2	Depo-64-58-61-59-62-63-60-Depo	11344
3	Depo-65-49-50-51-53-54-52-Depo	8840
4	Depo-69-71-67-73-76-31-33-19-Depo	9890
5	Depo-5-4-6-2-1-55-30-56-Depo	9307

Tablo 5.3. Kapasite 50 birim için problem çözümü (devam)

Kapasite: 50 koli; müşteri sayısı:76		
Araç No	Araç Rota Bilgisi	Kat edilen Mesafe(m)
6	Depo-70-11-10-12-66-68-28-39-25-38-Depo	11450
7	Depo-57-22-42-41-44-21-16-48-27-40-15-Depo	9759
8	Depo-74-14-13-24-47-43-26-29-34-37-Depo	10799
9	Depo-32-35-72-75-8-9-7-Depo	13460
Toplam kat edilen mesafe:		91428

Problem 2:

76 müşteriye hizmet sağlayarak, toplam mesafeyi en küçükleyecek araç rotalarının oluşturulması için aynı tip ve özellikte kapasitesi 80 koli olan araçlar kullanılmıştır. Problem 2'e ait çözüm sonuçları Tablo 5.4.'de yer almaktadır.

Tablo 5.4. Kapasite 80 birim için problem çözümü

Kapasite: 80 koli; müşteri sayısı:76		
Araç No	Araç Rota Bilgisi	Kat edilen Mesafe(m)
1	Depo-3-36-23-46-20-17-18-45-42-22-41-44-38-25-28-39-Depo	6949
2	Depo-64-58-61-59-62-63-60-65-49-50-51-53-Depo	12260
3	Depo-69-71-67-73-76-31-33-19-29-26-15-47-43-48-27-40-Depo	10790
4	Depo-5-4-6-2-1-55-30-56-52-57-54-21-16-Depo	11598
5	Depo-70-11-10-12-66-68-14-74-13-24-34-37-32-35-72-75-Depo	12530
6	Depo-8-9-7-Depo	11770
Toplam kat edilen mesafe:		65897

Problem 3:

76 müşteriye hizmet sağlayarak, toplam mesafeyi en küçükleyecek araç rotalarının oluşturulması için aynı tip ve özellikte kapasitesi 100 koli olan araçlar kullanılmıştır. Problem 3'e ait çözüm sonuçları Tablo 5.5.'de yer almaktadır.

Tablo 5.5. Kapasite 100 birim için problem çözümü

Kapasite: 100 koli; müşteri sayısı:76		
Araç No	Araç Rota Bilgisi	Kat edilen Mesafe(m)
1	Depo-3-36-23-46-20-17-18-45-42-22-41-44-38-25-28-39-31-33-19-Depo	7729
2	Depo-64-58-61-59-62-63-60-65-49-50-51-53-54-52-Depo	12880
3	Depo-69-71-67-73-76-74-14-13-24-47-15-43-48-27-40-16-30-56-Depo	10259
4	Depo-5-4-6-2-1-55-57-21-26-29-34-37-32-35-72-75-8-9-Depo	14997
5	Depo-70-11-10-12-66-68-7-Depo	12450
Toplam kat edilen mesafe:		58315

Taşımayı gerçekleştirecek araçların kapasite miktarlarının en iyi şekilde belirlenmesi, mesafenin en küçüklenmesinde son derece önemlidir. 50, 80 ve 100 birimlik araçlar kullanıldığında, kapasiteye bağlı kullanılan araç sayısı ve araçların kat ettikleri toplam mesafelerde oluşan farklılık Tablo 5.2., Tablo 5.3., Tablo 5.4. ve Tablo 5.5.'de görülmektedir. Araçların faaliyet göstereceği rotaları belirlerken göz önünde bulundurduğumuz unsurlardan biri araç kapasitesidir. Dolayısıyla algoritmadaki karar verici diğer unsurlara bağlı, araç kapasitesi aşıldığı durumda hizmet edilen son müşteriden araç depoya gönderilmektedir. Kalan müşterilere hizmet sağlamak için depodan gidilecek hedef müşteriler için yeni bir araç yola çıkmaktadır. Araçların kapasitesinin yetersiz kaldığı durumda mevcut aracın depoya dönmesi ve yeni bir aracın depodan çıkmasından oluşan mesafeler toplam kat edilen mesafe miktarının artmasına neden olmaktadır. Araç kapasitesi ile toplam mesafe arasındaki ilişki 3. aşamada ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Problem 4:

Geliştirilen algoritmanın performansını daha iyi test edebilmek için 152 müşteriden oluşan, problem ele alınmıştır. Müşterilere tamsayı olarak 3-9 koli arasında değişen, varyansı 3,064 olan toplamda 850 koli ürün dağıtımı yapılmıştır ve müşterilerden tamsayı olarak 1-8 koli arasında değişen, varyansı 3,189 olan toplamda 585 koli ürün toplanmıştır. Problemden kullanılacak müşterilere ait uzaklık verisi EK 4'te gösterilmiştir. Aynı tip ve özellikte kapasitesi 50 koli olan araçlar kullanılmıştır. Problem 4'e ait çözüm sonuçları Tablo 5.6.'da yer almaktadır.

