



**AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN ENERJİ SEKTÖRÜNDE
UYGULANMASI**

Fehmiye Nur KUBAT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Fehmiye Nur KUBAT tarafından hazırlanan “AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN ENERJİ SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Bilal TOKLU

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. Cevriye Temel GENCER

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 12/09/2019

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Fehmiye Nur KUBAT

12/09/2019

AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN ENERJİ SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Fehmiye Nur KUBAT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Rekabet ortamının zirve yaptığı günümüz dünyasında var olan ve gelecekte de varlığını sürdürmek isteyen çeşitli sektörlerin öncü firmaları, her geçen gün kendilerinden ve rakiplerinden daha iyi olmaya çalışmaktadırlar. Bu firmalar, kendilerini ön plana çıkarmak için özellikle ulaştırma, taşıma ve dağıtım gibi müşterilerle direkt temasta bulundukları süreçleri iyileştirmek ve etkili şekilde yönetmek istemektedirler. Bu yüzdendir ki araç rotalama problemlerinden dağıtım ve lojistik süreçleri başta olmak üzere birçok ortamda yaygın olarak faydalanmaktadırlar. Günlük hayatta karşılaşılan problemlerin çözümüne uygulanabilirliği göz önüne alındığında, araç rotalama problemlerinin kullanılabileceği sektörlerden bir tanesinin de elektrik dağıtım sektörü olduğu görülmektedir. Bu çalışmada; Ankara’da elektrik dağıtımını yapan bir firmanın aktif olarak çalışan, mobil cihazlar yardımıyla meskenlere fatura bırakan endeks okuyucularının, aylık çalışma sürelerini aşmadan, okumaları gereken tesisatları okuyup, kat ettikleri mesafenin en azlanması amaçlanmaktadır. Çalışmada, Araç rotalama problemindeki araç, okuyucu olarak, çalışma süresi kapasite olarak, gün içinde okuma yapmak için uğramaları gereken sayaç okuma birimi durak olarak ve sayaç okuma birimlerinin okunma süreleri de talep olarak alınmıştır. Bu kapsamda ilgili matematiksel model geliştirilmiş olup Gams programında çözdürülmüş ve elde edilen sonuçlar firmanın mevcut durumuyla karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 90610

Anahtar Kelimeler : Araç rotalama, elektrik dağıtım, endeks okuyucu, sayaç okuma birimi

Sayfa Adedi : 70

Danışman : Prof. Dr. Bilal TOKLU

IMPLEMENTATION OF OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM IN ENERGY SECTOR

(M. Sc. Thesis)

Fehmiye Nur KUBAT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

Sector leading companies and their competitors work hard to protect their positions in today's most competitive business environment. These companies' main target is to reach end-customers and create more practical and value added processes in logistic, transportation and distribution for their customers. Vehicle routing is one of the enriching ways of improving logistic processes, therefore, many companies research to figure out best ways of vehicle routing. Vehicle routing procedures may be applicable on electricity distribution companies because this sector is really linked with daily life problems. There is no essay about vehicle routing problems at literature but school service routing lead to this study. In this study, vehicle is the reader, daily working duration is capacity, meter reading unit is station. In this study, it has been aimed to route meter reader that is working actively and putting invoice to homes in Ankara. The main purpose is to minimize reader's total distance. Within this scope, the mathematical model has been improved and solved at Gams programming. Solutions has been obtained and compared with current situation.

Science Code : 90610

Key Words : Vehicle routing, distribution electricity, meter reader, meter reading unit

Page Number : 70

Supervisor : Prof. Dr. Bilal TOKLU

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca sonsuz sabır göstererek değerli zamanını bana ayıran ve yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bilal TOKLU' ya teşekkürlerimi sunarım. Hayatımın her aşamasında elimden tutan, bana cesaret veren, maddi manevi desteklerini benden asla esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi annem Hatice YILMAZ, babam Hamit YILMAZ ve kardeşim Sümeyye Gül YILMAZ' a anlayışları ve özverileri için teşekkürü borç bilirim. Ve son olarak çalışmam boyunca tüm kahrımı çeken, her anımda yanımda olan sevgili eşim, hayat arkadaşım, meslektaşım Okan KUBAT' a bütün desteği ve varlığı için sonsuz minnetlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ.....	3
2.1. Araç Rotalama Probleminin Tanımı	3
2.1.1. Araç rotalama probleminin temel yapıtaşları	5
2.1.2. Araç rotalama probleminin prensipleri	6
2.1.3. Araç rotalama probleminin kullanım alanları	7
2.2. Araç Rotalama Problemi Türleri	7
2.2.1. Kısıtlarına göre araç rotalama problemi.....	9
2.2.2. Yolların durumuna göre araç rotalama problemi	13
2.2.3. Çevre durumu bakımından araç rotalama problemi.....	13
2.2.4. Rotalama durumlarına göre araç rotalama problemi.....	14
2.3. Araç Rotalama Problemi Çözüm Yaklaşımları	15
2.3.1. Kesin çözüm yöntemleri	16
2.3.2. Sezgisel çözüm yöntemleri	19
2.3.3. Metasezgisel çözüm yöntemleri	20

	Sayfa
2.4. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi (AUARP).....	31
2.4.1. AUARP literatür araştırması	24
3. UYGULAMA	31
3.1. Problemin Tanımı.....	31
3.1.1. Probleme ait veriler.....	31
3.1.2. Problemin varsayımları ve kısıtları.....	36
3.1.3. Mevcut işleyişin tanımı	36
3.2. Problemin Çözümü.....	37
3.2.1. Matematiksel model.....	37
3.2.2. Çözüm.....	42
3.2.3. Karşılaştırmalar	48
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR	53
EKLER.....	59
EK-1. Soblar arası uzaklık matrisi	60
EK-2. Problemin çözümü için çalıştırılan Gams çıktısı.....	66
ÖZGEÇMİŞ	70

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Şereflikoçhisar' ın sayaç okuma birimleri ve bu soblara ait koordinatları, tesisat sayıları ve okunma süreleri	34
Çizelge 3.2. Mevcut durum ve önerilen durumun karşılaştırılması.....	48



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Klasik araç rotalama probleminin şekilsel gösterimi.....	4
Şekil 2.2. Araç rotalama problemi türleri	8
Şekil 2.3. Araç rotalama problemi çözüm yaklaşımları.....	16
Şekil 2.4. Açık uçlu arp şekilsel gösterimi	24
Şekil 3.1. Birinci okuyucunun okuma sırası	44
Şekil 3.2. İkinci okuyucunun okuma sırası.....	46
Şekil 3.3. Üçüncü okuyucunun okuma sırası.....	48

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Şereflikoçhisar'daki tüm sayaç okuma birimlerinin gösterimi	33
Harita 3.2. Birinci okuyucunun rotası	43
Harita 3.3. İkinci okuyucunun rotası.....	45
Harita 3.4. Üçüncü okuyucunun rotası.....	47



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

Açıklamalar

AUARP	Açık uçlu araç rotalama problemi
ARP	Araç rotalama problemi
BT	Benzetilmiş tavlama algoritması
ÇDARP	Çok depolu araç rotalama problemi
DARP	Dinamik araç rotalama problemi
GA	Genetik algoritma
GSP	Gezgin satıcı problemi
KARP	Kısıtların göre araç rotalama problemi
KKARP	Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi
KKO	Karınca kolonisi optimizasyonu
KUARP	Kapalı uçlu araç rotalama problemi
MKARP	Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi
PARP	Periyodik araç rotalama problemi
PDARP	Parça dağıtımli araç rotalama problemi
PSO	Parçacık sürüsü optimizasyonu
SARP	Stokastik araç rotalama problemi
SOB	Sayaç okuma birimi
TA	Tabu arama algoritması
TDARP	Topla dağıt araç rotalama problemi
TT	Tepe tırmanma algoritması
ZBARP	Zaman bağımlı araç rotalama problemi
ZPARP	Zaman pencerele araç rotalama problemi

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında, tüm sektörlerdeki firmalar arasında rekabet ortamı iyice fazlaşmış, bu sebepten firmalar kendilerini her konuda en iyiye ulaştırma yollarını takip etmeye ve araştırmaya başlamışlardır. Hal böyle olunca müşterilerle direkt olarak bağlantı kurulan ulaştırma, dağıtım ve taşıma gibi kalemleri iyi şekilde yönetmek ve geliştirmek daha fazla önem kazanmıştır. Bu gibi konularda araç rotalama problemleri süreçleri optimize etmek ve iyileştirmek için çokça kullanılan yöntemlerden olmuştur.

Araç rotalama problemleri en temel haliyle bir veya daha fazla depodan müşterilere mal veya hizmet dağıtma/toplama işlemi olarak tanımlanabilir. Literatürde bu problem tipi oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Bunlardan en bilinenleri benzin petrol dağıtımı, üretilen mamul ve yarı mamullerin üretim yerleri arasında taşınması işlemleri, günlük süt toplama ve dağıtımı, gazete dağıtımı, posta hizmetleri, internet üzerinden yapılan alışveriş teslimatları vb. gibidir. Günlük hayatta karşılaşılan problemlerin çözümlerindeki kullanılabilirliği oldukça fazla olduğu için, araç rotalama problemlerinin bir elektrik dağıtım firmasının bazı problemleri için, çözüm yöntemi olarak kullanılabileceği öngörülmüştür.

Çalışmada, Ankara’ da elektrik dağıtımı yapan bir şirketin sahada fatura bırakan okuyucularının rotalanması amaçlanmıştır. Burada okuyucular araçlara, çalışma süreleri kapasiteye, fatura bırakmak için okumaları gereken sayaç okuma birimlerinde geçirdikleri çalışma süresi de talebe benzetilerek araç rotalama problemi modellerinden yararlanılmıştır. Bu bağlamda çalışmanın 2. Bölümünde araç rotalama problemlerine detaylı şekilde yer verilerek tanımından, türlerinden, çözüm yöntemlerinden ve literatürde var olan önceki çalışmalardan bahsedilmiştir.

Çalışmanın 3. Bölümünde ise uygulamaya yer verilmiştir. Problemin tanımlaması yapılarak önceki bölümde incelenen araç rotalama problemi türleri, çözüm yöntemleri ve literatürdeki çalışmalar yardımıyla hangi modelden yararlanılacağı sunulmuştur. Problem için kullanılan model bilgisayar ortamında Gams programında çalıştırılıp, programın koşması sonucu elde edilen çıktılar firmanın mevcut düzendeki durumuyla kıyaslanmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise uygulamadan sonra elde edilen sonuçlara ve sonuçlar ışığında yapılan önerilere yer verilmiştir.



2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde, araç rotalama probleminin genel tanımından, temel yapıtaşlarından, prensiplerinden ve literatürde yer alan çalışmalara uygun olarak kullanım alanlarından bahsedilmiştir.

2.1. Araç Rotalama Probleminin Tanımı

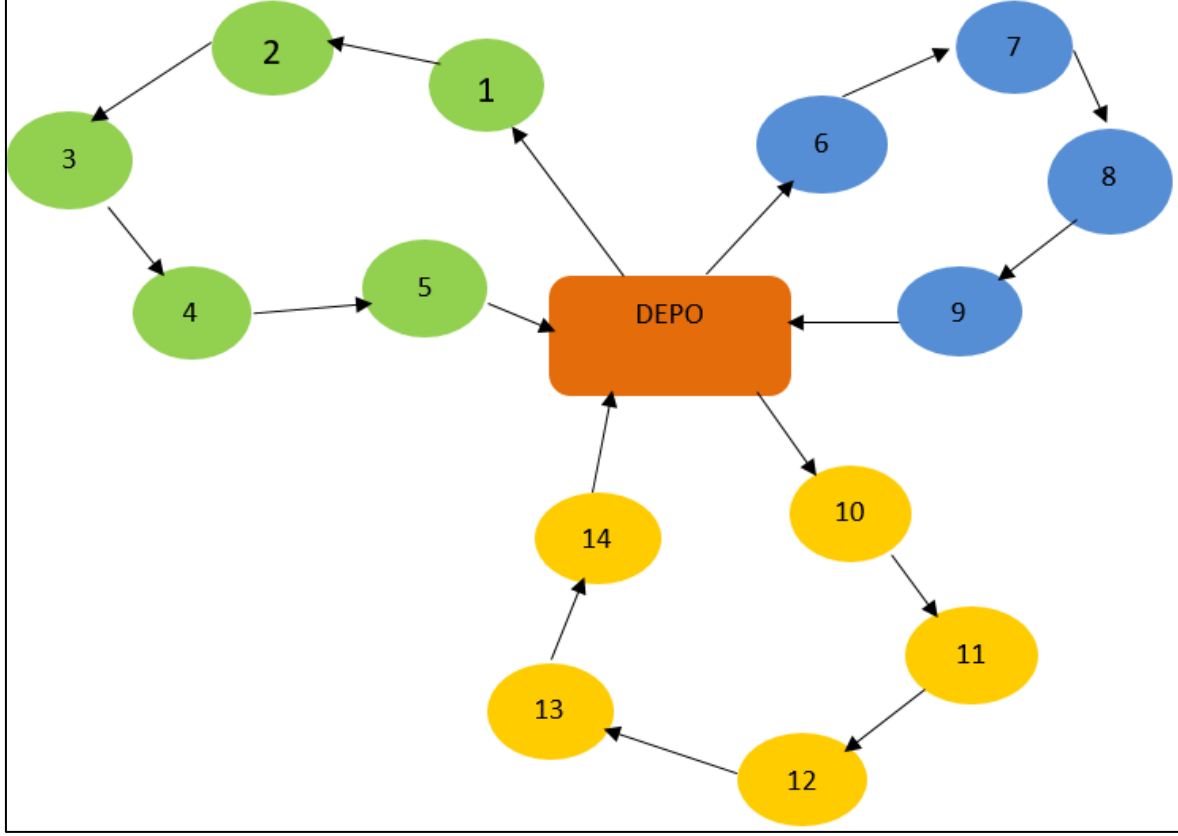
Araç Rotalama Problemi (ARP) literatürde ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından yer almıştır. Araştırmacılar bu çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtımını sorunsalı üzerinde durmuşlar ve çözümü için ilk matematiksel programlama modelini kurmuşlardır. Daha sonra 1964 yılında, Clarke ve Wright, Dantzig-Ramser yaklaşımını geliştiren efektif bir sezgisel algoritma önermiştir. Başlarda çok fazla rağbet görmeyen ARP, şu an çoğu disiplindeki araştırmacının üzerinde çalıştığı bir alan haline gelmiştir (Toth ve Vigo, 2002). Araç Rotalama Problemi (ARP) genel olarak bir işletmenin konumları belirli n adet müşterisine (talep noktasına) hizmet sunabilmesi adına bazı operasyonel kısıtların göz önüne alındığı ve en az maliyetin amaçlandığı araç rotalarının belirlenmesi problemidir (Erol, 2006).

Diğer bir tanıma göre; ARP, coğrafi olarak düzenli olmayan müşterilere bir veya birden fazla depodan hizmet etmek üzere görevlendirilen araçların en makul dağıtım/toplama rotalarının oluşturulması problemidir. ARP dağıtım yönetiminin merkezidir. ARP' nin en kısıtsız haline Klasik ARP denir.

Klasik ARP' de ilk sıradaki şehir depo olmak üzere n adet şehir ve m adet araç bulunmaktadır. Her bir aracın kapasitesi C ve i düğümünden j düğümüne olan uzaklık d_{ij} olarak tanımlanır. ARP ile m adet aracın rotası bulunurken:

1. Her bir şehir sadece bir defa ziyaret edilir.
2. Her bir araç, rotasına tek bir depoda başlar ve aynı depoda sonlandırır.
3. Rota sayısı ve konfigürasyonu ile alakalı kısıtlar vardır.

Bu en temel kısıtlar haricindeki kısıtlar problemin özelliğine göre farklılaşmaktadır (Eryavuz ve Gencer, 2001).



Şekil 2.1. Klasik araç rotalama probleminin şekilsel gösterimi

Önceki çalışmalarda yer alan araştırmalar; farklı kısıtlamalar ve amaçlar içeren araç rotalama problemlerinin modellerinin üretilmesi, bu problemlerin optimum çözümünün araştırılmasında çeşitli çözüm algoritmalarının ve yöntemlerinin kullanılması ve günlük hayattaki farklı sorunların yok edilmesi için uygulamalar yapılması şeklindedir.

Solomon, ARP çalışmalarında zaman kısıtlarıyla alakalı çalışmalar yapmıştır. Bu tür problemlerde, çizelgelemenin uzaysal anlayışıyla geçici anlayışı karılmaktadır. Artı olarak Koskosidis, fazla katı olmayan çalışma zamanı kısıtlarına izin vermiştir. Koskosidis' e göre eğer araç çok geç ya da çok erken ulaşıyorsa bu ceza maliyeti gerektirir. Malakandri ve Daskin trafik sıkışıklığı baz alınan, zaman bağımlı ARP algoritmaları üzerinde araştırma yapmışlardır. Bunun sonucunda trafik sıkışıklığının olduğu anlarda statik bir rotanın olmayacağını, bunun seyahat edilecek zamanın günü hangi saatleri olacağına bağımlı olduğunu öne sürmüşlerdir.