Tablo 5.6. Problemin 152 müşteri için çözümü

Kapasite: 50 koli; müşteri sayısı:152		
Araç No	Araç Rota Bilgisi	Kat edilen Mesafe(m)
1	Depo-3-36-23-46-20-17-18-45-Depo	6579
2	Depo-64-58-83-120-1-4-5-2-Depo	7859
3	Depo-60-63-82-149-129-25-28-39-31-33-Depo	8743
4	Depo-65-119-121-91-132-10-11-66-Depo	9439
5	Depo-140-146-142-137-103-48-27-40-16-Depo	10356
6	Depo-134-12-130-117-80-110-98-84-Depo	10775
7	Depo-59-61-62-118-92-73-67-71-Depo	9249
8	Depo-135-97-72-75-14-74-Depo	9147
9	Depo-138-126-131-124-100-99-81-128-Depo	10892
10	Depo-141-6-69-70-68-125-87-148-86-Depo	11266
11	Depo-49-50-51-53-54-52-Depo	8470
12	Depo-139-108-113-22-42-41-44-38-21-43-Depo	10727
13	Depo-136-123-56-30-57-55-19-29-26-Depo	10606
14	Depo-145-88-127-101-93-94-104-32-Depo	12484
15	Depo-147-112-102-78-152-37-34-47-15-24-Depo	11986
16	Depo-77-8-9-144-151-111-89-35-13-Depo	13176
17	Depo-133-107-122-150-115-79-76-109-105-85-Depo	15624
18	Depo-106-114-95-116-96-90-143-7-Depo	16697
Toplam kat edilen mesafe:		194075

3. Aşama:

Bu aşamada regresyon analizi ile bağımlı değişken üzerinde birden fazla bağımsız değişkenin toplu etkisi araştırılarak, değişkenler arasında neden-sonuç ilişkisi kurulmuştur.

İşletmeler için minimum maliyet ile araç rotalarının planlaması yapılırken; dağıtım ve toplama yapılacak coğrafi alanın büyüklüğü ve araç yükleme kapasitesi dikkate alınmaktadır. Toplam gidilen mesafeyi en küçükleyecek olan araç rotalarının oluşturulması, hizmet edilen müşteri sayısı ve kullanılan aracın kapasitesine göre değişkenlik göstermektedir. Regresyon analizi ile taşıma maliyetinin oluşmasında en belirleyici unsur olan toplam kat edilen mesafe üzerinde, hizmet edilecek müşteri sayısı ve araç kapasitesi faktörlerinin etkisi ölçülmüştür. Böylece amaç fonksiyonu çözüm değeri, parametrelere bağlı olarak kolayca tahmin edilebilecektir.

Farklı yükleme kapasitesine sahip araçlar ile rotalama faaliyetini planlamak istediğimizde, toplam mesafe sonucunu denklem ile kolaylıkla elde edebiliriz. 70 birimlik bir kapasiteye sahip araçlar yerine 100 birimlik kapasiteye sahip aynı ya da farklı büyüklükteki müşteri kümeleri için, toplam gidilecek mesafeyi denklemden kolaylıkla ve çok kısa bir süre içinde hesaplarız. Pratik hayatta da farklı senaryoları ele alarak, değerlendirdiğimiz değişkenlere göre kolaylıkla karşılaştırma yapabiliriz. Problemi etkileyen bütün alternatif faktörlerin sonuçlarını, rasyonel çerçevede tahmin etmiş oluruz.

Regresyon analizi ile araçların yükleme kapasitesi ile hizmet edilecek müşteri sayısı değişkenlerinin, toplam gidilen mesafe değişkeni üzerinde etkisinin olup olmadığının belirlenmesi ve eğer değişkenlerin etkisi var ise büyüklüğünün ölçülmesi hedeflenmiştir. Regresyon analizine yönelik kurulan hipotez ise şu şekildedir:

- H_0 : Müşteri sayısı ile araç kapasitesi bağımsız değişkenlerinin, toplam mesafe bağımlı değişkeni üzerinde etkisi yoktur.
- H_a : En az bir bağımsız değişkenin, bağımlı değişken üzerinde etkisi vardır.

Regresyon analizi Tablo 5.7. ve Tablo 5.8.'deki çözüm sonuçlarına uygulanmıştır. 20 ile 78 düğüm arasında düzgün artış gösteren müşteri düğümlerinden oluşan her bir problem seti için araç rotaları oluşturularak, araçların toplam kat ettikleri mesafeler hesaplanmıştır. Farklı yükleme kapasitelerine sahip araçların kullanılması durumunda; kullanılan araç sayısı ve araçların toplam gittikleri mesafelerdeki değişkenlik Tablo 5.7. ve Tablo 5.8.'de gösterilmiştir. Tablo 5.7. ve Tablo 5.8.'de N hizmet sağlanacak müşteri sayısını, Q homojen filo içerisindeki her aracın kapasitesini, k toplam kullanılan araç sayısını, $\sum d_i$ müşterilere dağıtılacak toplam yük miktarını, $\sum p_i$ müşterilerden alınacak (her bir müşteriden depoya sevk edilecek) olan toplam yük miktarını göstermektedir. Farklı büyüklükteki müşteri verileri için elde edilen sonuçlar Tablo 5.7. ve Tablo 5.8.'de özetlenmiştir. Problem sonuçlarının regresyon ile analizinin yapılabilmesi için verilerin normal dağılım özelliğini göstermesi gerekmektedir. Bunun için örneklem büyüklüğü 90 olan veri seti değerlendirilmiştir.