2.1.1. Araç rotalama probleminin temel yapıtaşları

Araç rotalama probleminin temel yapıtaşlarını; talep yapısı, taşınacak ürünün özelliği, dağıtım toplama yerleri ve araç filosu oluşturur.

Talep yapısı

ARP problemlerinde talep durağan veya dinamik olabilir. Durağan talep durumunda talep önceden bilinir. Dinamik durumda ise bazı düğümlerdeki talep bilinmekte, bazıları ise araç rotasında giderken ortaya çıkmaktadır.

Taşınacak ürünün özelliği

Araçlarda taşınan ürünler çok çeşitli olabilmektedir. Tehlike oluşturabilecek maddeler, yiyecekler, gazeteler, çöp toplama, bunların hepsi basit paketler olarak adlandırılır ve probleme ek olarak bir zorluk getirmezler. Başka açıdan öğrenci servisleri; güvenlik, etkinlik, eşitlik, gibi artı bazı amaçlardan dolayı daha karışık yapıya sahiptir.

Dağıtım toplama yerleri

Çoğu ARP' nin dağıtım yerleri müşterilerin bulunduğu yer, toplama yerleri depodur. Genelde aracın rotasının başlangıcı ve geri döndüğü yer depodur. Depo adedine göre problem tek depolu veya çok depolu diye isimlendirilebilir.

Dağıtım yerleri durağan ve önceden biliniyorsa hangi yerlere hangi araçların hizmet edeceği tespit edilmelidir. Diğer durumda dağıtım noktaları potansiyel yerler arasından seçileceği için ilave bir yerleştirme kararı gereklidir. Bazı ARP' lerde dağıtım ve toplama yerleri aynı olabilmektedir. Buna örnek öğrenci servisleri gösterilebilir. Öğrenci servislerinde okul, giderken dağıtım noktası, duraklar toplama noktası; öğrenciler evlerine dönerken ise okul depo, duraklar dağıtım noktaları olmaktadır.

Araç filosu

Araç rotalama problemlerinin hepsinde araç kapasitelerinin eşit olduğu varsayılmaktadır. Bazı durumlarda filodaki araç kapasiteleri farklı olabilir. Böyle durumlarda, hangi araç kapasitesine sahip aracın hangi rotaya atanacağı ilave bir kısıt gerektirir. Filodaki araçların diğer niteliklerinden olan yakıt sarfiyatı, hız ve sevkiyatı yapılacak ürüne uygunluğunun rotaların belirlenmesi üzerinde direkt etkileri bulunmamaktadır (Eryavuz ve Gencer, 2001).

2.1.2. Araç rotalama probleminin prensipleri

Literatürde bulunan birçok çalışmada araç rotalama problemlerine ve bu problemlerin çözüm yöntemlerine yer verilmiştir. Fakat bu çalışmalardan hiç biri reel hayattaki sorunların çözümlerine optimal sonucu verememektedir. Bu sebepten ötürü bilim insanları halen doğru çözümleri verebilecek algoritmalar için çalışmalarını sürdürmektedirler.

Araştırmacılar ve uygulayıcılar, araştırmalar ve uygulamalar esnasında daha iyi sonuca ulaşmak ve uygulanabilir rotaların elde edilmesi için çalışmalarda aşağıdaki 8 kuralın göz önünde bulundurulması konusunda aynı fikirde olmuşlardır (Ballou, 1999):

- Birbirlerine en yakın noktalar seçilmelidir. Böylece toplam gidilen yolun kısalması sağlanır.
- Olabildiğince farklı günlerde yapılacak müşteri dağıtımları birleştirilmelidir. Bu sayede birbirine yakın rotalardaki müşterilere yakın tarihlerde teslimat yapılması engellenir.
- Rotanın başlama yerleri, depoya en uzak mesafedeki nokta ile yapılmalıdır.
- Elde edilen rotanın görüntüsünün damla şeklinde olması istenir. Böylelikle uzak noktalara ulaşımında kazanım elde edilecektir.
- Rotalara atanacak olan araçların büyük kapasiteli olması tercih edilmelidir. Böylelikle toplam gider azalıp kazanç sağlanacaktır.
- Rota dışında kalan konumlara ulaşmak için daha küçük araçlar tercih edilmelidir.
- Mümkün olduğunca dağıtım ve tedarik araçları aynı olmalıdır. Böylece toplam gider ve rotanın tamamlanması için ihtiyaç duyulan süre düşecektir.

- Dağıtım ve tedarik zamanları gerektiğinde baştan kararlaştırılarak süreden tasarruf sağlanmalıdır.

2.1.3. Araç rotalama probleminin kullanım alanları

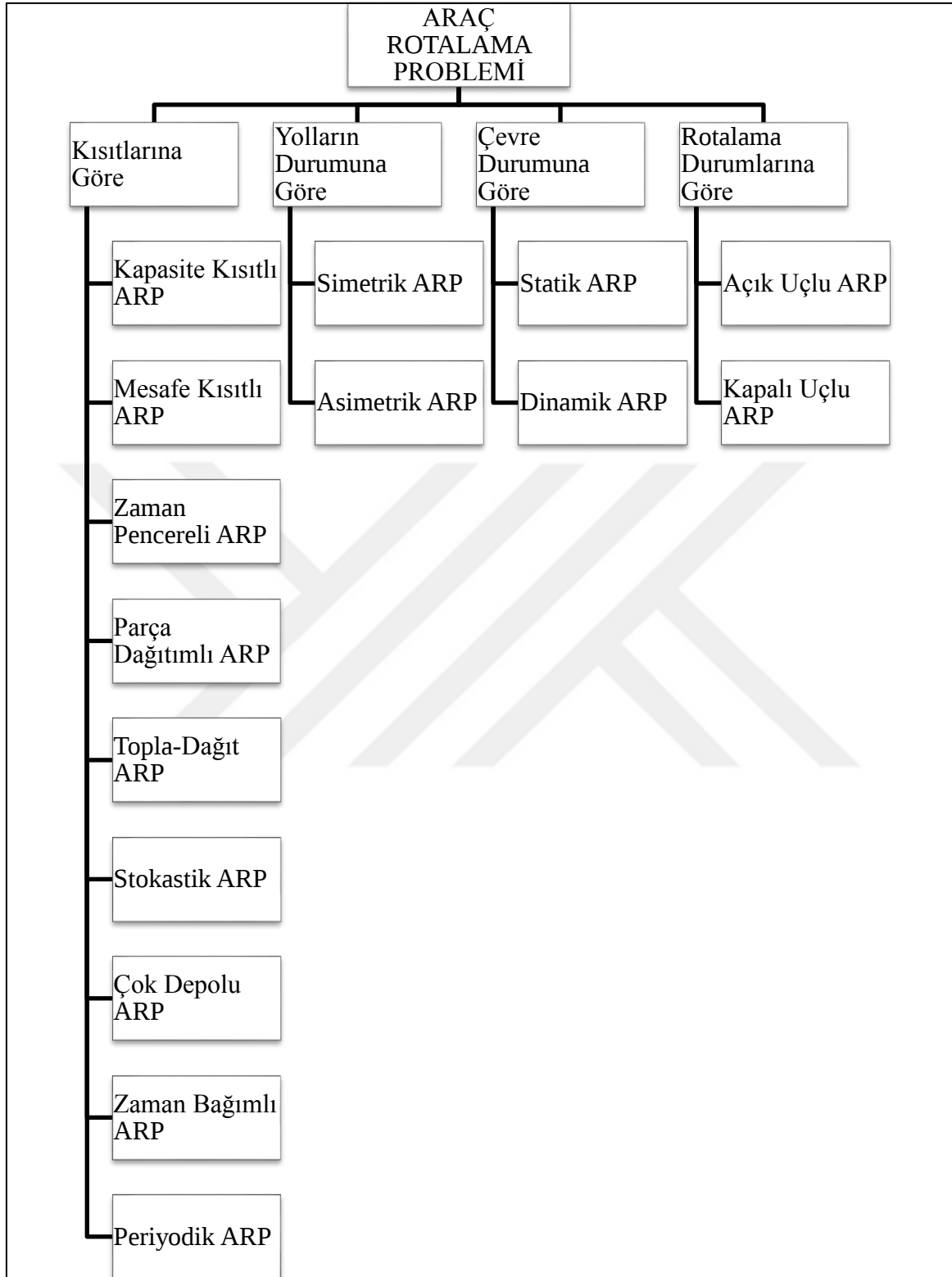
Araç rotalama problemleri genellikle, belirlenmiş konumlar içinde hizmet ve ürün teslimatı yapan sektörler için çözümler oluşturmaktadır. Literatürde yer alan bazı örnek problemler şu şekildedir;

- Bir ve ya daha fazla depodan hizmet ve ürünlerin çeşitli müşteri noktalarına dağıtımının yapılması,
- Üretilen mamul ve yarı mamullerin, hammadde ve üretim planlamasının üretim yerleri arasındaki taşıma işlemleri,
- Malların mağazalara, satış yerlerine taşınması ve stok planlaması,
- Mal, malzeme veya yolcuların havayolu aracılığıyla taşınması,
- Bar ve restoranlara içecek dağıtımı,
- Günlük süt dağıtımı ve toplanması,
- Benzin, petrol dağıtımı,
- İnternet üzerinden yapılan alışverişlerdeki teslimatlar,
- Çöp toplama ve taşıma işlemleri,
- Posta hizmetleri (Demircioğlu, 2009).

Bu tür örneklerin ardından, ARP' nin günlük hayatta karşılaştığımız problemlere uygulanabilirliğinin yüksek olmasından dolayı, bu çalışmada incelenecek olan konu doğmuş olup, elektrik dağıtım sektöründe de ARP' nin kullanılabileceği öngörülmüştür.

2.2. Araç Rotalama Problemi Türleri

Araç rotalama problemi türlerine göre 4 ana kısma ayrılmaktadır. Bunlar kısıtlarına göre, yolların durumuna göre, çevre durumuna göre ve rotaların durumlarına göredir. Bu bölümde araç rotalama problemi türlerine detaylıca yer verilmiştir.



Şekil 2.2. Araç rotalama problemi türleri (Çeyrekoğlu, 2017)

2.2.1. Kısıtlarına göre araç rotalama problemi

Bütün kısıtların modellenerek problemin çözdürülmesi zor olduğu için reel hayatta oluşturulan lojistik ve dağıtım sistemleri için kısıtlardan en mühim olanları seçilip diğerleri dahil edilmeyerek en iyi sonuç elde edilmeye çalışılır. Bu seçilen kısıtlardan önemlileri araç hacmi, uzaklık kısıtı, zaman pencereleri ve yükleme boşaltma durumudur.

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (KKARP)

ARP' nin en bilinen çeşidi olan KKARP' de her aracın belirli bir kapasitesi vardır ve müşterilerin talepleri önceden bilinmektedir. Her aracın kapasitesi birbirinin aynıdır ve araçlar depodan harekete başlayıp aynı noktaya geri dönmektedirler. Müşterilerin talepleri parçalanma olmadan tek seferde yerlerine getirilmektedir.

KKARP için literatürde oldukça fazla çalışma bulunmaktadır, her müşterinin belirli talep miktarı vardır ve her müşteri sadece bir araç tarafından ve yalnızca bir defa ziyaret edilebilir. Depo ve müşteriler arası uzaklıklar simetrik şekildedir ve seyahat süreleri bu uzaklıklarla doğru orantılı kabul edilmektedir. Problemin amacı ise toplam uzaklığın en küçüklenmesini sağlayabilmektir (Lin ve diğerleri, 2009).

Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi (MKARP)

Kimi ARP' ler için problemde yer alan araçların alacakları mesafe kısıtlı olabilir. Bu tarz problemler MKARP olarak isimlendirilir. Yükleme kapasitesi ve mesafe kapasitesinin birlikte kullanıldığı problemler, farklı araç türleri için farklı mesafeleri barındıran problemler, mesafe ve aracın rota süresinin orantılı olduğu problemler vb. gibi problem çeşitleri MKARP' nin kendi içinde yer alan problem türleridir. Türlerine uygun olarak bu problem türünün uygulamasında değişik yollara gidilebilir. Araç sayısı ve araçların seyir sürelerinin az olduğu bir durumda bu kısıtları sağlayabilmek adına bazı teslimat duraklarına uğranılmayabilir. Ya da tüm teslimat duraklarına uğranılması kesinlikle gerekmedikçe araçların seyir süreleri aşılabilmektedir. Böyle durumlar için aşılın sürenin miktarıyla doğru orantılı bir ceza maliyeti ortaya çıkabilir (Erel, 1995).

Zaman pencereleli araç rotalama problemi (ZPARP)

ZPARP, bütün hizmet bekleyenlere bazı zaman aralıklarında hizmet verilmesi gereken bir kısıtı içeren Klasik ARP' nin genelleştirilmiş halidir (Braysy, 2001). Genel olarak ZPARP, bir depodan coğrafik olarak düzgün olmayan noktalar kümesine kadar en az maliyetli rotaların belirlenmesi problemi olarak tanımlanabilir. Rotalar, bazı zaman aralıklarında tek tek tüm noktalara bir araç tarafından yalnızca bir defa uğranacak şekilde oluşturulmalıdır, bütün rotalar depoda başlar ve belirlenen herhangi bir rotadaki taleplerin toplamı araç kapasitesinin üstüne çıkmamalıdır (Solomon ve Desrosiers, 1988).

ZPARP' de hizmet süresi kısıtının yanı sıra bir diğer kısıt ise depo zaman pencerelerinden ve bekleme maliyetinden oluşan rotanın uzunluğu kısıtıdır. Bu durum özellikle araç hizmet bekleyen müşteriye istenilen süreden daha önce ulaşmışsa meydana gelir. Araç burada süresi dolana dek bekler ve tam belirlenen zamanda müşteriye belirlenen süre dâhilinde hizmette bulunur. Burada amaç minimum maliyetle zaman pencerelerine yüzde yüz uyum sağlamaktır.

Zaman pencereleriyle ilgili problemlerin gündelik hayat problemlerine uyarlanabileceği konulara banka teslimatları, posta teslimatları, sanayi atıklarının toplanması örnek verilebilir (Erel, 1995). ZPARP' de baskınlığın önde olduğu bir amaç fonksiyonu mevcuttur. ZPARP' ler için belirlenmiş olan amaç fonksiyonunda, genel itibariyle lüzumlu araç sayısı, araç filosu tarafından gerçekleştirilen toplam yolculuk süresi veya toplam yolculuk mesafesi minimuma indirilmeye çalışılır. Belirlenen rotaların sayısı en başta minimuma düşürülür ve daha sonra minimize edilen bazı sayıdaki rotalar için, toplam yol alınan edilen mesafe veya süre en aza indirilir. ZPARP, çeşitli gündelik hayat problemlerini modelleyebilmek için kullanılabilecek temel bir dağıtım problemidir ve asıl sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlara odaklanmış derin araştırma çalışmalarına konu alınmıştır (Braysy ve Gendreau, 2001).

Parça dağıtımlı araç rotalama problemi (PDARP)

Aynı müşteriye farklı araçların uğraması bu problemdeki maliyetin minimizasyonunu sağlayabilir. Önemli bir detay ise, müşteri siparişinin araç kapasitesine eşit olmasıdır. Bu durumda kritik bir konu olarak klasik ARP probleminin genişletilmesi ele alınmalıdır.

Normal ARP’ de ulaşılan optimal sonuçlara ulaşmak PDARP için oldukça zor olabilir. PDARP’ de amaç araçlar yardımıyla tüm müşteri taleplerini yerine getirmek ve araçların talepleri yerine getirirken kullandıkları toplam zamanı en küçüklemektir.

Uygunluk: ARP kısıtlarının tamamı (birden fazla aracın tek müşteriye hizmet etmesi dışında) sağlanabiliyorsa çözüm “uygulanabilir” olarak kabul edilir.

Formülasyon: ARP’ nin PDARP’ ye evrilmesi için her bir müşterinin talebini daha minik, parçalanamayan taleplere bölmek ve dağıtımların bölünmesini sağlamak kolay bir seçenektir. Problem zm için oluşturulacak tüm rota maliyetleri azaltılır (şeker, 2007).

Topla dağıt araç rotalama problemi (TDARP)

Son zamanlarda popülerlik kazanan TDARP’ de tesislerden müşterilere yapılan taşıma işlemleri simetrik olarak aynı araçlarla müşterilerden tekrar toplanmaktadır. Pratikte birçok rneği bulunan TDARP, ARP’ nin genelleştirilmiş bir halidir. TDARP’ ye günlük hayattan misal verilecek olursa, sağlık sektöründe, kanların merkezlerden hastanelere dağıtımı sırasında toplama bölgelerinden merkeze yeni kanların getirilmesi; otomotiv sektöründe, yedek parçaların bayilere dağıtımı sırasında geri dönüşüm maksatlı kullanılan parçaların fabrikalara geri gönderilmesi; gıda sektöründe, günübirlik taze gıdaların marketlere dağıtımı esnasında günü geçmiş ve bozulmuş gıdaların geri toplanması (Karaoğlan, 2009).

TDARP’ de dikkate alınan varsayıma uygun olarak müşterilerden toplanan ürünlerin direkt başka müşteriye taşınması söz konusu değildir. Bu demek oluyor ki bütün talepler ya depodan müşteriye ulaştırılmakta ya da müşteriden depoya taşınmaktadır (Salhi ve Nagy, 2005).