Tablo 5.7. Çözümlerin sonuçları

N	Q	k	Toplam Mesafe	$\sum d_i$	$\sum p_i$	N	Q	k	Toplam Mesafe	$\sum d_i$	$\sum p_i$
20	50	3	31040	114	73	50	50	6	58866	256	161
20	80	2	21919	114	73	50	80	4	42486	256	161
20	100	2	25679	114	73	50	100	3	33377	256	161
22	50	3	31728	124	76	52	50	6	58757	270	173
22	80	2	21069	124	76	52	80	4	40487	270	173
22	100	2	22209	124	76	52	100	3	35107	270	173
24	50	3	32118	138	86	54	50	6	59026	284	184
24	80	2	21290	138	86	54	80	4	42886	284	184
24	100	2	20749	138	86	54	100	3	35186	284	184
26	50	4	32938	146	91	56	50	7	67338	298	194
26	80	2	21898	146	91	56	80	4	42207	298	194
26	100	2	21428	146	91	56	100	3	34627	298	194
28	50	4	42588	156	94	58	50	7	67305	308	202
28	80	2	22977	156	94	58	80	4	43536	308	202
28	100	2	21838	156	94	58	100	4	43807	308	202
30	50	4	40867	164	100	60	50	7	67374	320	211
30	80	3	34057	164	100	60	80	5	43375	320	211
30	100	2	23628	164	100	60	100	4	43947	320	211
32	50	4	40087	172	105	62	50	7	67606	334	222
32	80	3	32997	172	105	62	80	5	52627	334	222
32	100	2	22488	172	105	62	100	4	43238	334	222
34	50	4	40076	182	111	64	50	8	74726	346	231
34	80	3	34028	182	111	64	80	5	52435	346	231
34	100	2	24988	182	111	64	100	4	43857	346	231
36	50	4	40046	190	114	66	50	8	78618	360	243
36	80	3	33568	190	114	66	80	5	52938	360	243
36	100	2	25198	190	114	66	100	4	45417	360	243
38	50	5	50586	198	117	68	50	8	81039	370	250
38	80	3	32836	198	117	68	80	5	55585	370	250
38	100	2	25066	198	117	68	100	4	47047	370	250
40	50	5	50216	208	123	70	50	8	81768	384	261
40	80	3	32935	208	123	70	80	5	57716	384	261
40	100	3	25546	208	123	70	100	4	48916	384	261
42	50	5	49997	216	130	72	50	9	88220	396	271
42	80	3	33027	216	130	72	80	5	58216	396	271
42	100	3	35246	216	130	72	100	4	49257	396	271
44	50	5	49175	224	136	74	50	9	91598	404	276
44	80	3	32737	224	136	74	80	6	55798	404	276
44	100	3	33377	224	136	74	100	5	57797	404	276

Tablo 5.8. Çözüm sonuçları (devam)

N	Q	k	Toplam Mesafe	$\sum d_i$	$\sum p_i$	N	Q	k	Toplam Mesafe	$\sum d_i$	$\sum p_i$
46	50	5	48886	234	144	76	50	9	91179	414	284
46	80	3	32557	234	144	76	80	6	68037	414	284
46	100	3	3927	234	144	76	100	5	56906	414	284
48	50	6	48945	242	150	78	50	9	91428	428	296
48	80	4	32476	242	150	78	80	6	65897	428	296
48	100	3	33717	242	150	78	100	5	58315	428	296

Regresyon analizini gerçekleştirebilmek için gerekli olan ön koşulların sağlanmış olması gerekmektedir. Modele dahil edilen tüm bağımsız değişkenlerin ikili karşılaştırılmasında korelasyon katsayısı 0,90'dan küçük olması gerekmektedir. Pearson katsayı değeri -1 ve +1'e yaklaştıkça ilişkinin kuvvetinin arttığını gösterir. Analizin doğru sonuç vermesi, bağımlı değişken üzerinde aynı faktörü ölçmüş olmamak için korelasyon değeri 0,90'dan büyük olan değişkenlerden bir tanesinin analizden çıkarılması gerekmektedir. Tablo 5.9. ve Tablo 5.10.'daki korelasyon analizi sonuçlarına bakıldığında ilişki kuvveti 0,90'dan büyük olan müşteri sayısı-toplam dağıtım miktarı, müşteri sayısı-toplam alacak miktarı; toplam mesafe-kullanılan araç sayısı değişkenlerinden yalnızca bir tanesi alınarak modele dahil edilmiştir. Tüm ön koşullara uygunluğun kontrolü sağlanarak analiz yapılmıştır.

Tablo 5.9. Korelasyon tablosu

Korelasyon							
		musteri sayisi	kapasite	toplam_ mesafe	toplam_ dagitim miktar	kullanilan_arac sayisi	toplam_ alacak miktar
musteri sayisi	Pearson Correlation	1	0,000	,776**	,997**	,722**	,990**
	Sig. (2- tailed)		1,000	,000	,000	,000	,000
	N	90	90	90	90	90	90
kapasite	Pearson Correlation	0,000	1	-,542**	0,000	-,627**	,000
	Sig. (2- tailed)	1,000		,000	1,000	,000	1,000
	N	90	90	90	90	90	90

Tablo 5.10. Korelasyon (devam)

		Korelasyon					
		musteri sayisi	kapasite	toplam_ mesafe	toplam_ dagitim miktar	kullanilan_arac sayisi	toplam_ alacak miktar
toplam_ mesafe	Pearson Correlation	,776**	-,542**	1	,784**	,968**	,786**
	Sig. (2- tailed)	,000	,000		,000	,000	,000
	N	90	90	90	90	90	90
toplam_ dagitim miktar	Pearson Correlation	,997**	0,000	,784**	1	,724**	,998**
	Sig. (2- tailed)	,000	1,000	,000		,000	,000
	N	90	90	90	90	90	90
kullanilan_arac sayisi	Pearson Correlation	,722**	-,627**	,968**	,724**	1	,722**
	Sig. (2- tailed)	,000	,000	,000	,000		,000
	N	90	90	90	90	90	90
toplam_ alacak miktar	Pearson Correlation	,990**	,000	,786**	,998**	,722**	1
	Sig. (2- tailed)	,000	1,000	,000	,000	,000	
	N	90	90	90	90	90	90

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Aralarında istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunan ikili değişkenler Tablo 5.9. ve Tablo 5.10.'da (**) ile gösterilmiştir. $\alpha=0,01$ anlamlılık seviyesinde pearson korelasyon katsayı değerinin anlamlılık değeri $p>\alpha$ olan ikili değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Tablo 5.11. Regresyon analizi model özeti

Özet Tablo ^b					
Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R kare	Tahminlerin standart hatası	Durbin- Watson
1	,946 ^a	,895	,893	6059,10371	2,003

a. Tahmin ediciler: (Sabit), kapasite, musterisayisi;

b. Bağımlı değişken: toplam_mesafe

Tablo 5.11.'de yer alan R değeri bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonu temsil etmektedir. Tablo 5.11.'deki R değeri 0,946 olup toplam mesafe

bağımlı değişkeniyle bağımsız değişkenler arasında pozitif yönlü kuvvetli bir ilişki olduğunu gösterir. R^2 değeri bağımlı değişkendeki varyansın (değişimin) % kaçının bağımsız değişken tarafından açıklandığını ifade etmektedir. Toplam mesafe bağımlı değişkenindeki değişimin, 2 bağımsız değişken tarafından %89 oranında açıklandığı görülmektedir. Başka bir ifade ile araçların toplam gittikleri mesafenin % 89'unun, hizmet edilecek müşteri sayısı ile kullanılan aracın yükleme kapasitesi faktörlerine bağlı olarak şekillendiği anlaşılmaktadır. Ayrıca tahminlerin standart hata değeri, regresyon denkleminden tahmin edilecek bağımlı değişkene ait değer 6059,10 kadar sapma gösterebileceğini göstermektedir.

Tablo 5.12. Anova tablosu

ANOVA ^a					
Model	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık(p)
1 Regression	27243451093,542	2	13621725546,771	371,035	,000 ^b
Residual	3194008184,914	87	36712737,758		
Total	30437459278,456	89			

a. Bağımlı değişken: toplam_mesafe;
b. Tahmin ediciler: (Sabit), kapasite, musterisayisi

Tablo 5.12. anavo tablosunun, F istatistiği anlamlılık değeri $p < 0,0001$ olduğundan H_0 hipotezi red edilerek, en az bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde etkisi olduğu sonucuna varılır. Uygulanan analiz anlamlıdır.

Tablo 5.13. Regresyon analizi katsayılar tablosu

Katsayılar ^a							
Model	Standart olmayan katsayılar		Standardize edilmiş katsayılar		Anlamlılık (p)	Çoklu doğrusallık İstatistiği	
	B	Standart hata	Beta	t		Tolerans	VIF
1 (Sabit)	41339,921	3058,583		13,516	,000		
musteri sayısı	824,107	36,895	,776	22,337	,000	1,000	1,000
kapasite	-484,679	31,083	-,542	-15,593	,000	1,000	1,000

a. Bağımlı değişken: toplam_mesafe

Tablo 5.13. ise, regresyon denklemi için kullanılan regresyon katsayılarını ve bunların anlamlılık düzeylerini vermektedir. Toplam mesafe ile müşteri sayısı ve kapasite arasındaki ilişki t istatistiği anlamlılık değeri $p < 0,0001$ olduğundan istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Beta değeri (standardize edilmiş regresyon katsayısı), her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde tekil etkisini gösterir. Katsayı tablosunda müşteri sayısı değişkeni beta değeri 0,776'dır. Toplam mesafe üzerinde en fazla etkiye sahip faktör olduğu anlaşılmaktadır. Müşteri sayısı değişkeninde meydana gelecek bir standart sapmalık artış, toplam mesafede 0,776 standart sapmalık bir artışa sebep olacaktır. Yine kapasite değişkeninde meydana gelecek bir standart sapmalık artış, toplam mesafe üzerinde 0,542 standart sapmalık negatif yönlü değişime sebep olacaktır.

Katsayılar tablosunda yer alan verilerden toplam mesafenin alabileceği değer aşağıdaki şekilde formüle edilir:

$$\text{Toplam mesafe} = 41339,921 + 824,107 * \text{müşteri sayısı} - 484,679 * \text{kapasite}$$

Oluşan denklem değerlendirilen iki parametreye göre, problemin çözümü olan toplam mesafe değişkeninin değerini nasıl etkilediğini gösterir. Böylece amaç fonksiyonu çözüm değeri, parametrelere bağlı olarak kolayca tahmin edilebilecektir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araç rotalama problemleri depolardan müşterilere, talep edilen ürünlerin araç filoları vasıtasıyla taşınması olarak düşünülebilir. Günümüzde; üretim kaynaklarının azalması, müşterilerin bilinçlenmesi, geri dönüşüm faaliyetlerinin işletmeler üzerinde ekonomik getirisinin olması, yasal ve çevresel sorumluluk gibi birçok faktöre bağlı olarak araç rotalama faaliyetlerinde müşterilerden ürünlerin toplanması da söz konusu olmaktadır. Bu problem literatürde Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (TDARP) olarak adlandırılır. TDARP toplama ve dağıtım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan birisi Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemidir (EZTDARP). Eş zamanlı topla dağıt yapan araç rotalama problemleri, bir veya birden fazla depodan alınan müşteri taleplerinin, araçlara yüklenerek talep noktalarına ulaştırılmasını, müşteriden depoya geri gönderilecek malzemenin ise, araç müşteriye uğradığı anda aynı araca yüklenerek, araçların kat ettiği toplam yolu en küçükleyecek şekilde, depo/depolara gönderilmesini sağlayarak araç rotalarını oluşturan problemlerdir.