Stokastik araç rotalama problemi (SARP)

Klasik ARP’ nin problem üyelerinden bir ya da daha fazlasının random şekilde olduğu bir modele dönüşmesiyle Stokastik Araç Rotalama Problemi (SARP) ortaya çıkar.

SARP’ nin 3 farklı çeşidi mevcuttur:

- Stokastik müşteriler: Her i müşterisi p_i olasılığı ile vardır, $1-p_i$ olasılığıyla yoktur.
- Stokastik talepler: Her müşterinin talebi q_i , rassal bir değişkendir.
- Stokastik zamanlar: Servis zamanları s_i ve dolaşım zamanları t_{ij} rassal değişkenlerdir.

SARP' nin çözümünde; ilk olarak rassal değişkenlerin gerçekleşme değerleri anlaşılmadan bir çözüm belirlenir daha sonraki stepte ise rassal değişkenlerin değerleri bilindiğinde revize edici bir işlem uygulanabilir. Amaç toplam zamanı ve servis sürelerini en küçükmektir. Bazı girdilerin rassal olduğu anlarda, rassal değerlerin bütün gerçekleşme durumlarında kısıtların karşılanmasını beklemek artık imkânsızdır. Bu nedenle karar verici ya belirli bir olasılıkla bazı kısıtların karşılanması şartını koyabilir ya da herhangi bir kısıt bozulduğunda probleme revize edici işlemler ekleyebilir (Yılmaz, 2008).

Çok depolu araç rotalama problemi (ÇDARP)

Bu tür problemlerde birden çok depo bulunmaktadır. Depoların ve müşterilerin konumları önceden bilinmektedir. Araçlar çıktıkları depoya geri dönmek zorundadır (Alpaslan, 2015).

Zaman bağımlı araç rotalama problemi (ZPARP)

ZBARP' de duraklar arasındaki seyahatte geçen zamanın gün içinde değiştiği ve her müşteriye varış ve çıkışların önceden belli zaman aralıkları içinde gerçekleştirildiği durum ele alınmaktadır. Bunun sonucunda, planlama periyodu (misal bir gün) zaman aralıklarına ayrılarak bu zaman aralıklarında her bir yol için sabit bir hız tanımlanmaktadır. Böylece herhangi bir düğümden çıkan araç çıkış zamanına ve hangi yoldan gideceğine bağımlı olarak belirli bir hız ile bir sonraki düğüme seyahat etmektedir. Eğer araç bir sonraki düğüme gitmekte olduğu sırada önündeki zaman dilimine geçmiş olursa, geçişten sonra yeni zaman dilimi için tanımlanmış olan hız ile yol alacaktır. Bu öngörü gerçek hayatta karşılaşılan durumlarla bir hayli benzerlik göstermektedir (Can Atasagun, 2015).

Periyodik araç rotalama problemi (PARP)

Periyodik ARP' de standart ARP' den farklı olarak araçların merkezden, depodan çıkışları ve dönüşleri tek bir gün ile sınırlı olmamaktadır. Araçlar t günde yapmaları gereken dağıtımı bitirmektedirler. PARP, her bir gün için grup rotası oluşturma problemi olarak

tanımlanabilir. Genelde planlamalar belirli bir zaman dilimi örneğin 1 gün veya 1 hafta için yapılabilir. Daha uzun süreli planlamalar aylık veya yıllık da olabilir fakat rotalama problemleri için bu kadar uzun hesaplamalar çözümü karmaşık hale getirebilmektedir (Erdem Demirtaş, 2015).

PARP 'de amaç araç filosunu ve bütün müşterilerin taleplerini karşılamak için gereken toplam dolaşım maliyetlerini en aza indirmektedir. Her müşteriye T günlük süre içerisinde en az bir defa uğranmalıdır. Müşterilere yapılacak ziyaret sayısı müşteri ihtiyacına, isteğine ve müşterinin depolama alanının genişliğine göre farklılık göstermektedir.

2.2.2. Yolların durumuna göre araç rotalama problemi

Yolların durumuna göre araç rotalama problemi simetrik araç rotalama problemi ve asimetrik araç rotalama problemi olarak ikiye ayrılmaktadır.

Simetrik araç rotalama problemi

Simetrik araç rotalama probleminde iki düğüm arasındaki bulunan yolların giderken ki ve gelirken ki mesafeleri birbirine eşit durumdadır. Bu durum rotalama problemlerinde genellikle $d_{ij}=d_{ji}$ şeklinde ifade edilmektedir.

Asimetrik araç rotalama problemi

Asimetrik yollu ARP' ler, Simetrik ARP' nin aksine gidiş ve geliş yol uzunlukları birbirine eş değildir. Bu tür araç rotalama problemindeki en kritik nokta rotadaki hizmet önceliğinin ilk başta hangi müşteriye verileceğine karar vermektir. Bu durum rotanın uzunluğunun dönüş yolunu hesaplayarak belirlenmesini sağlamaktadır (Erol, 2006).

2.2.3. Çevre durumu bakımından araç rotalama problemi

Çevre durumu bakımından araç rotalama problemi çeşidi problemdeki değişkenlerin varlığının sabit olmamasına olup olmamasına göre ikiye ayrılmaktadır.

Dinamik araç rotalama problemi (DARP)

Dinamik Araç Rotalama Problemi (DARP), problem içerisinde sabit olmayan değişkenlerin varlığını ifade etmektedir. Bu değişkenler müşteri talepleri, yolların iklim şartlarından ötürü kullanılamaması, yeni taleplerin ortaya çıkması gibi olabilir. DARP aniden ortaya çıkan değişken durumlarda atik bir biçimde yeniden karar almaları içermektedir (Apak, 2018).

ARP' ye dinamik özelliği ekleyen iki durum mevcuttur. İlkinde bilgiler problem çözümü sırasında (yeni bir müşteri talebi ortaya çıkması) değişmektedir, ikincisinde ise çözümler değişken durumlarla aynı anda ve seri şekilde oluşturulur. Buradan DARP' de ön çözüm gibi bir seçeneğin olmadığını anlarız (Bianchi, 2000). Reel hayattan misal verilmesi gerekirse kuryeler ve sahada satış hizmeti veren firmalar olabilir (Potvin ve diğerleri, 2004).

Statik araç rotalama problemi

Statik araç rotalama problemlerinde doğru ve kullanışlı bir rotalama yapılabilmesi için lüzumlu bilgiler, kısıtlar, araç kapasiteleri, minimize edilmek istenen maliyet bilgileri önceden kesinleştirilmiştir ve rotalar oluşturulduktan sonra bu bilgilerde herhangi bir değişkenlik söz konusu olmamaktadır (Larsen, 2001).

2.2.4. Rotalama durumlarına göre araç rotalama problemi

Bu bölümde, oluşturulan rotaların depolarda sonlanma zorunluluğu bulunup bulunmaması önem teşkil etmektedir. Bu kısıta uygun rotaların belirlenme durumuna göre araç rotalama problemi ikiye ayrılmaktadır.

Açık uçlu araç rotalama problemi (AUARP)

Açık uçlu araç rotalama problemini alışık olduğumuz klasik araç rotalama probleminden ayıran özellik araçların dağıtımlarını yaptıktan sonra tekrar depoya dönmek zorunda olmamalarıdır.

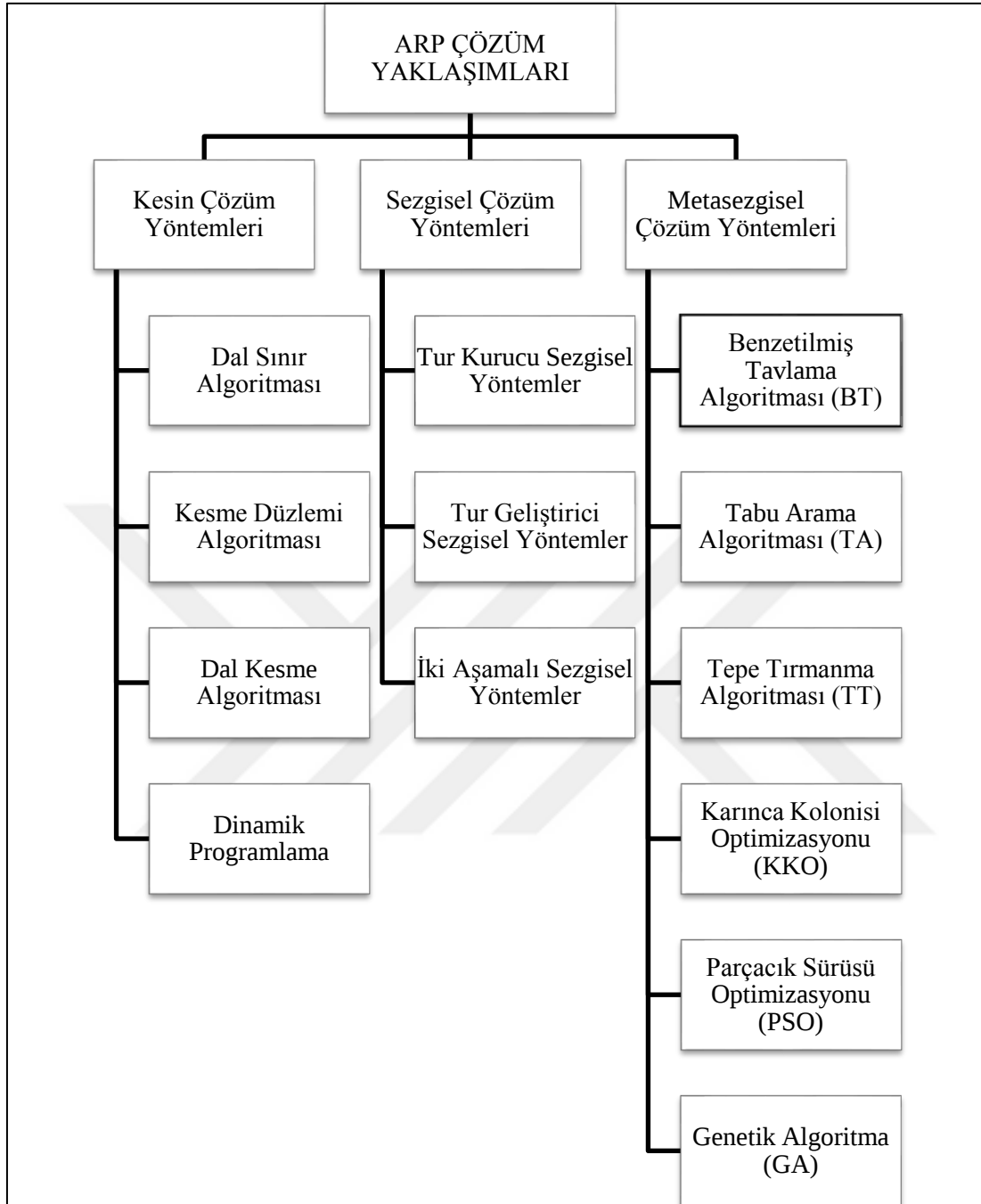
Bu tez kapsamında incelenen problem AUARP olacaktır. Sonraki bölümde AUARP ile ilgili detaylı bilgi ve açıklamalara yer verilmiştir.

Kapalı uçlu araç rotalama problemi (KUARP)

Kapalı Uçlu ARP' de araçların rotaya başlangıç düğümleri ve rotanın bitiş düğümü aynı düğümdür. Yani herhangi bir merkezden harekete başlayan araç rotayı aynı merkezde sonlandırmalıdır. Şimdiye kadar yapılan literatürdeki çalışmalarda genel olarak KUARP ile ilgili araştırmalar olup, açık uçlu rotalamaya göre daha çok çalışma yapılmaktadır.

2.3. Araç Rotalama Problemi Çözüm Yaklaşımları

Araç rotalama problemlerinin ortaya çıkmasından günümüze kadar gelen sürede problemin çözümü ile alakalı bilim insanları tarafından birden fazla yöntem önerisi ileri sürülmüştür. Bu yöntemlerin başında optimal sonuca ulaşılan kesin çözüm yöntemleri gelmektedir. Fakat ARP NP-zor sınıfında yer aldığı için, problem kısıtları çoğaldıkça ve boyutu büyüdükçe kesin sonuca ulaşmak güçleşmekte ya da uzunca çözümlerin ardından sonuçlar elde edilebilmektedir. Durum böyle olunca çözüme daha kısa sürede ulaşabilmek için, yaklaşık sonuçlar verebilen sezgisel yöntemler de çokça kullanılan yöntemler olmuşlardır. Kesin olmayan çözümler sunan sezgisel yöntemler özel amaçlı problemlere gayet iyi çözümler üretebilmekle birlikte farklı kaynaklarda klasik sezgisel yöntemler olarak da tarif edilmektedir. Bunun nedeni genel çaplı, daha büyük boyutlu problemlere çözüm üretebilen yöntemlerin ise metasezgisel olarak isimlendirilmesidir. Kısaca araç rotalama problemi çözüm metotları optimale ulaşılmasına ve özel ya da genel amaçlı sonuçlar üretilmesine göre kesin, sezgisel ve metasezgisel yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.3. Araç rotalama problemi çözüm yaklaşımları

2.3.1. Kesin çözüm yöntemleri

Kesin çözüm yöntemleri optimal sonuçlar doğuran matematiksel programlama tabanlı yöntemlerdir. Literatürde farklı sınıflandırmaları ve çeşitleri yer alan kesin çözüm yöntemlerinden en sık adı geçenler bu bölümde anlatılacaktır.

Dal sınır algoritması

Kapasiteli araç rotalama problemi için en iyi sonucu veren kesin çözüm yöntemlerinden biri olan Fisher' in 71 müşterili problemi çözdüren k-tree metodu, seçilen müşteri gruplarının alt kümelerinin bir tarafını sınırlandırarak oluşturulan parçalı problemlerin çözümünde kullanılır. En küçük dereceli kısıtlı k-tree problemini bulabilmek için çevre kısıtları dualize edilir. K-tree metodu, simetrik olmayan maliyetler, zaman penceresi ve uniform olmayan akışlar gibi gerçekçi değişkenlere ayak uydurabilmek amacıyla genişletilebilir. Daha büyük boyutlu örneklerin sonucuna ulaşmak ya da çözümü daha hızlı elde etmek için sezgisel metotlardan yardım istenmelidir (Ünsal, 2010).

Kesme düzlemi algoritması

Gomory tarafından 1959 senesinde ortaya atılan DP problemlerinin çözümü için geliştirilen hesaplama yöntemine tamsayılı algoritma veya kesme düzlemi yöntemi ismi verilmiştir (Çevik, 2006).

Önerilen bu yöntem bütün (saf) tamsayılı programlamayı ve karışık tamsayılı programlamayı karşılamaktadır. Bu yöntemde izlenecek adımlar şu şekildedir:

- Birinci adım, eğer gerekliyse, var olan sınırlamaları tamsayılı hale getirmektir. Bunun yapılması, katsayılar tam sayı olsun diye bütün sınırların değiştirilmesi manasına gelmektedir.
- Problemin optimum çözüm tablosu bulunur. Eğer optimum çözüm değerleri tamsayı şeklindeyse çözüme ulaşılmış demektir tamsayı değilse bir sonraki aşamaya geçilir.
- Bu adımda kesme tespit edilir ve optimum çözüm tablosundan tamsayı olmayan değişkenlerin bir tanesi seçilir ve yeni bir kısıtlama elde edilir (Yılmaz, 2008).

Dal kesme algoritması

Kesme düzlemi ve dal sınır algoritmalarının sentezinden meydana gelen dal kesme çözüm metodu diğer tamsayılı programlama algoritmalarında da olduğu gibi problemin doğrusal programlama modeli şeklinde çözümü ile başlamaktadır. Kesme düzlemi metodunun etkinliğini arttırmak maksatlı tamsayılı programlama probleminin çözümünde

dallandırmaya başvurulabilir. Böylece, ağacın her düğümünün çözüm aşamasında kesmelerin kullanılması, dal sınır yaklaşımının kesme düzlemi algoritması eklenmesiyle hızında arttırıma gidilebilir.

Dal kesme yönteminde problem sürekli dallara ayrılarak sonuca ulaşamayan seçenekler elendiği için çözüm uzayındaki seçeneklerden az sayıda değerlendirme imkânı sunulmaktadır. Çözüm alanı ‘dallandırma noktaları’ diye isimlendirilen alt problemlere ayrılır ve her alt problem, daha çok araştırma yapıp yapılmaması hususunda değerlendirilip çözüme varılır. Amaç çözülen dallardan tamsayılı sonuçlar elde etmek olduğu için tamsayılı sonuçlar elde edilmediğinde ilgili doğrusal programlama problemine ilave doğrusal kısıtlayıcı eklenmektedir. Buna rağmen çözümler yine tamsayılı olmaz ise, tekrar kesme eklenebilir veyahut problem tekrar dallara ayrılabilir (Yücel, 2016).

Dinamik programlama

Dinamik programlamayı basit bir şekilde anlatmak gerekirse; çözümü zor olan problemleri daha küçük alt problemlere ayırarak sonucu elde etmeye çalışan bir optimizasyon tekniğidir.