Günümüz rekabet ortamında işletmelerin sürdürülebilirliğini sağlayabilmelerinde lojistik planları son derece önemlidir. İşletmelerin rekabet avantajı sağlayabilmesi için işletme içerisinde önemli bir yüzdeye sahip dağıtım maliyetlerinde iyileştirme sağlamaları gerekmektedir. Dolayısıyla işletme ve müşteri ihtiyaçlarına yanıt verecek dağıtım ağının tasarlanması, işletme karlılığı ve kaynaklarının verimli kullanımı açısından büyük önem arz etmektedir. Tez kapsamında ele alınan problem, merkezi bir depodan günlük şişe süt sevkiyatı yapacak olan bir işletmenin müşterilerine talepleri doğrultusunda sevkiyatın yapılmasını, müşterilerden eş zamanlı toplama işlemini yaparak depoya sevkiyatın gerçekleştirilmesini içermektedir. Ele alınan işletmenin müşterilerinin hem dağıtım hem toplama müşterisi olması hizmet vermek için kullanılan araçların kapasitelerinde dalgalanmaya sebep olmaktadır ve araçların

kapasite kontrolünü sağlamayı zorlaştırmaktadır. Yapılan çalışmada işletmenin maksimum verimle araç kullanımı ile müşteri taleplerini karşılayacak dağıtım ve toplama rotalarının oluşturulması problemine çözüm getirilmiştir. Bu kapsamda işletmenin hizmet sağlayacağı 76 müşterisi için gidilen mesafeyi en küçükleyecek araçların günlük rotalama planları oluşturulmuştur. Problemin çözümü aşamasında, araç rotalama problemleri için literatürde yer alan çözüm yöntemleri incelenmiştir ve ele alınan problemde amaç fonksiyonunu sağlayacak optimum araç rotalarının bulunabilmesi için problemin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Problem girdi sayısının çok fazla olması ve problem yapısının NP-Zor sınıfına girmesi nedeniyle kurulan matematiksel modelde optimum sonuca ulaşılammıştır. Farklı yükleme kapasitelerinde araçların yer aldığı ve geliştirilen algoritmanın performans etkililiğini ölçebilmek için müşteri sayısının iki katı olduğu problem senaryoları oluşturulmuştur. Geliştirilen sezgisel algoritma ile problem senaryolarına çözüm üretilmiştir. Geliştirilen algoritma sonuçlarına göre; 76 müşteri için, yükleme kapasitesi 50 birimden (koli) oluşan özdeş araçlar kullanıldığında toplamda 9 araç kullanılarak toplam gidilen mesafe 91428 metre, 80 birimden (koli) oluşan özdeş araçlar kullanıldığında toplamda 6 araç kullanılarak toplam gidilen mesafe 65897 metre, 100 birimden (koli) oluşan özdeş araçlar kullanıldığında toplamda 5 araç kullanılarak toplam gidilen mesafe 58315 metre olarak elde edilmiştir. Araç kapasitesindeki artış, toplam gidilen mesafede ve toplamda kullanılan araç sayısında önemli bir azalışa sebep olmaktadır. Dolayısıyla taşıma maliyetlerinin minimuma indirgenebilmesi için uygun yükleme kapasitesine ait araç filosu ile çalışmak son derecede önemlidir. Ayrıca 20 ile 78 arasında düzgün artış gösteren müşteri düğümlerinden oluşan veri setleri farklı yükleme kapasitesine sahip araçlar için çalıştırılarak, araçların toplam kat ettikleri mesafeler hesaplanmıştır. Farklı yükleme kapasitelerine sahip araçların kullanılması durumunda; kullanılan araç sayısı ve araçların toplam gittikleri mesafelerdeki değişkenlik gösterilmiştir. Elde edilen çözüm sonuçlarına göre regresyon analizi uygulanmıştır. Regresyon analizi araçların yükleme kapasitesi ile hizmet edilecek müşteri sayısı değişkenlerinin, toplam gidilen mesafe değişkeni üzerinde etkisi, değişkenlerin etki büyüklüğü regresyon denklemi oluşturularak gösterilmiştir. Regresyon analizi sonuçlarına göre araçların toplam gittikleri mesafenin % 89'unun, hizmet edilecek müşteri sayısı ile kullanılan aracın

yükleme kapasitesi faktörlerine bağlı olarak şekillendiği görülmüştür. Regresyon analizi ile taşıma maliyetinin oluşmasında en belirleyici unsur olan toplam kat edilen mesafe üzerinde, hizmet edilecek müşteri sayısı ve araç kapasitesinin etkisi ölçülmüştür Böylece amaç fonksiyonu çözüm değeri, parametrelere bağlı olarak kolayca tahmin edilebilecektir. Pratik hayatta da farklı senaryoları ele alarak, değerlendirdiğimiz değişkenlere göre kolaylıkla karşılaştırma yapabiliriz. Problemi etkileyen bütün alternatif faktörlerin sonuçlarını, rasyonel çerçevede tahmin etmiş oluruz.

Çalışmanın ileri aşamalarında;

Problem parametrelerinin olasılıklı olduğu durumlar ele alınabilir. Rotanın gidebileceği en büyük mesafe, dinamik çevre koşulları gibi daha fazla operasyonel kısıt probleme eklenebilir. Farklı algoritmalarla, kullanılan algoritma melezleştirilebilir. Önerilen algoritma problemin heterojen araç filolu veya çok depolu hali için uyarlanabilir.

KAYNAKLAR

- Ai, J., Kachitvichyanukul, V., 2009. A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Computers and Operations Research*, 36(5): 1693-1702.
- Avci, M., Topaloglu, S., 2016. A hybrid metaheuristic algorithm for heterogeneous vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Expert Systems With Applications*, 53, 160-171.
- Badeu, P. et al., 1997. A parallel tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research*, 5, 109-122.
- Bayzan, Ş., 2005. Araç rotalama problemlerinin en kısa yol algoritmaları kullanılarak belirlenmesi ve .net ortamında simülasyonu. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bianchessi, N., Righini, G., 2007. Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Computers Operations Research*, 34, 578-594.
- Bozyer, Z., 2013. Araç rotalama probleminin çözümüne yönelik bir model önerisi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Brandao, J., 2004. A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 157, 552-564.
- Breedam, A. V., 2001. Comparing descent heuristics and metaheuristics for routing problem. *Computers and Operations Research*, 28(4): 289-315.
- Caric, T., Gold, H., 2008. Vehicle Routing Problem. I-Tech, Croatia, 11-152.
- Chen, J., 2006. Approaches for the vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pick ups. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23(2): 141-150.
- Cömert, Z., 2014. Eğitim bilişim paylaşım. www.zafercomert.com., Erişim Tarihi: 10.04.2017.
- Crispim, J., Brandao, J., 2005. Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls. *Journal of the Operational Research Society*, 56, 1296-1302.
- Cruz, R. C. et al., 2012. Genvns-ts-cl-pr: A heuristic approach for solving the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 39, 217-224.