Bu çözüm yönteminde n değişkenli bir problem çözülürken değişken sayısı kadar alt tura ayrıştırılır ve her turda tek değişkenli bir alt problem çözülerek optimal sonuç bulunur. Buradaki durumun karlılığı, n değişkenli problemler yerine tek değişkenli alt problemler için optimal sonuçlar bulunulmaya çabalamasıdır. Asıl yararı ise, problemde yer alan aşamaların yapıları birbirlerinden farklı olabilmesine karşın, dinamik programlama çözüm yönteminde bu aşamalarda gerçekleştirilen hesaplamalar çözücü tarafından anlık olarak tasarlanıp, uygulanır ve işlemlerin detaylarına yer verilmez.

Dinamik programlama, karar aşamasının zaman periyodunda art arda gerçekleşmesi gereken durumlarda kullanılması oldukça uygun bir yöntemdir. Burada zaman periyotları birbirine fazlaca bağlıdır. Herhangi belirlenmiş bir zaman diliminde alınan kararlar daha sonraki karar verme aşamalarını etkileyerek değiştirebilmektedir. Problemin tümü sistem ve alt problemler ise bu sistemi oluşturan basamaklar olarak düşünülebilir. Basamaklar genellikle belli bir zaman dilimini ifade etmektedir. Problemin tümünden tek tek alt turlara bakacak olursak; her bir basamakta çözüm aşamalarını gösteren birden fazla durum vardır

ve bunlar, henüz tamamlanmamış çözümleri gösterirler. Her bir alt turu oluşturan basamak için optimal sonucu getiren karar çözücü tarafından verilir. Böylelikle her bir karar da sistemi bir durumdan başka bir duruma taşımış olur.

Dinamik programlamada genellikle işlemler geriye doğru ilerleme şeklinde, son durumdan bir önceki basamağın durumlarına doğru art arda yapılmaktadır (Çetin, 2005).

2.3.2. Sezgisel çözüm yöntemleri

Rotalama problemleri NP-hard problem sınıfında yer almasıyla birlikte gerçek hayatta karşılaşılan problemlere uygulanabilirliğinden ötürü boyutları büyümekte ve bu sebepten hesaplamaları zorlaşmaktadır. Önceki bölümde anlatılan çözüm yöntemleri daha küçük boyutlu problemlere uygulanmakla beraber büyük boyutlu problemlere uygulandığında çözüm süreleri oldukça fazla uzamaktadır. Tam da bu noktada sezgisel çözüm yöntemlerinden destek alınmaktadır. Sezgisel yöntemler kısa zamanda optimal olmasa da, optimale yakın çözümler veren yöntemler olduğundan yaklaşık yöntemler olarak da adlandırılırlar.

Sezgisel yöntemler üç alt başlıkta incelenirler;

- Tur kurucu sezgiseller,
- Tur geliştirici sezgiseller,
- İki aşamalı sezgiseller.

Tur kurucu sezgisel yöntemler

Tur kurucu sezgisel yöntemlerde çözüme gelişigüzel ve genellikle uygun olmayan atamalarla başlanıp, her bir adımda iki düğüm arasına yeni dallar eklenerek uygun çözüme ulaşılmaya çalışılır. Çözüm aranırken oluşturulan dallarda bazı maliyet tasarrufları kullanılır aynı zamanda araç kısıtı da dikkate alınır.

Tur geliştirici sezgisel yöntemler

Bu sezgisel yöntemde, ilk baştaki çözüm uygun olan sıralamalarla başlatılır ve ardından her adımda bu çözüm daha da geliştirilir. Yapılan her işlemde dal sıralamaları değiştirilerek bu sıralamanın maliyeti azaltıp azaltmadığı ve en uygun çözüme ulaşım ulaşıldığı kontrol edilir (Eryavuz ve Gencer, 2001).

İki aşamalı sezgisel yöntemler

Bu yöntemde çözümün ilk adımında, araçların kapasite kısıtlarına uyularak müşteri konumları rotaya eklenir. Daha sonraki adımda ise bu araçlar için oluşturulan rotalar sezgisel yöntemler ile tekrardan ayarlanır. Bu sezgisel çözüm yöntemi için örnek olarak önce grupta sonra rotala türündeki algoritmalar gösterilebilir.

2.3.3. Metasezgisel çözüm yöntemleri

Metasezgisel yöntemler, birden fazla farklı yapıdaki sezgisel algoritmanın birleştirilmesiyle meydana gelmiş, çözüm uzayında efektif ve verimli olarak arama yapılabilmesine olanak sunan, tekrarlayan problem çözme yöntemleridir. Metasezgisel yöntemler, yapılan her işlemde tek çözüm ve ya çözüm dizesi yoluyla farklı çözümler türetirler. Bu artan yaklaşımların çoğu sonuç olabilecek çözümler içinde kesin olmayan ancak bilinçli olarak arama yaparlar (Blum ve Roli, 2003).

Metasezgiseller klasiklerden daha iyi yerel çözümler elde etmektedirler, fakat daha fazla süreye ihtiyaç duymaktadırlar. Çoğunlukla kullanılan ve en çok bilinen meta-sezgisel yöntemler ise; Benzetilmiş tavlama algoritması, tabu arama algoritması, tepe tırmanma algoritması, karınca kolonisi optimizasyonu, parçacık sürüsü optimizasyonu ve genetik algoritmadır.

Benzetilmiş tavlama algoritması (BT)

Benzetilmiş tavlama ya da tavlama benzetimi termodinamikte tavlama diye adlandırılan sıcak metallerin kademe kademe soğutulması işlemine benzetilerek doğal bir sistemin temel alındığı olasılıksal bir metasezgisel çözüm yöntemidir. Bu yöntemi 1953 yılında

Metropolis ve diğerleri ilk kez uygulayarak, tavlama sürecindeki ısı farklılaşmalarını ve bu farklılaşmalara bağlı moleküler yapının dağılımının değişkenliğini, simülasyon kullanarak hesaplamışlardır. Kullanılan programlama yardımıyla tavlama ısı artırımı ve azaltımı yapılarak maddenin enerjisinin ne kadar değiştiği hesaplanmıştır. Yapılan bu uygulamadaki önemli nokta BT’deki ısı azaltımı sırasındaki enerjinin farklılaşma oranlarıdır. Tavlama benzetimindeki amaç fonksiyonu tavlama işlemindeki metallerin maruz bırakıldığı sıcaklıkla beraber moleküllerindeki değişim ve enerji kazanım miktarıdır. BT optimizasyonu yapısından kaynaklı yerel optimum noktalardan sakınan bir işleyişe sahiptir ve kullanılan ilk metasezgisel yöntemlerden bir tanesidir. BT algoritması sadece yerel noktalara bağımlı kalmamak adına optimizasyonda belli olasılıklar dâhilinde kötü çözümleri de algoritma içerisine katan iteratif bir metasezgiseldir.

Tabu arama algoritması (TA)

Diğer bir meta-sezgisel yaklaşım olan TA, ilk defa 1986 yılında Glover tarafından incelenerek literatüre kazandırılmış, optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan yinelemeli bir arama yöntemidir (Osman ve Kelly, 1996). Bu yöntem yapısından dolayı akıllı problem çözme ilkelerine dayandırılmaktadır. Tabu aramanın temel çalışma mantığı çözümü sonlandıracak olan adımın, döngüsel hareketler oluşturmalarını engellemek amacıyla, sonraki döngülerde yinelemenin yasaklanmasını ya da cezalandırılmasını sağlamaktır. TA insan davranışlarının tutarsızlıklarının varlığını örnek alarak, algoritmadaki benzer durumlarda rastlantısal işlemler gerçekleştirebilmektedir. Yeni rotaların seçilmesi haricindeki işlemler, TA algoritmasında rastgele süre gelir. Algoritma yerel minimuma doğru ilerleyerek başlamakta ve daha önceden yapılan aramaları yinelememek adına bir veya daha fazla tabu listesini hafızasında tutmaktadır. Tabu listelerinin birincil amacı, yapılan hareketlerin tekrarının önlenmesinden ziyade daha geriye gidilmesinin engellenmeye çalışılmasıdır.

Tepe tırmanma algoritması (TT)

TT algoritması iteratif bir iyileştirme, farklı bir deyiş ile yerel arama yöntemidir. Basit anlamda yöntem, herhangi bir çözümden diğerine belirlenmiş olan kurallar dahilinde ulaşmayı hedefler. Durum böyle olduğu için iyi bir komşuluk yapısının seçimi metodun verimliliği açısından büyük öneme sahip olmaktadır. Burada iyi olarak isimlendirilenin,

mutlak olarak en iyi olma gerekliliği bulunmamaktadır. TT' nin, yerel ile genel en iyi arasındaki ayrımı görememesi, dolayısıyla da yerel optimuma takılabiliyor olması güçsüz tarafıdır (Yiğit ve Türkbey, 2003).

Karınca kolonisi optimizasyonu (KKO)

Karınca kolonisi optimizasyonunu ilk olarak Dorigo ve arkadaşları, karınca kolonilerinin davranışlarını matematiksel modele dayandırarak GSP (gezgin satıcı problemi) için denemişlerdir. Olumlu sonuçlar alınmasının ardında, algoritmayı farklı araştırmacılarda yaygın şekilde kullanmaya başlamışlardır. Algoritma mantığında karıncaların gerçek hayattaki davranışları üzerinden yola çıkılmıştır. Karıncaların yiyecek arama davranışına odaklanılmıştır. Karıncalar bulundukları yer ile ulaşmak istedikleri yiyecek arasındaki mesafeyi en aza indirmeye özelliğine sahiptirler. Karıncalar besin araştırırken birbirleriyle iletişim kurmak için gittikleri yola feromon adı verilen bir madde bırakırlar. Feromon uçucu ve kokulu bir maddedir. Onun yoğun olduğu yol karıncalar tarafından daha büyük bir olasılık ile seçilir. Feromonun bu yoğunluğu algoritmanın güçlendirme süreci olarak isimlendirilir ve yiyecek oranına bağlıdır. Feromonun uçuculuk özelliğinden ötürü zaman içerisinde buharlaşma yaşanır. Feromon kuvvetlendirme oranı parametresi ile düğümler arası feromon miktarlarının önem sıralamaları belirlenir. Feromon buharlaşma oranı parametresi ile, her bir iterasyonun sonunda düğümlerin arasındaki feromonların hangi oranda buharlaşacağı belirlenir. Müşteri düğümleri arasındaki mesafenin önem derecesi ise algoritmadaki sezgisellik kuvvetlendirme oranı ile belirlenir (Dikmen ve diğerleri, 2004).

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO)

Parçacık Sürüsü Optimizasyonunu (PSO) 1995 yılında Kennedy ve Eberhart literatüre kazandırmış olup, algoritma, davranış tabanlı kuş, balık gibi hayvan sürülerinin haberleşme yöntemlerinden esinlenerek doğrusal olmayan fonksiyonların çözümü için ortaya atılmıştır (Kennedy ve Eberhart, 1995).

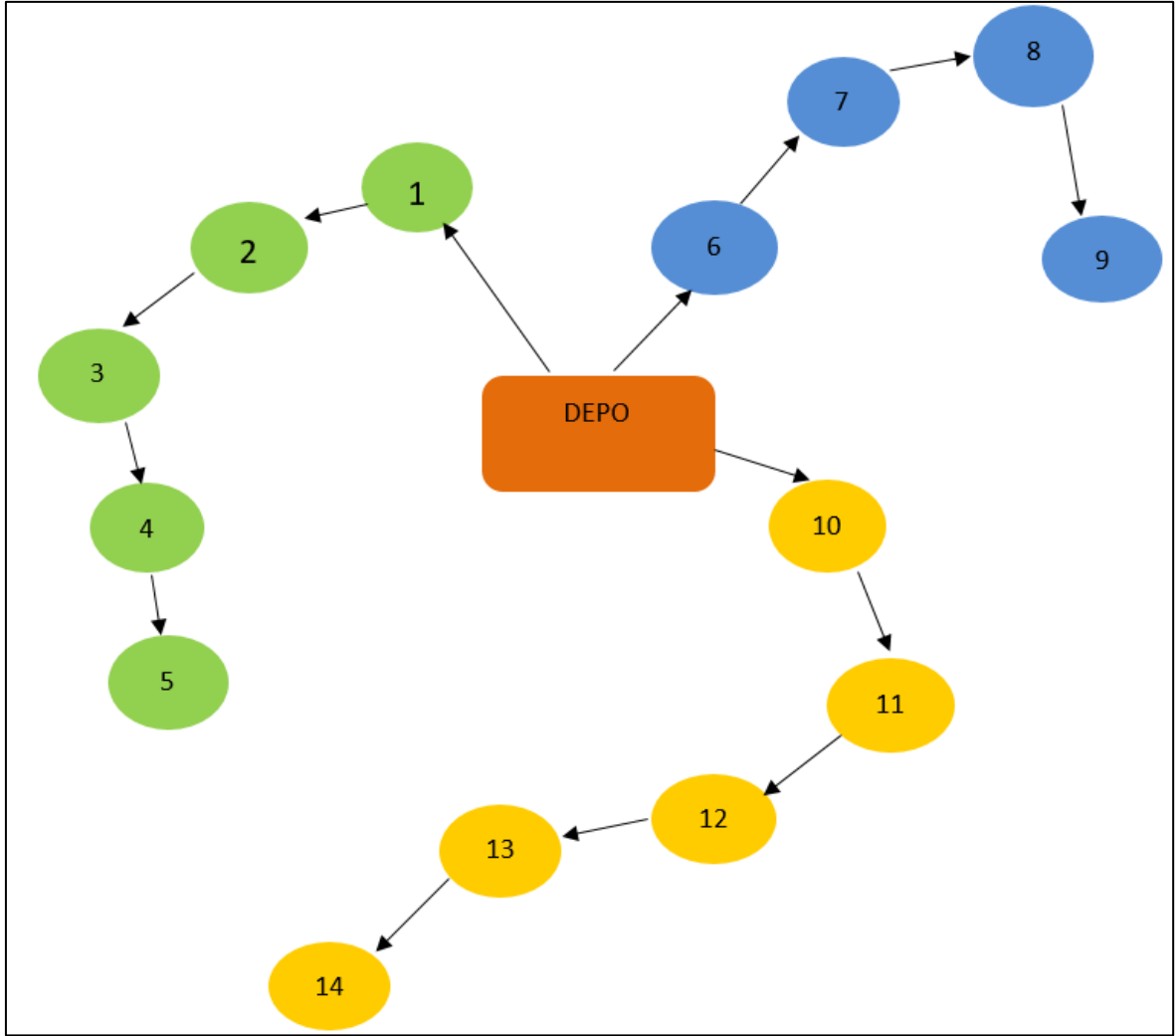
Algoritmada kuşların yerlerini bilmedikleri besinleri aramaları, herhangi bir probleme çözüm aramaya benzetilmiştir. Gerçek hayatta kuşlar yiyecek bulabilmek için yiyeceğe en yakın olan kuşu takip ederler. Burada da, her çözüm diğer bir deyiş ile parçacık aslında çözüm uzayındaki bir kuşu temsil eder.

Genetik Algoritma (GA)

Genetik algoritma Darwin' in evrim teorisinden esinlenilerek bulunmuş olup, en güçlü ve iyinin korunduğu doğadaki seçilim kurallarına göre oluşturulmuş bir arama algoritmasıdır. GA' yı literatüre 1975 yılında Holland kazandırmıştır. GA metasezgiselinde eş boyutlu adaylar vardır. Bu adaylardan rasgele seçilenlerden belli miktarlarda popülasyon oluşturulmaktadır. Popülasyonda her bir adayın kromozomları mevcuttur ve bu sayede kromozomlar aracılığıyla yeni adaylar üreterek her bir nesilde popülasyonlarda değişiklikler meydana gelir. Popülasyonda yer alan bireylerin amaç fonksiyonu içerisindeki değeri hesaplanmaktadır. Yeni nesiller türetirken popülasyon içindeki kromozomlarda çaprazlama yapılır ve bireyler mutasyona uğratılır.

2.4. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi (AUARP)

Açık uçlu araç rotalama problemlerinin genel tanımını yapmak gerekirse, toplam kat edilen uzaklığın ve araç sayısının minimuma indirgenmesinin hedeflendiği, belli talepleri olan dağıtım noktalarına çeşitli kısıtlar doğrultusunda dağıtım (veyahut toplama) yapan araçların, standart APR' den farklı olarak depoya son olarak geri dönmediği rota oluşturma problemleridir. Önceki cümlede bahsedilen kısıtlar bütün taleplerin karşılanması zorunluluğu, araç kapasite kısıtları, taleplerin bölünmezliği ve bunlara benzer kısıtlardır. Np-Zor sınıfında yer alan bu problem tipleri endüstri mühendisliğinde en çok çalışılan konulardan biridir. Depo noktasına geri dönme zorunluluğunun olmayışı klasik ARP' den AUARP' yi ayıran en mühim özelliğidir. Bu demektir ki oluşturulan rotalar açık rotalardır. Bundan dolayı böyle problemlere açık uçlu araç rotalama problemleri denilmiştir. Bu problemlerin varlığındaki temel sebep genellikle lojistik şirketlerinin dağıtım yapılacak şirketlerle günlük hayatta yaptıkları anlaşma şeklinin tek yön doğrultusunda yapılmasıdır. Bunun sebebi dağıtım yapılan şirketi aracın geri depoya dönüşü ilgilendirmemektedir. Aynı zamanda dağıtım yapan şirketin de gidilen son noktadan depoya geri dönerken farklı müşteri bulma ihtimali vardır. Koşullar böyle olunca açık uçlu bir araç rotalama problemi ortaya çıkmaktadır (Tonbul, 2016).



Şekil 2.4. Açık uçlu arp şekilsel gösterimi

Şekil 2.4'teki gösterimde düğüm noktaları müşterileri ifade etmektedir. Klasik araç rotalamadan farklı olarak açık uçlu araç rotalama problemlerinde rotaların depoda başlayıp bir müşteri (talep) noktasında sonlandığı görülmektedir.

2.4.1. AUARP literatür araştırması

1980'li yılların başından 1990'lı yılların sonuna kadar AUARP literatürde oldukça az talep görmüştür (Daneshzand, 2011; Li ve diğerleri, 2007; Yu ve diğerleri, 2011). 2000'li yıllardan sonra ise AUARP' ye olan talep fazlalaşmış ve birçok araştırmacı bu problem için yasaklı arama, deterministik tavlama, geniş komşuluk arama gibi bazı sezgisel ve metasezgisel çözüm yöntemlerini kullanmışlardır (Li ve diğerleri, 2007).

1981 yılında Schrage kapalı rotalar ile açık rotalar arasındaki farkı ilk tanımlayan kişi olmuştur (Li ve diğerleri, 2007; Yu ve diğerleri, 2011). Schrage tarafından yazılan makalede uygulama sırasında karşılaşılan rotalama problemlerinin özellikleri sınıflandırılmıştır.

Bu problem tipi için ilk çözüm yöntemini Bodin ve diğerleri (1981) önermiştir. Yaptıkları çalışmada, özel bir kargo şirketi olan FedEx' in kargo uçaklarının rotalanması için Clarke ve Wright tasarruf algoritmasının bu probleme göre uyarlanmış bir halini kullanmışlardır. Sonuç olarak rotalanan uçaklar başlangıç noktasına geri dönmemektedir ve her biri için açık uçlu rotalar oluşturulmuştur.

Sariklis ve Powell (2000) cezalı en küçük örten ağaç (minimum spanning tree) isimli bir sezgiselle çözmeye çalışmışlar ve AUARP ismini ilk kez literatüre kazandıran araştırmacılar olmuşlardır.

Aynı problem 2004'te tabu arama metasezgiseli ile çözülmeye çalışılmış olup algoritmanın performansı farklı sezgisel metotlarla kıyaslanmıştır (Brandão, 2004). İlk aşamada başlangıç çözümü elde etmek adına k-tree yönteminden ve en yakın komşuluk arama sezgiselinden yararlanılmıştır. Daha sonra başlangıç çözümünü tabu aramayla geliştirilmiştir.

Tarantilis ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmada, adapteli hafıza tekniğine dayanan BoneRoute ileri sezgisel metodu adında bir algoritma önermişlerdir. Bu algoritmayı bir ARP karar destek sistemiyle geliştirmişlerdir. Problemde ulaşılmak istenen amaç toplam kat edilen yolun en azlanması olmuştur.

Fu ve diğerleri (2005) çalışmalarında, AUARP için geliştirdikleri yeni bir yasaklı arama yöntemi üzerine durmuşlardır. Başlangıç çözümünün belirlenmesinde en uzaktaki en önce yöntemi kullanılmış olup aynı zamanda çalışmada algoritmanın performansı diğer sezgisel algoritmalarla karşılaştırılmıştır.

Özkan (2006), tez çalışmasında Türkiye'nin ileri gelen bir lojistik firmasının dağıtım problemini inceleyip araç rotalama yazılımlarından detaylıca bahsetmiştir. Aynı zamanda araç rotalama ile ilgili teknolojik gereksinimlere değinmiş ve birçok kavram açıklamıştır.

Problemin çözümü için doğrusal bir model kurmuş ve bu modeli sistemin en iyilenmesinde kullanmıştır.

Psinger ve Ropke (2007) AUARP' nin de içinde bulunduğu farklı kısıtlamaları olan ARP çeşitlerine çözüm oluşturabilecek bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma adapteli geniş komşuluk arama algoritması olup Slaw tarafından geliştirilen geniş komşuluk arama algoritmasının biraz daha iyi bir versiyonudur.

Li ve diğerleri (2007) yaptıkları çalışmalarında, açık uçlu rotalama problemi için geliştirilen farklı algoritmaları inceleyip, tavlama benzetiminin deterministik bir çeşidi olan ve Dueck tarafından geliştirilen "kayıttan kayıta" algoritmasını göz önünde bulundurarak "açık kayıttan kayıta" algoritmasını geliştirmişlerdir. Problemin başlangıç çözümünde ise süpürme algoritmasını kullanmışlardır.

Bektaş ve Elmastaş (2007), makalelerinde okul araç rotalama problemiyle ilgilenmişler ve problemi doğrusal programlama modeli kurarak çözmüşlerdir. Oluşturdukları matematiksel modelin amaç fonksiyonu kapasiteyi ve mesafeyi en küçükmeyi hedeflemektedir. Modelde 29 adet düğüm bulunmaktadır. Fakat bu düğümlere depo noktası ve modellerinde tanımladıkları sanal d noktası da eklenince problemin çözümü için oluşturulan uzaklık matrisi 31X31'lik bir matrise dönüşmüştür. Çalışmamızın uygulama bölümünde matematiksel model olarak bu model kullanıldığı için ayrıntılı olarak ilerleyen kısımlarda incelenmiştir.

Aksen ve diğerleri (2007) çalışmalarında AUARP' nin farklı bir türü olan sürücü noktalı AUARP' den bahsetmişlerdir. Sürücü noktalı AUARP' de araçlar müşteri noktalarındaki dağıtım veya toplama işlemlerini yerine getirdikten sonra sürücü düğümü olarak adlandırılan düğümlerde rotalarını sonlandırmaktadırlar. Sürücü düğümleri, sürücünün evi veya aracın gece boyunca duracağı garaj vb. yerler olabilir. Çalışmada incelenen problem üç farklı şekilde ele alınmıştır. Bunlar şöyledir; zaman kısıtı olmaksızın, maksimum rota süreli ve müşterilerin sipariş teslim tarihi ile uyumlu maksimum rota süreli. Problemin modellemesinde amaç fonksiyonu olarak gidilen toplam mesafe maliyetinin en azlandığı karma tam sayılı programlama (mixed integer problem) kullanılmış olup çözüm yönteminde ise açık tabu arama algoritması adını verdikleri bir metasezgisel aramadan yararlanmışlardır.

Letchford ve diğerleri (2007) kapasite kısıtlı AUARP' yi kesin çözüm yöntemlerinden biri olan dal kesme algoritmasıyla çözmeyi başarmışlardır. Problemdeki amaç toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesidir. Algoritmada küçük ve orta ölçekli AUARP için sonuç üretilebildiği gösterilmiş ve aynı zamanda AUARP ve klasik ARP arasındaki, çözüme ulaşma bakımından zorluklar anlatılmıştır.

Russel ve diğerleri (2008) yaptıkları çalışmalarında, gazete üretim ve basım yerinden ana dağıtım yerlerine dağıtım olayını gerçekleştiren ve yöneten efektif bir ileri sezgisel çözüm metodu tanıtmışlardır. Bu metod ile bir şehirdeki reel hayat gazete dağıtım problemini çözüme kavuşturmuşlardır. Böylece birçok gazete dağıtım problemine örnek teşkil eden bir çalışma sunmuşlardır.

Tüfekçier (2008) hazırladığı tez çalışmasında, iki amaçlı bir araç rotalama problemini incelemiştir. Çalışmada incelenen problemin amacı, ürünlerin dağıtımını kiralık araçlarla yapan bir işletmenin en az sayıda araç ile toplam gidilen yolu en küçükmeye çabalamasıdır. Çözüm yöntemi olarak genetik algorithmadan yararlanılmıştır.

Demir (2008) yaptığı tez çalışmasında, okul araç rotalama problemini ele almıştır. Problem modellemesi gerçek hayat servisleri göz önünde bulundurularak sabah (toplama) ve öğlen (dağıtım) olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir. Bu problemin çözümü için kullanılacak dört tamsayılı karar modeli tanıtılmıştır. Bunlar polinom boyutta yeni geliştirilen ikisi düğüm tabanlı, ikisi akış tabanlı tamsayılı karar modelleridir. Literatürdeki problemler ve rassal olarak üretilen problemler dört modelle de çözdürülüp sonrasında çözüm süreleri ve doğrusal programlama gevşetilmiş değerleri üzerinden kıyaslanarak analizler yapılmıştır.

Aksen ve diğerlerinin (2007) çalışmalarındaki aynı problem için Derigs ve Reuter (2009) isimli araştırmacılar özellik tabanlı tepe tırmanma özelliği olan bir tabu arama sezgiselini tanıtmışlardır. Tanımladıkları bu sezgisel, bilinen tabu arama algoritmasının parametresiz bir versiyonu olarak çalışmada yer almıştır.

Fleszar ve diğerleri (2009) açık uçlu araç rotalama problemini çözmek için efektif değişken komşuluk arama sezgiselini geliştirmişlerdir. Buradaki amaç, toplam kat edilen mesafenin en azlanması ve araç sayısının minimuma düşürülmesinin sağlanmasıdır.

Hu ve diğerleri (2009) çalışmalarında toptancıların gözünden gıda dağıtım karar işini incelemişlerdir. Problemden Bejing’deki özel bir şirketin dağıtım sorunları çözülmeye çalışılmıştır. İki aşamalı çözüm prosedürü uygulanarak sezgisel yöntemler ile doğrusal programlama sentezlenmiştir. Amaçları maliyeti minimize ederek, değişen koşullar altında rota alternatifleri üretmektir.

Chiang ve diğerleri (2009) gazete üretimi ve dağıtımının bütünleşik lojistiği ile alakadar olmuşlardır. Çalışmalarında simülasyon tekniği ve meta sezgisel metotlardan yararlanmışlardır. Rotalama probleminde zaman pencereli ve bölge kısıtlı AUARP’yi çözmeye çalışmışlardır. Rotalamanın yanı sıra çalışmalarında çizelgeleme için de çözüm sağlamışlardır.

Zachariadis ve Kiranoudis (2010), AUARP’yi çözmek için metasezgisel bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Aynı zamanda geniş komşulukları irdeleyebilmek adına yenilikçi bir yerel arama prosedürü geliştirmeyi hedeflenmişlerdir. Çalışmadaki amaç rota mesafesinin ve maliyetin en aza indirgenmesidir.

Erbao ve Mingyong (2010) bulanık talepli bir kombinatoriyel optimizasyon problemi üzerinde çalışmışlar ve güvenilirlik teorisi baz alınarak bulanık şans-kısıtlı program modeli kurmuşlardır. Problemden ulaşmak istenen amaç; planlanan toplam gidilen mesafenin ve rotadaki aksamalardan kaynaklanan ek mesafenin minimizasyonudur. Çözüm yönteminde ise araştırmacılar stokastik simülasyon ve geliştirilmiş diferansiyel evrimsel algoritmayı sentezleyerek hibrit zeki algoritma oluşturmuşlardır.

Repoussis ve diğerleri (2010), çalışmalarında AUARP için melez bir strateji geliştirmişler ve problemi kademeli şekilde çözmeye çalışmışlardır. Araştırmacılar tabu arama ve yerel arama yöntemlerinden yararlanmışlardır. Problemden ulaşmak istenen amaç ise toplam mesafe ve maliyetin en aza indirgenmesi olmuştur.

MirHassani ve Abolghasemi (2011) çalışmalarında araç filo sayısını ve her bir aracın rotasını en azlamayı hedefleyen bir model kurmuşlardır. Çözüm yöntemi olarak ise parçacık sürü optimizasyon (particle swarm optimization-PSO) yönteminden faydalanmışlardır.

Yu ve diğerleri (2011), bir kömür madenindeki taşıma problemleri için AUARP' yi incelemiş ve Sariklis ve Powel (2000) tarafından yapılan açık uçlu araç rotalama probleminin tanımını temel alarak bir matematiksel model kurmuşlardır. Problemlerindeki amaç fonksiyonu toplam gidilen mesafenin ve toplam kullanılan araç sayısının en küçüklenmesidir. Ayrıca çözüm metodu olarak genetik algoritma ve yasaklı aramadan meydana gelen yeni bir melez metot kullanmışlardır.

Liu ve diğerleri (2012), çoklu depolu açık uçlu araç rotalama problemiyle ilgili çalışmışlardır. Burada tek depo yerine birden fazla depo olup AUARP' nin temeli olan, depolara geri dönme zorunluluğu yoktur. Problemin amaç fonksiyonu kat edilen toplam mesafenin ve kullanılan araç sayısının en küçüklenmesidir. Çözüm yöntemi olarak da genetik algorithmadan yararlanmışlardır.

Banos ve diğerleri (2013), çalışmalarında zaman pencereli ve kapasite kısıtlı AUARP' yi konu edinmişlerdir. Problemdeki amaç hem kat edilen toplam yolun en küçüklenmesi hem de yüklerin araçlara dengeli dağıtımı olmuştur. Çözüm yöntemi olarak ise bir melez metasezgiselden yararlanmışlardır.

López-Sánchez ve diğerleri (2014) İspanyada faaliyet gösteren bir şirketin gerçek hayat problemini incelemişlerdir. Şirkete ait servis araçlarının rotalarını iyileştirmeyi amaçlayan bu çalışmada, AUARP' nin bir versiyonu olan ve bir kişinin araçta kaybettiği en büyük zamanı en küçükleyen probleme çözüm aranmaktadır. Amaç fonksiyonu kullanılan araç sayısının en küçüklenmesidir. Bunun yanı sıra araçta geçirilen en uzun sürenin en küçüklenmesi ve rota sürelerinin dengelenmesi istenmektedir. Tüm bu amaçların yerine getirilebilmesi için kısa sürede etkili sonuçlar veren rekabetçi çoklu başlangıç algoritması önerilmiştir. Literatürdeki okul servisi rotalama problemleri ve gerçek hayat donelerinden yararlanılarak algoritmanın verimliliği test edilmiştir.

Brito ve diğerleri (2015), çalışmalarında kapalı açık uçlu araç rotalama problemlerine çözüm aramışlardır. Bu problem türünde araçların depoya geri dönme zorunlulukları olmasa da dönmeleri mümkün kılınmıştır. Amaç fonksiyonu, toplam gidilen yolun en küçüklenmesidir. Problemde çözüm yöntemi olarak ise bulanık optimizasyon yöntemi ve bir melez metasezgisel kullanılmıştır.

Yu ve diğeri (2016), çalışmalarında çapraz sevkiyat (cross-docking) diye isimlendirilen sevkiyat şeklinin geçerli olduğu AUARP' yi incelemişlerdir. Problemin amacı, toplam taşıma maliyetlerinin ve araç kiralama maliyetlerinin en aza indirgenmesidir. Çözüm yöntemi olarak ise bir tavlama benzetimi algoritması sunulmuştur.

Zhang ve diğeri (2017), zaman ve palet yükleme kısıtı olan bir rotalama problemi üzerine çalışmışlardır. Çözüm yöntemi olarak tabu algoritması ve yapay arı kolonisi algoritmasını sentezleyerek hibrit bir yaklaşım sunmuşlardır.

Ermutaf (2019), tez çalışmasında çok amaçlı konteyner yükleme ve kapasite kısıtlı AUARP üzerine çalışmış, toplam mesafeyi en küçükmeyi hedeflenmiştir. Problem çözümünde çok amaçlı matematiksel model ve genetik algorithmadan yararlanmıştır.

3. UYGULAMA

Bu bölümde araç rotalama probleminin elektrik dağıtım sektöründe yapılan örnek bir çalışmasının genel hatlarıyla tanımına, çözümüne ve sonuçlarına yer verilmiştir.

3.1. Problemin Tanımı

Araç rotalama problemlerinin günlük hayata uygulanabilirliği göz önüne alındığında elektrik dağıtımını yapan bir firmadaki okuyucular için de kullanabileceği öngörülmüştür. Sahada gerçekleşen endeks okuma operasyonunun anlatılabilmesi adına bazı tanımlamalara yer verilmiştir. Bu tanımlamalar şu şekildedir; okuyucuların sahada elektrik faturası bırakmak için sayaçlardan tüketim bilgisi almalarına endeks okuma işlemi denilmektedir. Her sayacın tekil olacak şekilde tesisat numarası bulunmaktadır. Birbirine yakın koordinatlı tesisatlar sayaç okuma birimlerini (sob) oluşturmaktadır. Sayaç okuma birimleri tesisatlar kümesi olarak düşünülmelidir. Sayaçların terminaller yardımıyla okunup sahada fatura bırakılması işlemini endeks okuma personeli gerçekleştirmektedir. Elektrik piyasası tüketici hizmetleri yönetmeliğinin 32. maddesinde *sayaçlar, en az 25 en fazla 35 günlük dönemlerle dağıtım şirketi tarafından her takvim ayında bir defa okunur bu okuma aylık okuma olarak değerlendirilir* şeklinde belirtilmiştir. Böylece sayaçların aylık bir defa ve her ay aynı günlere denk gelecek şekilde okunmaları gerekmektedir.