- Çatay, B., 2010. A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem Expert Systems with Applications, 37, 6809-6817.
- Çetin, S., Gencer, C., 2010. Kesin zaman pencereli eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(3): 579-585.
- Dethloff, J., 2001. Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick up. OR Spektrum, 23(1): 79-96.
- Dinç Yalçın, G., 2012. Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi için bulanık ortamda çok amaçlı yaklaşım ve uygulama. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Dursun, P., 2009. Zaman pencereli araç rotalama probleminin genetik algoritma ile modellenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ekizler, H., 2011. Araç rotalama probleminin çözümünde karınca kolonisi algoritmasının kullanılması. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Elbasan, S., 2015. Karbon ayak izini dikkate alan eşzamanlı topla dağıt araç rotalama. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Erbao, C., Minygyong, L., Kai, N., 2008. A differential evolution and genetic algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery and time windows. Proceedings of the 17th World Congress the International Federation of Automatic Control, Kore, 10576-10581.
- Erol, V., 2006. Araç rotalama sistemleri için popülasyon ve komşuluk tabanlı metasezgisel bir algoritmanın tasarımı ve uygulaması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Eryavuz, M., Gencer, C., 2001. Araç rotalama problemine ait bir uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 6(1): 139-155.
- Fan, J., 2011. The vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery based on customer satisfaction. Advanced in Control Engineering and Information Science, 15, 5284-5289.
- Gajpal, Y., Abad, P., 2009. An ant colony system for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick up. Computers Operations Research, 36, 3215-3223.
- Ganesh, K., Narendran, T. T., 2008. A two- phase heuristic to solve a routing problem with simultaneous delivery and pick up. International Journal Advanced Manufacturing Technology, 37, 1221-1231.
- Goksal, F. P., Karaoglan, İ., Altıparmak, F., 2013. A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. Computer Industrial Engineering, 65, 39-53.

- Günther, H. O., Kulak, O., Kalayci, C. B., Polat, O., 2015. A perturbation based variable neighborhood search heuristic for solving the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *European Journal of Operational Research*, 242, 369-382.
- Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F., Hartl, R. F., 2009. A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems. *European Journal of Operational Research*, 195, 791-802.
- Ho, W., Ho, G. T., Ji, P., Lau, H. C., 2008. A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21, 548-557.
- Jiu, M., Liu, K., Eksioglu, B., 2008. A column generation approach for the split delivery vehicle routing problem. *Operations Research Letters*, 36, 265-270.
- Kalayci, C. B., Kaya, C., 2016. An ant colony system empowered variable neighborhood search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Expert Systems With Applications*, 66, 163-175.
- Karaoğlu, İ., 2009. Dağıtım ağları tasarımında yer seçimleri ve eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemleri. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Karlaftis, M. G., Kepaptsoglou, K., Sambracos, E., 2009. Containership routing with time deadlines and simultaneous deliveries and pick ups. *Transportation Research Part E*, 45, 210-221.
- Keçeci, B., 2014. Heterojen eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi için matematiksel modeller ve sezgisel yaklaşımlar. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Koç, Ç., 2012. Zaman bağımlı araç rotalama problemi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Küçüköğlu, İ., 2010. Zaman kısıtlı araç rotalama problemi ve hizmet sektöründe bir uygulama. Bursa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J. Y., Semet, F., 2000. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 7(5): 285-300.
- Liu, R., Xie, X., Augusto, V., Rodriguez, C., 2013. Heuristic approaches for a special simultaneous pick up and delivery problem with time windows in home health care industry. *European Journal of Operational Research*, 230: 475-486.
- Mingyong, L., Erbao, C., 2010. An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pick ups and deliveries and time windows. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23, 188-195.
- Min, H., 1989. The Multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick up points. *Transportation Research*, 23, 377-386.

- Montane, F. A. T., Galvao, R. D., 2006. A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery service. *Computer Operations Research*, 33, 595-619.
- Mosheiov, G., 1998. Vehicle routing with pick up and delivery tour partitioning heuristics. *Computers Industrial Engineering*, 34(3): 669-684.
- Nagy, G., Salhi, S., 2005. Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pick ups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 162, 126-141.
- Parrag, S. N., Doerner, K. F., Hartl, R. F., 2008a. A survey on pick up and delivery problems part I: transportation between pickup and delivery locations. *Journal fur Betriebswirtschaft*, 58(1): 21-51.
- Parrag, S. N., Doerner, K. F., Hartl, R. F., 2008b. A survey on pick up and delivery problems part II: transportation between pickup and delivery locations. *Journal fur Betriebswirtschaft*, 58(1): 81-117.
- Psaraftis, H. N., 1995. Dynamic vehicle routing: status and prospects. *Annals of Operations Research*, 61, 143-164.
- Ropke, S., Pisinger, D., 2006. A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 171, 750-775.
- Santos, L., Rodrigues, J. C., Current, J. R., 2009. An improved heuristic for the capacitated arc routing problem. *Computers and Operations Research*, 36, 2632 - 2637.
- Subramanian, A. et al., 2010. A parallel heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Computers Operations Research*, 37, 1899-1911.
- Subramanian, A., Uchoa, E., Pessoa, A. A., Ochi, L. S., 2011. Branch and cut with lazy separation for the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Operations Research Letters*, 39, 338-341.
- Şeker, Ş., 2007. Araç rotalama problemleri ve zaman pencereli stokastik araç rotalama problemlerine genetik algoritma yaklaşımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Şengül, Ü., 2011. Tersine lojistik kavramı ve tersine lojistik ağ tasarımı. Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10, 407-426.
- Tasan, S., Gen, M., 2012. A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries. *Computer Industrial Engineering*, 62, 755-761.
- Toth, P., Vigo, D., 2002. The vehicle routing problem. *Society For Industrial And Applied Mathematics*.
- Tüfekçier, H., 2008. İki amaçlı açık araç rotalama problemi için bir çözüm yaklaşımı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi.