Endeks okuma işleminin saha personelleri tarafından hangi sırada yapılması gerektiği bu çalışmadaki problemin konusunu oluşturmaktadır.

3.1.1. Probleme ait veriler

- Uygulama Ankara'nın Şereflikoçhisar ilçesindeki sayaç okuma birimleri için gerçekleştirilecektir.
- Şereflikoçhisar'ın aylık okunan 18 821 tesisatı, bu tesisatları içeren 73 adet sobu bulunmaktadır.
- 73 sob 3 okuyucu tarafından okunmaktadır.
- Okuyucular Şereflikoçhisar'da ayda 15 gün, günlük 9 saat okuma yapmaktadırlar.
- Her bir okuyucunun maximum çalışma süresi $15 \times 9 \times 60 = 8100$ dakikadır.

- Her soba da bulunan tesisatların koordinatlarının aritmetik ortalamaları alınarak sayaç okuma birimlerinin koordinatları belirlenmiştir.
- Sobların okunma süreleri sobda yer alan tüm tesisatların okunduğu durumda geçen toplam süre olarak belirlenmiştir. Tesisatlar arası geçişte kaybedilen zaman sobun toplam süresi içinde yer almaktadır. Ayrıca mesafe olarak biraz daha birbirine uzak tesisatlardan oluşan bir sob için tesisat sayısı az da olsa okunma süresi fazla olabilmektedir. Tesisat sayısı fazla olan sobun okunma süresi fazladır şeklinde bir genelleme yapılması doğru olmamaktadır.

Okuyucular tarafından okunacak tüm soblar Google Maps'te işaretlenmiş ve Harita 3.1' de gösterilmiştir.



Çizelge 3.1. Şereflikoçhisar'ın sayaç okuma birimleri ve bu soblara ait koordinatları, tesisat sayıları ve okunma süreleri

Sayaç okuma birimi	Tesisat Sayısı	Enlem	Boylam	Okunma Süresi
B24A0350	278	38,92251079	33,5636223	574
B24A0140	219	38,92332877	33,53566667	297
B24A0340	324	38,92406173	33,55998765	329
B24A0160	422	38,92543128	33,54377725	541
B24A0235	149	38,92777852	33,53248322	225
B24A0120	396	38,92790909	33,54187121	368
B24A0155	47	38,92791489	33,54634043	113
B24A0130	249	38,92889558	33,53958635	558
B24A0230	123	38,92897561	33,53602439	322
B24A0285	300	38,92980333	33,54841	324
B24A0422	209	38,93007177	33,55396651	162
B24A0421	68	38,93022059	33,55291176	78
B24A0424	61	38,93067213	33,55268852	199
B24A0280	221	38,9308914	33,54838914	500
B24A0420	66	38,93101515	33,5525303	72
B24A0423	42	38,93107143	33,55288095	80
B24A0135	176	38,93134091	33,54247159	235
B24A0270	242	38,93165702	33,54466529	273
B24A0220	281	38,93248754	33,53667616	470
B24A0200	286	38,93253846	33,52751399	690
B24A0205	282	38,93257801	33,53381915	545
B24A0290	614	38,93265635	33,54729805	510
B24A0530	3	38,933	33,54733333	11
B24A0195	401	38,9330798	33,531399	517
B24A0240	429	38,93319114	33,54317249	344
B24A0260	294	38,93330952	33,54579932	324
B24A0225	158	38,9334557	33,54443671	154
B24A0410	228	38,93355263	33,55182456	377
B24A0210	342	38,93402047	33,53834503	516
B24A0215	149	38,93414765	33,54539597	116
B24A0400	382	38,93441885	33,54872513	535
B24A0250	241	38,93464315	33,54613278	311
B24A0255	168	38,93494048	33,546375	200
B24A0180	429	38,93504429	33,5357366	395
B24A0100	131	38,93515267	33,54367176	277
B24A0190	106	38,93528302	33,53170755	516
B24A0090	693	38,93581818	33,54176479	336
B24A0050	649	38,93597535	33,54467334	430

Çizelge 3.1. (devam) Şereflikoçhisar'ın sayaç okuma birimleri ve bu soblara ait koordinatları, tesisat sayıları ve okunma süreleri

B24A0080	414	38,93608937	33,54219324	350
B24A0110	327	38,93611621	33,54089297	264
B24A0380	357	38,93619888	33,54739776	304
B24A0430	161	38,93654037	33,53111801	478
B24A0060	222	38,93666667	33,54307207	332
B24A0070	202	38,93695545	33,54089604	312
B24A0500	232	38,93740517	33,54346552	164
B24A0455	223	38,93756502	33,53473543	273
B24A0495	191	38,93757068	33,54134031	241
B24A0390	411	38,93765937	33,54589051	543
B24A0490	203	38,93780788	33,54116256	393
B24A0300	473	38,93796617	33,54483932	411
B24A0310	191	38,93841885	33,54503665	366
B24A0460	297	38,93844781	33,54019192	478
B24A0470	420	38,93882619	33,53992381	388
B24A0480	511	38,93988845	33,53982779	371
B24A0440	505	38,94010891	33,53456238	551
B24A0320	303	38,94015512	33,54377558	427
B24A0330	222	38,9405991	33,54193694	399
B24A0231	11	38,94181818	33,43918182	37
B24A0170	469	38,94234115	33,53773561	410
B24A0030	158	38,94328481	33,54077215	261
B24A0035	217	38,94342396	33,54029954	299
B24A0040	151	38,94501325	33,54157616	298
B24A0021	48	38,94570833	33,53510417	65
B24A0022	40	38,94705	33,537625	110
B24A0015	181	38,94807182	33,53337569	295
B24A0020	151	38,94843046	33,53754967	266
B24A0010	293	38,94934471	33,53317065	294
B24A0510	180	38,9553	33,53624444	133
B24A0450	227	38,95536564	33,50569604	518
B24A0515	230	38,95648696	33,53617826	113
B24A0520	211	38,95777251	33,53274882	92
B24A0360	248	38,95820968	33,52414113	422
B24A0370	283	38,96611661	33,51385159	475

Sayaç okuma birimlerinin birbirleri arasındaki mesafelerini gösteren uzaklık matrisi Python programlama dili ve Google Maps yardımıyla oluşturulmuştur. Çözüm için matematiksel modeli, Gams programında kodlarken kullanılacak ve sobları anlatan $i1$, $i2$, $i3$,..., $i73$ şeklindeki ifadeler, Çizelge 3.1'deki sob sırasına göre artan şekilde matriste kullanılmışlardır. Ayrıca uzaklık matrisi simetrik olarak alınmıştır. Uzaklık matrisi EK-1'de verilmiştir.

3.1.2. Problemin varsayımları ve kısıtları

- Okuyucular başlangıçta operasyon merkezlerinden okuma yapacakları soblara giderler ve rota bitişinde operasyon merkezlerine dönmek zorunda değillerdir.
- Rotalar, mevcut düzendekilerle kıyaslama yapılabilmesi adına günlük değil aylık oluşturulur.
- Günlük yapılan mola ve kesintiler ihmal edilir.
- Yapılacak okuma süreleri okuyucuların toplam çalışma sürelerini aşamaz.
- Bir sobu sadece bir okuyucu okuyabilir.
- Rotalar simetriktr.
- Okuyucular ve terminaler homojendir.

3.1.3. Mevcut işleyişin tanımı

Mevcut düzende Şereflikoçhisar'da çalışan okuyucular, herhangi bir sistematige bağlı kalmadan, koordinatörlerin şimdiye kadar süregelen bilgi ve tecrübeleri yardımıyla okumaları gerçekleştirmektedirler. Şirket tarafından, Şereflikoçhisar ve onun gibi merkezi olmayan operasyon merkezleri dışındaki, ulaşımı kolay operasyon merkezlerinde rotalama çalışması yapılmaktadır. Fakat bu çalışmalarda oluşturulan rotalarda da herhangi bir bilimsel yöntem ya da algoritma kullanılmamaktadır.

Mevcutta, elektrik dağıtım şirketi okuyuculara okuma siparişlerini tesisat bazlı oluşturmaktadır. Bu durum sebebiyle birden fazla okuyucu aynı sayaç okuma biriminde (sob) okuma yapabilmektedir.

Tüm bunlar neticesinde okuyucular günlük işleri sırasında fazla mesafe kat etmektedirler. Özellikle birden fazla okuyucunun aynı sayaç okuma biriminde çalışması bu duruma sebep olmaktadır. Çünkü yakın mesafedeki tesisatları tek okuyucu bitirebileceği halde böyle tesisatlar için daha fazla okuyucu işlem yapmaktadır. Ayrıca belirli bir sistematik olmadığı için, elektrik piyasası tüketici hizmetleri yönetmeliğinin, 25-35 gün aralığında okuma yapılmasını isteyen maddesine de uyulmadığı durumlarla karşılaşmak daha mümkün olmaktadır. Bu maddenin ihlalindeki zamanlarda şirket maddi olarak zarara uğrayabilmektedir.

3.2. Problemin Çözümü

Tanımlanan problem araç rotalama problemine benzediğinden bir araç rotalama modeli temel alınarak problemin çözümü hedeflenmiştir. Araç rotalama probleminde yer alan araç okuyucu, kapasite çalışma süresi, durak sayaç okuma birimi ve talep ise sayaç okuma birimlerinin okunma süreleri olarak değerlendirilmiştir. Böylece araç rotalama probleminin çözümünde kullanılan bir matematiksel modelin bu çalışmadaki problem içinde çözüm yöntemi olarak kullanılabileceği görülmüştür.

3.2.1. Matematiksel model

Çalışmada rotalama, okuyucuların operasyon merkezlerinden çıkışlarından itibaren yapılacaktır. Problemin boyutu çok büyük olmadığından, doğrusal programlama modeli ile çözüm uygun görülmüştür. Problemin yapısı gereği, doğrusal programlama modeli seçilirken öncelikli amaç, minimum sayıda okuyucu ile toplam kat edilen mesafe en az olacak şekilde ve diğer kısıtlara uygun rotayı oluşturabilecek bir model seçmektir. Tüm bu amaçları gerçekleştirebilecek uygun bir doğrusal programlama modeli seçilmiştir. Bu model AUARP literatür araştırması kısmında yer verilen Bektaş ve Elmastaş modelidir.

Bektaş ve Elmastaş'ın önerdiği tamsayılı karar modelinde amaç toplam maliyeti ve mesafeyi minimize etmektir. Araç rotalama problemi, V düğüm seti ve A ayrıt setini gösteren bir $G = (V, A)$ simetrik uzaklık serimi üzerinde yer alan bir başlangıç noktası (0. düğüm) ve bir bitiş noktası arasında tüm düğümlerin herhangi bir araç tarafından yalnızca bir defa uğrandığı ve bu uzaklık serimine bir sanal $\{d\}$ noktası eklenerek her aracın en son bu noktaya gelmesinin sağlandığı ($V' = V \cup \{d\}$) bir problem olarak modellenmiştir. Araç düğümler kümesi I ile gösterilmiştir. Karar modelinde kullanılan kümeler, parametre ve karar değişkenleri şu şekildedir:

Problemdaki kümeler

- I : Toplama-bırakma bölgeleri (orta noktalar)
- 0 : Başlangıç noktası
- d : Sanal nokta
- $V = \{0\} \cup I$

$$V' = \{d\} \cup V$$

Parametreler

Q : Her bir aracın (ortak) kapasitesi (kişi)

q_i : i . düğümde alınması ya da bırakılması gereken kişi sayısı ($i \in I$)

f : Bir aracının dağıtım veya toplama için maliyeti (TL)

T : Bir aracın kat edebileceği en büyük uzaklık (m)

$$d'_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{Eğer } i \in I \text{ ve } j = d \\ M, & \text{Eğer } i \in 0 \text{ ve } j = d \\ d_{i,j}, & d. d \end{cases}$$

d_{ij} : i ve j noktaları arasındaki uzaklık ($i \neq j, i, j \in V$)

α : Birim uzaklık maliyeti

c_{ij} : iki nokta arası maliyet ($c_{ij} = \alpha \cdot d_{ij}$), ($i \neq j, i, j \in V$)

Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer servis aracı } i \text{ düğümünden } j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, & d. d \end{cases}$$

u_i : i . düğümde çıkışta araçta bulunan kişi sayısı ($i \in I$)

v_i : i . düğüme kadar gelen aracın başlangıç noktasından itibaren kat ettiği toplam mesafe ($i \in I$)

k : araç sayısı

Karar modeli

$$\text{Minimize } \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} c_{ij} x_{ij} + f \cdot k \quad (3.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i \in I} x_{0i} \leq k \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{id} \leq k \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in I \cup \{d\}} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.4)$$

$$\sum_{i \in I \cup \{d\}} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in I \quad (3.5)$$

$$u_i - u_j + Qx_{ij} + (Q - q_i - q_j)x_{ji} \leq Q - q_i \quad \forall i \neq j \in I \quad (3.6)$$

$$u_i \geq q_i \quad \forall i \in I \quad (3.7)$$

$$u_i - q_i x_{0i} + Qx_{0i} \leq Q \quad \forall i \in I \quad (3.8)$$

$$v_i - v_j + (T - d_{id} - d_{0j} + d_{ij})x_{ij} + (T - d_{id} - d_{0j} - d_{ji})x_{ji} \leq T - d_{id} - d_{0j} \quad \forall i \neq j \in I \quad (3.9)$$

$$v_i - d_{0i}x_{0i} \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (3.10)$$

$$v_i - d_{0i}x_{0i} + Tx_{0i} \leq T \quad \forall i \in I \quad (3.11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in V'$$

Modelde bir tane amaç fonksiyonu en iyilenmeye çalışılmıştır. Amaç fonksiyonuyla toplam maliyetin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Toplam maliyeti araçlar için sabit maliyet ve mesafe başına katılan maliyetin toplamı oluşturmaktadır. Modelde bahsedilen kısıtlar ise kapasite ve mesafe kısıtlarıdır.

Karar modelinin amaç fonksiyonu, (3.1) bütün araçların kat edecekleri toplam mesafe ve toplam araç kullanma maliyetini göstermektedir. (3.2) ve (3.3) numaralı kısıtlar, başlangıç 0 düğümünden k tane aracın çıkmasını ve çıkış yapan sayıda aracın bitiş d düğümüne girmesine yardımcı olmaktadır. (3.4) ve (3.5) numaralı kısıtlar atama içindir ve her ara düğümün yalnızca bir defa ziyaret edilmesine yardımcı olmaktadır. (3.6), (3.7) ve (3.8) numaralı kısıtlar, kapasite koşulunun sağlanmasına yardımcı kısıtlardır. Bu kısıtlar ayrıca problem için uygun olmayan turların (alt turların) oluşumunu da engellerler. (3.9), (3.10) ve (3.11) numaralı kısıtlar, bir aracın takip edeceği rota uzunluğunun $\max T$ olmasını öngörür. Modeli kapalı hale getirmek için sanal d noktası modele eklenmiştir. Araçlar depodan düğüm noktalarına ve düğüm noktalarının rotası oluşturulduktan sonra sanal d noktasına giderek kapalı rotayı bitirmektedirler. Tüm düğüm noktalarından sanal d noktasına uzaklık 0 varsayılmış, böylece araçların açık olarak rotalandıktan hemen sonra sanal d noktasına gitmeleri sağlanmış ve sanal d noktası ile depo arasındaki uzaklık M büyük sayısı olduğu kabul edilerek de araçların depodan çıkarken, sanal d noktasına değil, gerçek bir düğüm noktasına gitmeleri sağlanmıştır. Böylece modelde araçlar depoya geri dönmesine rağmen açık uçlu araç rotalama yapılabilmiştir.

Bektaş ve Elmastaş tarafından önerilen modelden bizim problemimize uygun olabilmesi adına notasyonlarda düzenlemeler yapılmıştır ve amaç fonksiyonundaki maliyet minimizasyonu ile toplam yol kısıtı modelden çıkarılmıştır. Uygulamada kullanılacak olan model aşağıdaki gibidir;

Problemdeki kümeler

I : Soblar (sayaç okuma birimleri)

0 : Başlangıç noktası

d : Sanal nokta

$V = \{0\} \cup I$

$V' = \{d\} \cup V$

Parametreler

Q : Her bir okuyucunun (ortak) çalışma süresi (dk)

q_i : i . sobun okunma süresi ($i \in I$)

T : Bir okuyucunun max çalışma süresi (dk)

$$d'_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{Eğer } i \in I \text{ ve } j = d \\ M, & \text{Eğer } i \in 0 \text{ ve } j = d \\ d_{i,j}, & d.d \end{cases}$$

d_{ij} : i ve j sobları arasındaki uzaklık ($i \neq j, i, j \in V$)

Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer bir okuyucu } i \text{ düğümünden } j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, & d.d \end{cases}$$

u_i : i . sobdan çıkışta okuyucunun okuduğu toplam süre ($i \in I$)

v_i : i . soba kadar gelen okuyucunun başlangıç noktasından itibaren kat ettiği toplam mesafe ($i \in I$)

k : okuyucu sayısı

Karar modeli

$$\text{Minimize} \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} c_{ij} x_{ij} \quad (3.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i \in I} x_{0i} \leq k \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{id} \leq k \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in I \cup \{d\}} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.4)$$

$$\sum_{i \in I \cup \{d\}} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in I \quad (3.5)$$

$$u_i - u_j + Qx_{ij} + (Q - q_i - q_j)x_{ij} \leq Q - q_i \quad \forall i, j \in I \quad (3.6)$$

$$u_i \geq q_i \quad \forall i \in I \quad (3.7)$$

$$u_i - q_i x_{0i} + Qx_{0i} \leq Q \quad \forall i \in I \quad (3.8)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V'$$

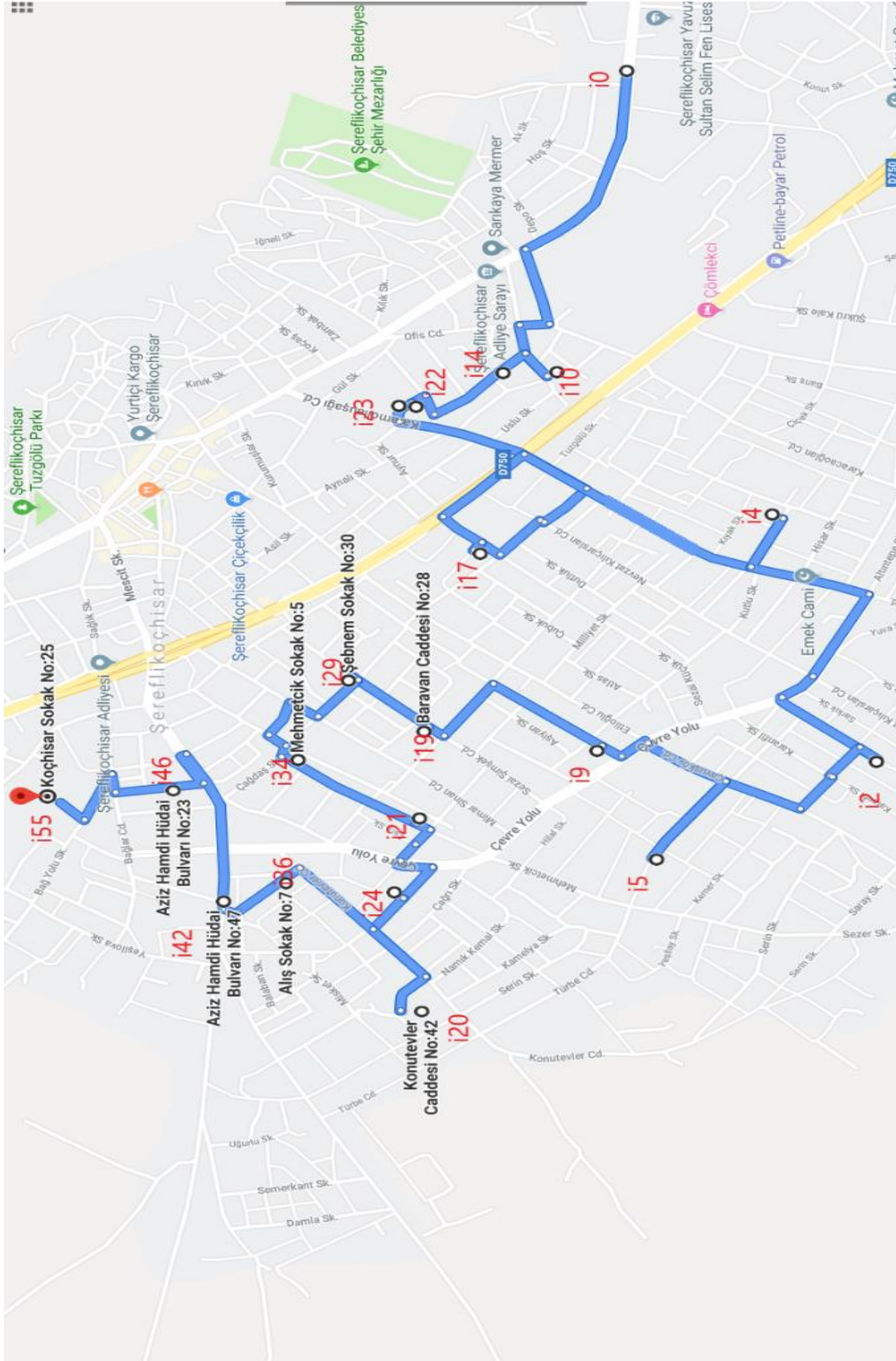
Bektaş ve Elmastaş modelindeki amaç fonksiyonunda toplam maliyet minimizasyonu da yer almaktadır fakat bu çalışmada böyle bir hedef olmadığı için modelden çıkarılmıştır. Ayrıca Bektaş ve Elmastaş modelinde toplam yol kısıtına da yer verilmiştir fakat yine bizim çalışmamızda böyle bir kısıt olmadığından modelden çıkarılmıştır.

Karar modelinin amaç fonksiyonu, (3.1) tüm okuyucular tarafından kat edilecek toplam mesafeyi göstermektedir. Söz konusu modelde (3.2) ve (3.3) numaralı kısıtlar, başlangıç (0) sobundan k tane okuyucunun çıkmasını ve aynı sayıda okuyucunun bitiş (d) sobuna girmesini sağlamaktadır. (3.4) ve (3.5) numaralı kısıtlar atama kısıtlarıdır ve her ara sobun sadece bir defa ziyaret edilmesini sağlamaktadır. (3.6), (3.7) ve (3.8) numaralı kısıtlar, kapasiteye ilişkin kısıtlardır. Bu üç kısıt, birlikte herhangi bir rotada bir okuyucunun en fazla kapasitesi kadar okuma yapabilmesini sağlar. Bu kısıtlar aynı zamanda, problem için gerekli olmayan turların (alt turların) oluşmamasını da sağlar. Matematiksek modele sanal d noktası eklenmiştir. Soblar ile sanal d noktası arası uzaklık 0 (sıfır) ve sanal d noktası ile başlangıç noktası (operasyon merkezi) arasındaki uzaklık M büyük sayıdır. Burada oluşturulan sanal d noktası modelin kapalı rota gibi davranmasını sağlayarak okuyucuların açık olan rotalarının kapalı gibi son bulmasına yardımcı olmaktadır. Problemin çözümü

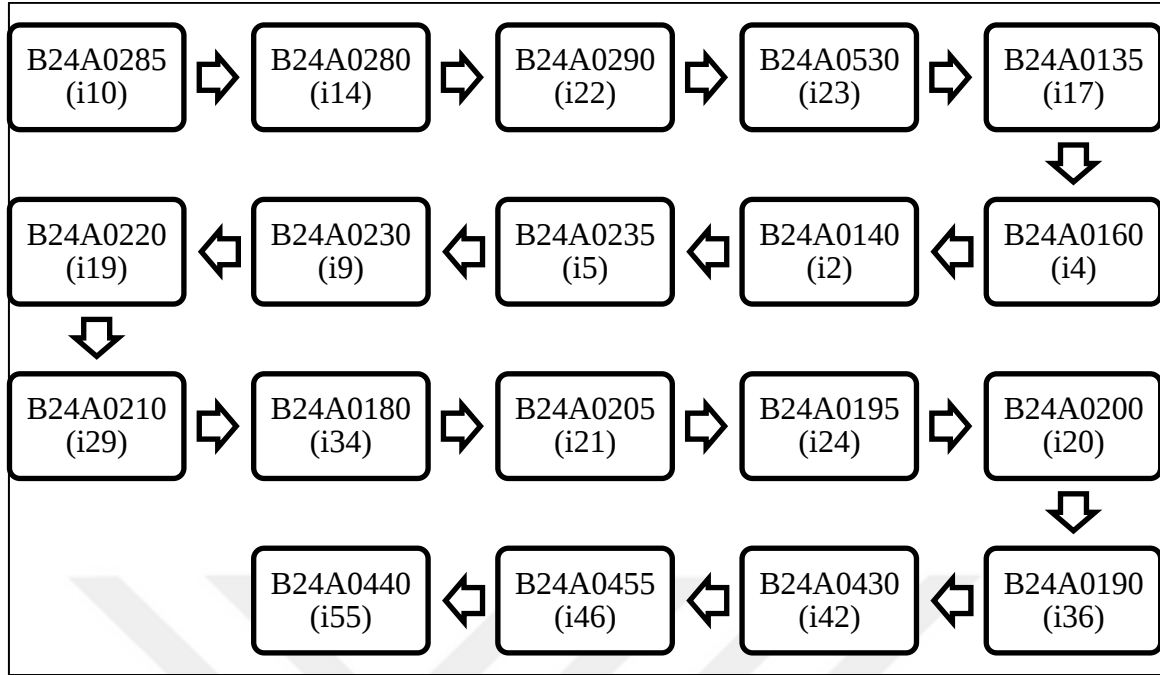
için Bektaş ve Elmastaş modeli yukarıda bahsedilen değişiklikler yapılarak kullanılmış ve problem uzaklık matrisi ile Gams programında kodlanmış ve çözülmüştür. Gams programının çıktısı ekler bölümünde verilmiştir.

3.2.2. Çözüm

Matematiksel model gerekli veriler girilerek Intel(R) Core™ İ5-2400 CPU@30.10 GHz 4 GB Ram 32 bit işletim sistemi özellikli bilgisayarda 3 MB 24.1.3 r41464 WIN-VS8 özellikli Gams programıyla çalıştırılmış ve toplam mesafe 48 300 m olarak belirlenmiştir. Model sonucunda var olan 3 okuyucu için 3 ayrı rota bulunmuştur. Gams programında matematiksel modeli kodlarken sobları belirtmek için kullanılan i1 ile i73 arası ifadeler kullanılmıştır. Ayrıca i0 başlangıç noktası yani operasyon merkezi (depo) ve i74 sanal d noktası olarak tanımlanmıştır. Gams programından elde edilen okuyucuların rotaları sonraki sayfalarda yer almaktadır. Birinci okuyucunun harita üzerindeki rotası Harita 3.2’de, rota sonucu elde edilen sobların okunma sırası da Şekil 3.1’de verilmiştir.

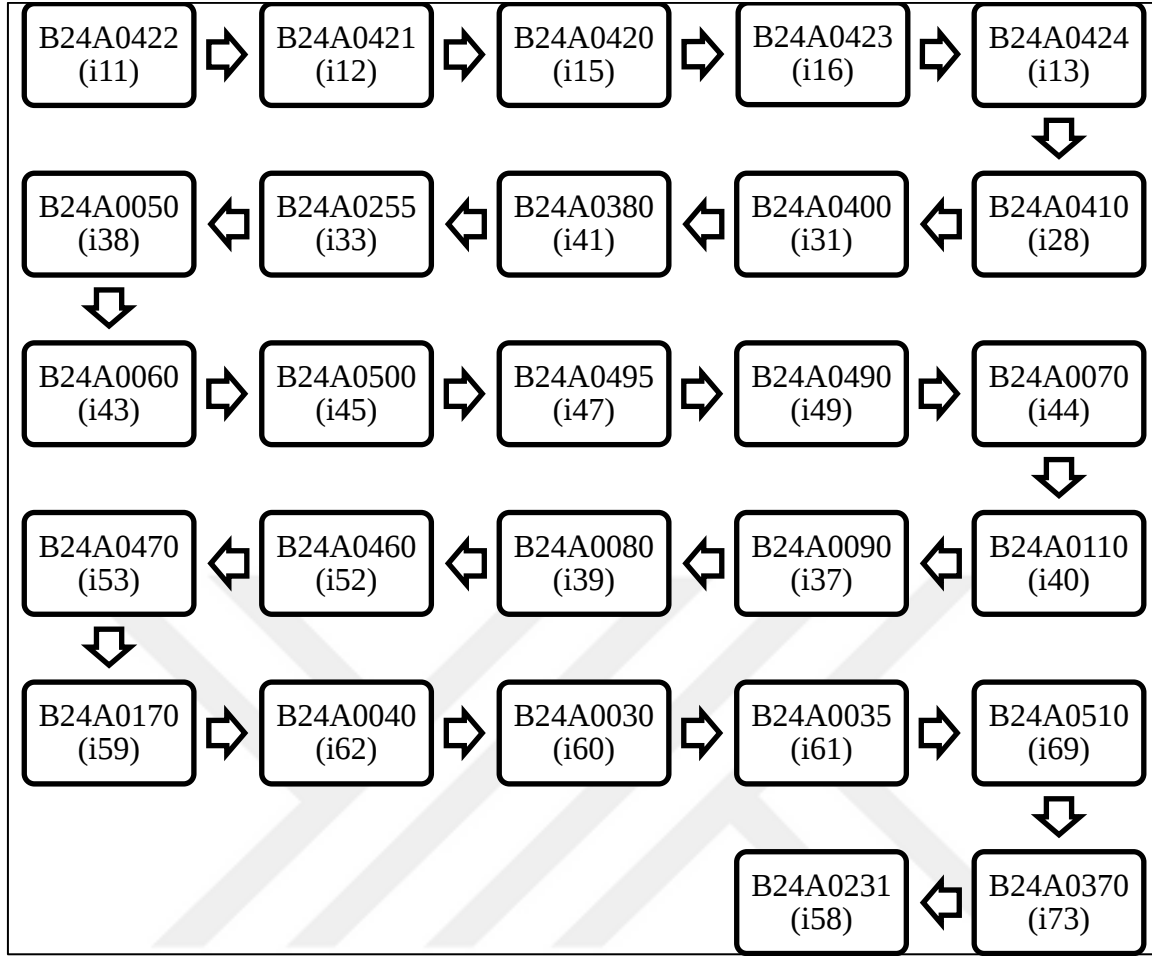


Harita 3.2. Birinci okuyucunun rotası



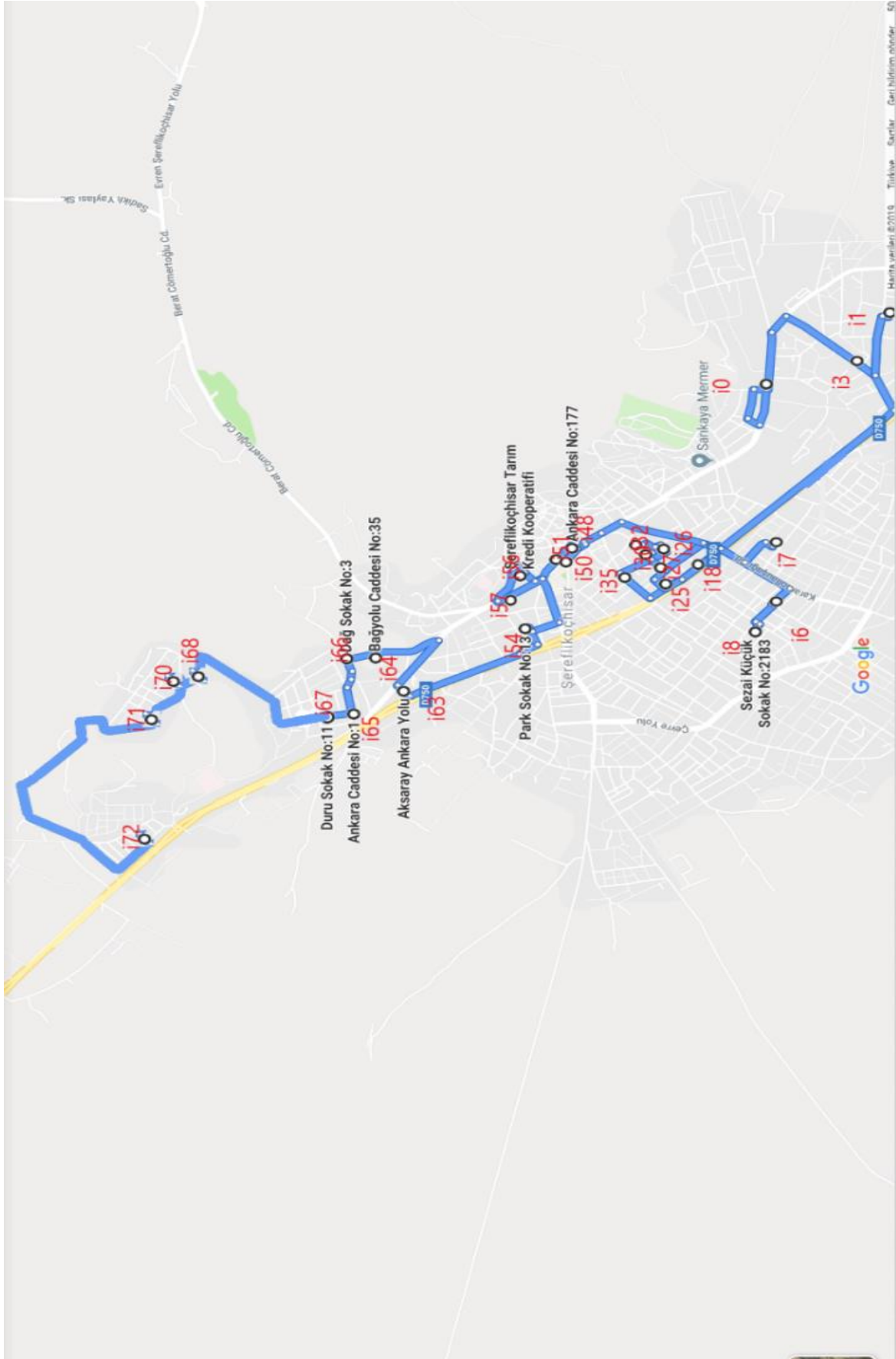
Şekil 3.1. Birinci okuyucunun okuma sırası

İkinci okuyucunun rotası ve sobların okunma sırası Harita 3.3 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.