- Wang, C., Mu, D., Zhao, F., Sutherland, J. W., 2015. A parallel simulated annealing method for the vehicle routing problem with simultaneous pick up delivery and time windows. *Computers Industrial Engineering*, 83, 111-122.
- Wang, H. F., Chen, Y. Y., 2012. A genetic algorithm for the simultaneous delivery and pick up problems with time windows. *Computer Industrial Engineering*, 62, 84-95.
- Zachariadis, E. E., Kiranoudis, C. T., 2011. A local search metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick ups and deliveries. *Expert Systems with Applications*, 38, 2717-2726.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., 2009. A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick up service. *Expert System With Applications*, 36, 1070-1081.
- Zachariadis, E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., 2010. An adaptive memory methodology for the vehicle routing problem with simultaneous pick ups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 202, 401-411.
- Zhang, T., Chaovalitwongse, W. A., Zhang, Y., 2012. Scatter search for the stochastic travel time vehicle routing problem with simultaneous pick ups and deliveries. *Computer Operations Research*, 39, 2277-2290.

EKLER

EK 1: Her bir aracın kümülatif artan güzergah mesafeleri

Araç Rotalama Sistemi & Writed By Rabia

Veriler Alacak Verecek Durum

Araç Kapasitesi: 50

Müşteri Sayısı Girin: 78

Sıfırla

Hedefler	Gittiği Hedef	Indexi	Gidilenler	Route No	Araç No	Araç Yük Durumu	Talep Edilen	İade Edilen
5350	500	4	4	3	1	48	7	5
2030	229	37	37	36	1	45	5	2
1660	70	24	24	23	1	43	3	1
2430	100	47	47	46	1	41	7	5
1860	180	21	21	20	1	39	9	7
1810	160	18	18	17	1	37	7	5
1815	220	19	19	18	1	33	5	1
630	80	46	46	45	1	32	5	4
610	1400	65	65	64	2	49	5	4
0	380	59	59	58	2	48	7	6
1930	630	62	62	61	2	46	7	5
2170	160	60	60	59	2	44	7	5
2020	220	63	63	62	2	43	9	8
2540	680	64	64	63	2	42	5	4
2630	290	61	61	60	2	41	5	4
2790	1910	66	66	65	3	48	5	3
2820	1660	50	50	49	3	47	9	8
2180	430	51	51	50	3	45	9	7
2190	330	52	52	51	3	44	5	4
2260	240	54	54	53	3	41	9	6
2030	170	55	55	54	3	40	5	4

Araçların Güzergah Mesafeleri

Her Aracın Gittiği Müşteriler

1 - 500 1 - 729 1 - 799 1 - 899 1 - 1079 1 - 1239 1 - 1459 1 - 1539 Araç 1 Toplam 5.879 Metre Gitti

Araç 1 Depoya 4.340 Metre Mesafede 2 - 1400 2 - 1780 2 - 2410 2 - 2570 2 - 2790 2 - 3470 2 - 3760

Araç 2 Toplam 11.344 Metre Gitti Araç 2 Depoya 7.584 Metre Mesafede 3 - 1910 3 - 3570 3 - 4000 3 - 4330 3 - 4570

3 - 4740 3 - 4980 Araç 3 Toplam 8.840 Metre Gitti Araç 3 Depoya 3.860 Metre Mesafede 4 - 3600 4 - 3760 4 - 3940

4 - 4280 4 - 4720 4 - 5030 4 - 5090 4 - 5190 Araç 4 Toplam 9.890 Metre Gitti Araç 4 Depoya 4.700 Metre Mesafede

5 - 3670 5 - 3740 5 - 3980 5 - 4209 5 - 4579 5 - 5049 5 - 5239 5 - 5309 Araç 5 Toplam 9.238 Metre Gitti

Araç 5 Depoya 3.929 Metre Mesafede 6 - 3750 6 - 3900 6 - 4010 6 - 4160 6 - 4210 6 - 4570 6 - 6190 6 - 6230

6 - 6350 6 - 6450 Araç 6 Toplam 11.450 Metre Gitti Araç 6 Depoya 5.000 Metre Mesafede 7 - 3910 7 - 4319 7 - 4349

7 - 4429 7 - 4489 7 - 4649 7 - 4829 7 - 4899 7 - 4949 7 - 5009 7 - 5169 Araç 7 Toplam 9.759 Metre Gitti

EK 2: Her bir aracın kümülatif artan güzergah mesafeleri -toplam mesafe

Araç Rotalama Sistemi & Writed By Rabia

Veriler Alacak Verecek Durum

Araç Kapasitesi: 50

Müşteri Sayısı Girin: 78

Sıfırla

Hedefler	Gittiği Hedef	Indexi	Gidilenler	Route No	Araç No	Araç Yük Durumu	Talep Edilen	İade Edilen
2030	170	55	55	54	3	40	5	4
2370	240	53	53	52	3	39	5	4
2380	3600	70	70	69	4	49	7	6
2280	160	72	72	71	4	48	5	4
2540	180	68	68	67	4	46	9	7
2280	340	74	74	73	4	45	3	2
2690	440	77	77	76	4	43	3	1
2770	310	32	32	31	4	40	5	2
2220	60	34	34	33	4	37	5	2
2400	100	20	20	19	4	34	5	2
2470	3670	5	5	4	5	46	9	5
2220	70	6	6	5	5	44	3	1
2810	240	3	3	2	5	39	9	4
2210	229	7	7	6	5	37	7	5
2780	370	2	2	1	5	32	7	2
2900	470	56	56	55	5	31	5	4
2080	190	31	31	30	5	30	5	4
2780	70	57	57	56	5	28	7	5
2360	3750	71	71	70	6	48	3	1
2200	150	12	12	11	6	47	7	6
2810	110	11	11	10	6	46	5	4

Araçların Güzergah Mesafeleri Her Aracın Gittiği Müşteriler

3 - 4/40 3 - 4980 Araç 3 Toplam 8.840 Metre Gitti Araç 3 Depoya 3.860 Metre Mesafede 4 - 3600 4 - 3/60 4 - 3940

4 - 4280 4 - 4720 4 - 5030 4 - 5090 4 - 5190 Araç 4 Toplam 9.890 Metre Gitti Araç 4 Depoya 4.700 Metre Mesafede

5 - 3670 5 - 3740 5 - 3980 5 - 4209 5 - 4579 5 - 5049 5 - 5239 5 - 5309 Araç 5 Toplam 9.238 Metre Gitti

Araç 5 Depoya 3.929 Metre Mesafede 6 - 3750 6 - 3900 6 - 4010 6 - 4160 6 - 4210 6 - 4570 6 - 6190 6 - 6230

6 - 6350 6 - 6450 Araç 6 Toplam 11.450 Metre Gitti Araç 6 Depoya 5.000 Metre Mesafede 7 - 3910 7 - 4319 7 - 4349

7 - 4429 7 - 4489 7 - 4649 7 - 4829 7 - 4899 7 - 4949 7 - 5009 7 - 5169 Araç 7 Toplam 9.759 Metre Gitti

Araç 7 Depoya 4.590 Metre Mesafede 8 - 4550 8 - 4700 8 - 4910 8 - 4950 8 - 5150 8 - 5260 8 - 5500 8 - 5620

8 - 6029 8 - 6089 Araç 8 Toplam 10.799 Metre Gitti Araç 8 Depoya 4.710 Metre Mesafede 9 - 4700 9 - 4820 9 - 5320

9 - 5510 9 - 6660 9 - 7270 9 - 7900 Araç 9 Depoya 5.560 Metre Mesafede Araç 9 Toplam 13.460 Metre Gitti

Araçlar Toplam 90.659 Mesafe Gittir

EK 3: 76 müşteri için uzaklık matrisi (metre)

	Depo	1	2	3	4	5	.	.	71	72	73	74	75	76
Depo	0	3750	3810	1200	3670	3670	.	.	3710	4830	4670	4550	4730	4520
1	3750	0	509	480	290	320	.	.	680	1220	1300	930	1330	700
2	3810	509	0	440	290	240	.	.	880	1180	930	890	1090	660
3	1200	480	440	0	560	550	.	.	680	760	1000	459	869	240
4	3670	290	290	560	0	70	.	.	409	1430	1130	1140	1540	900
5	3670	320	240	550	70	0	.	.	360	1380	1090	1080	1500	860
.	.	.	.	.	.	.	.	.	409	1280	1080	990	1490	760
.	.	.	.	.	.	.	.	.	1939	3000	1810	2480	2520	2480
71	3710	680	880	680	409	360	160	420	0	1460	509	1390	1440	1100
72	4830	1220	1180	760	1430	1380	1660	1670	1460	0	819	450	190	770
73	4670	1300	930	1000	1130	1090	650	930	509	819	0	480	790	440
74	4550	930	890	459	1140	1080	1370	1600	1390	450	480	0	430	350
75	4730	1330	1090	869	1540	1500	1600	1650	1440	190	790	430	0	1050
76	4520	700	660	240	900	860	1140	1310	1100	770	440	350	1050	0

EK 4: 152 müşteri için uzaklık matrisi (metre)

	Depo	1	2	3	4	5	.	.	147	148	149	150	151	152
Depo	0	3750	3810	1200	3670	3670	.	.	3720	4840	4675	4552	4736	4528
1	3750	0	509	480	290	320	.	.	1230	1350	935	1340	750	850
2	3810	509	0	440	290	240	.	.	940	896	1098	670	885	750
3	1200	480	440	0	560	550	.	.	460	860	245	350	460	764
4	3670	290	290	560	0	70	.	.	1550	920	650	876	750	652
5	3670	320	240	550	70	0	.	.	875	1200	856	754	895	432
.	.	.	.	.	.	.	.	.	1885	705	2044	1621	2269	1548
.	.	.	.	.	.	.	.	.	1899	934	1746	958	911	1615
147	3720	1230	940	460	1550	875	1885	1899	0	1713	1993	1652	1792	1113
148	4840	1350	896	860	920	1200	705	934	1713	0	576	1850	2104	2216
149	4675	935	1098	245	650	856	2044	1746	1993	576	0	1563	1456	2110
150	4552	1340	670	350	876	754	1621	958	1652	1850	1563	0	1300	2500
151	4736	750	885	460	750	895	2269	911	1792	2104	1456	1300	0	2586
152	4528	850	750	764	652	432	1548	1615	1113	2216	2110	2500	2586	0

ÖZGEÇMİŞ

Rabia Gökçen Büyükyılmaz, 16.04.1993’de Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Balıkesir’de tamamladı. 2011 yılında Celal Toraman Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nü 2015 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başlamıştır.