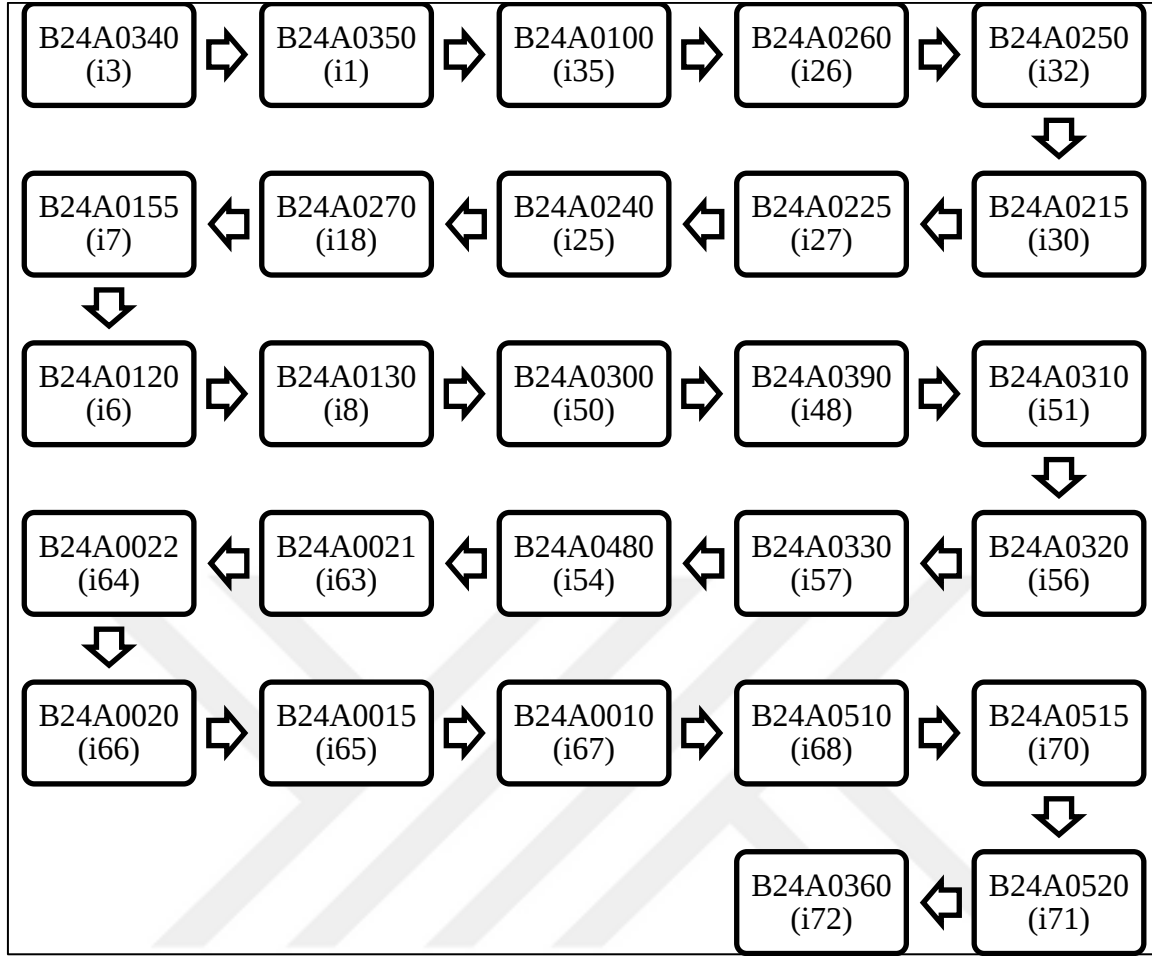


Şekil 3.2. İkinci okuyucunun okuma sırası

Üçüncü okuyucunun rotası ve sobların okunma sırası Harita 3.4 ve Şekil 3.3'te verilmiştir.



Harita 3.4. Üçüncü okuyucunun rotası



Şekil 3.3. Üçüncü okuyucunun okuma sırası

Tüm bu çıktılarına göre mevcut rotalarda okuyucular toplamda 129 987 metre mesafe kat ederek tüm sobaları okuyabilirken Gams sonucu oluşan rotaların toplamı 48 300 metredir. Yani, rotaların toplam uzunluğu yeni çözümde % 62,84'lük oranda bir düşüş göstermiştir.

3.2.3. Karşılaştırmalar

Matematiksel modelin koşturulması sonucu elde edilen sonuçlarla mevcut durumun karşılaştırılması Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Mevcut durum ve önerilen durumun karşılaştırılması

	Mevcut Durum	Önerilen durum
Mesafe (m)	129 987	48 300
Okuyucu sayısı	3	3
Gün	15	15

Çizelge 3.2'ye bakıldığında mesafe için, önerilen durumun mevcut durumdan %62,84'lük oranda düşüş gösterdiği görülmektedir. Bu durumun temel sebebi, çalışma sonucunda bir soba yalnız bir okuyucunun girmesinin sağlanmasıdır.

Okuyucu sayısı mevcut durumla önerilen durum sonrasında aynı şekilde kalmıştır. Eğer çalışma daha büyük çaplı, soba sayısı fazla olan bir operasyon merkezinde yapılırsa okuyucu sayısından da kazanç elde edilebileceği düşünülmektedir.

Okuyucular Şereflikoçhisar'da kısıtlı gün sayısında çalıştıkları için gün sayısından da kazanç elde edilememiştir. Fakat tıpkı okuyucu sayısındaki gibi ayın her günü çalışılan bir operasyon merkezinde çalışma gerçekleştirilirse gün sayısından da kazanç elde edilebileceği düşünülmektedir.

Ayrıca çözümden sonra oluşturulan rotalar, her ay için düzenli olacağından ötürü sayaçların Elektrik Piyasası Tüketici Hizmetleri Yönetmeliği' nin 32. maddesine uygun olarak 25-35 gün aralığında okunma oranını da arttıracakları öngörülmektedir.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Ankara’ da elektrik dağıtımı yapan bir firmanın, sahadaki sayaçlara fatura bırakabilmek adına mobil cihazlar yardımıyla endekslerini okuyan endeks okuyucularının, sayaçları hangi sırada okurlarsa daha az mesafe kat ederler sorununa çözüm bulunması amaçlanmıştır.

Araç rotalama problemindeki parametrelerle elektrik dağıtım firmasının parametrelerinin gösterdiği benzerlikten yararlanılarak, araç rotalama problemlerinin günlük hayatta karşımıza çıkan gerçek yaşam sorunlarının çözümüne olan yatkınlığı da göz önüne alındığında problem araç rotalama problemi haline dönüştürölüp uygun bir matematiksel modelle çözümö sağlanmışır.

Mevcut düzende şirket okuyuculara tesisat bazlı görev atamaktadır. Yapılan çalışmada okuyuculara sayaç okuma birimi bazında atama yapılmıştır. Böylece yeni oluşturulan rotaların toplam mesafesi 48 300 m olup, mevcut durumdaki 129 987 m olan uzunluğa oranla %62,84 iyileşme göstermiştir. Mesafenin azalması, okuyucuların daha az yorulmalarına ve daha verimli çalışmalarına olanak sağlayacaktır.

Problemde soblar arası mesafelerin yani rotaların simetrik olduğu varsayımı yapılmıştır. Fakat gerçek hayatta coğrafi özellikler, kullanılan yollar, trafik sıkışıklığı vb. gibi çeşitli nedenlerden dolayı çoğu zaman iki nokta arası geliş ve gidişler eşit uzaklıkta olmayabilmektedir. İlerideki çalışmalarda rotalar simetrik olmadan alınan mesafelerle daha gerçekçi çözümler elde edilebilir.

Uygulama için Şereflikoçhisar ilçesi seçilmiş ve nispeten küçük bir operasyon merkezi için rotalar oluşturulmuştur. İlerideki çalışmalarda Ankara’nın daha büyük ve kalabalık bir operasyon merkezi için sezgisel yöntemler kullanılarak yeni rotalar oluşturulabilir. Böylece okuyucu sayılarında ve okunma sürelerinde de kazançlar elde edilebilir.

Kullanılan matematiksel modeldeki kısıtlar en temelde gerçekleşmesi gereken kısıtlardan oluşmaktadır. Fatura bırakma için belirlenen saat ve özel gün kısıtları eklemeleriyle problem daha da zorlaştırılabilir.

Yukarıdaki sonuçların değerlendirilmesi göz önüne alındığında özet olarak; günümüz dünyasında müşteriyle birebir temasta bulunan süreçlerin iyileştirilmesi firmaların rekabet ortamında avantaj sağlamasına yardımcı olmaktadır, yeni oluşturulan rotalarla elektrik dağıtım firmasının saha personellerini daha etkin şekilde kullanması ve müşteri memnuniyetinin artırılması sağlanmıştır. Şirketin bu düzenlemeyi endeks okuma haricindeki diğer süreçlerde de uygulayabilirliği ve gerçek hayatta karşılaşılan farklı sorunlara araç rotalama problemleriyle çözüm oluşturulabileceği sonucu elde edilmiştir.



KAYNAKLAR

- Aksen, D., Özyurt, Z. ve Aras, N. (2007). The open vehicle routing problem with driver nodes and time deadlines. *Journal of the Operational Research Society*, 58(9), 1223–1234.
- Alpaslan, M. (2015). *Araç Rotalama Problemleri İçin Matematiksel Modeller ve Çözüm Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Apak, G. (2018). *Çoklu Depolu Araç Rotalama Probleminin Hibrid Algoritmalar Yöntemiyle Çözülmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Ballou, R. (1999). *Business logistics management, planning, organizing and controlling the supply chain* (Fifth edition). USA: Prentice Hall.
- Baños, R., Ortega, J., Gil, C., Márquez, A. L. and De Toro, F. (2013). A hybrid meta-heuristic for multi-objective vehicle routing problems with time windows. *Computers and Industrial Engineering*, 65(2), 286–296.
- Bektaş, T. ve Elmastaş, S. (2007). Solving school bus routing problems through integer programming. *Journal of the Operational Research Society*, 58, 1599 -1604.
- Bianchi, L. (2000). Notes on dynamic vehicle routing. *The State of the Art Technical Report IDSIA*, 1-15.
- Blum, C. and Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, 35(3), 268-308.
- Brandão, J. (2004). A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 157(3), 552–564.
- Bräysy, O. and Gendreau, M. (2001). Metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows. *SINTEF Report, SINTEF Applied Mathematics, Research Council of Norway*.
- Bräysy, O. (2001). Genetic algorithms for the vehicle routing problem with time windows. *Department of Mathematics and Statistics University of Vaasa*, 33-38.
- Brito, J., Martinez, F. J., Moreno, J. A. and Verdegay, J. L. (2015). An ACO hybrid metaheuristic for close-open vehicle routing problems with time windows and fuzzy constraints. *Applied Soft Computing Journal*, 32, 154–163.
- Bodin, L. D., Golden, B. L., Assad, A. and Ball, M. (1981). The state of the art in the routing and scheduling of vehicles and crews. *US Department of Transportation*, 55-106.

- Can Atasagun, G. (2015). *Zaman Bağımlı Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Chiang, W.C., Russell, R., Xu, X. and Zepeda, D. (2009). A simulation/metaheuristic approach to newspaper production and distribution supply chain problems. *International Journal of Production Economics*, 121, 752–767.
- Çeyrekoğlu, S. (2017). *Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Örnek Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çevik, O. (2006). Tamsayılı doğrusal programlama ile işgücü planlaması ve bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 157-169.
- Çetin, E. (2005, 21-23 Nisan). *Dinamik programlama ile sınır tenörü optimizasyonu*. Doğu ve Güneydoğu Madenlerinin Değerlendirilmesi Sempozyumunda sunuldu, Diyarbakır.
- Daneshzand, F. (2011). The vehicle-routing problem. R. Z. Farahani, S. Rezapour and L. Kardar (Eds.), *In Logistics Operations and Management: Concepts and Models*, 127-153.
- Demir, E. (2008). *Okul Taşıtları Rotalama Problemi İçin Tamsayılı Karar Modelleri*, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demircioğlu, M. (2009). *Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım İle Çözümlemesi Üzerine Bir Uygulama*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Derigs, U. and Reuter, K. (2009). A simple and efficient tabu search heuristic for solving the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 60, 1658–1669.
- Dikmen, H., Elbir, A., Ekşi, Z. ve Çelik, F. (2014). Gezin satıcı probleminin karınca kolonisi ve genetik algoritmalarla eniyilemesi ve karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(18), 8-13.
- Erbao, C. and Mingyong, L. (2010). The open vehicle routing problem with fuzzy demands. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2405–2411.
- Erel, R. (1995). *Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi: Otobüsle Kentler Arası Yolcu Taşımacılığı İçin Bir Model*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdem Demirtaş, Y. (2015). *Dinamik Araç Rotalama Problemine Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması Çözüm Önerisi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- Ermuaf, E. (2019). *Çok Amaçlı Konteyner Yükleme ve Araç Rotalama Problemlerinin Çözümü İçin Genetik Algoritma Yaklaşımı: Porselen Sektöründe Karar Destek Sistemi Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Erol, V. (2006). *Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eryavuz, M. ve Gencer, C. (2001). Araç rotalama problemine ait bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 132-155.
- Fleszar, K. Osman, I. H. and Hindi, K. S. (2009). A variable neighbourhood search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 195, 803-809.
- Fu, Z., Eglese, R. and Li, L. Y. O. (2005). A new tabu search heuristic for the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 56(3), 267–274.
- Hu, X., Wang, Z., Huang, M. and Zeng, A. Z. (2009). A computer-enabled solution procedure for food wholesalers' distribution decision in cities with a circular transportation infrastructure. *Computers and Operations Research*, 36, 2201-2209.
- Karaoğlu, İ. (2009). *Dağıtım Ağları Tasarımında Yer Seçimi ve Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995). *Particle Swarm Optimization*. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, 1942-1948.
- Larsen, A. (2001). *The Dynamic Vehicle Routing Problem*, Ph.D. thesis, Department of Mathematical Modelling Technical University of Denmark, Danimarka.
- Letchford, A. N., Lygaard, J. and Eglese, R. W. (2007). A branch-and-cut algorithm for the capacitated open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 58(12), 1642–1651.
- Li, F., Golden, B. and Wasil, E. (2007). The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results. *Computers and Operations Research*, 34(10), 2918–2930.
- Lin, S. W., Lee, Z. J., Ying, K. C. and Lee, C. Y. (2009). Applying hybrid meta-heuristic for capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Application*, 36(2), 1505-1512.
- Liu, R., Jiang, Z. and Geng, N. (2012). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot open vehicle routing problem. *Springer-Verlag*, 36(2), 401-421.

- López Sánchez, A. D., Hernández Díaz, A. G., Vigo, D., Caballero, R. and Molina, J. (2014). A multi-start algorithm for a balanced real-world open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 104–113.
- MirHassani, S. A. and Abolghasemi, N. (2011). A particle swarm optimization algorithm for open vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11547–11551.
- Osman, I. H. and Kelly, J. P. (1996). Meta-Heuristics: theory & applications. *Kluwer Academic Publisher*.
- Özkan, P. (2006). *Araç Rotalama ve Çizelgeleme*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pisinger, D., and Ropke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 34(8), 2403-2435.
- Potvin, J., Y, Xu. and Benyahia, I. (2004). Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times. *Computers & Operations Research*, 0305 – 0548.
- Repoussis, P. P., Tarantilis, C. D., Braysy, O. and Ioannou, G. (2010). A hybrid evolution strategy for the open vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 37 (3), 443-455.
- Russell, R., Chiang, W. C. and Zepeda, D. (2008). Integrating multi-product production and distribution in newspaper logistics. *Computers and Operations Research*, 35, 1576–88.
- Salhi, S. and Nagy, G. (2005). Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 162, 126-141.
- Sariklis, D. and Powell, S. (2000). A heuristic method for the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*. 51(5), 564–573.
- Solomon, M. and Desrosiers, J. (1988). Time window constrained routing and scheduling problems. *Transportation Science*, 22(1), 1-13.
- Şeker, Ş. (2007). *Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tarantilis, C., Diakoulaki, D. and Kiranoudis, C. (2004). Combination of Geographical Information System and Efficient Routing Algorithms for Real Life Distribution Operations. *European Journal of Operational Research*, 152, 437-53.
- Tonbul, E. (2016). *Gerçek Hayat Maliyetlerini Göz Önüne Alan Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi İçin Bir Melez Genetik Algoritma Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Toth, P. and Vigo, D. (2002). The vehicle routing problem. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, Philadelphia.
- Tüfekçier, H. (2008). *İki Amaçlı Açık Araç Rotalama Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-18.
- Ünsal, M. (2010). *Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi: M.T.A. Servis Güzergahlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, Ş. (2008). *Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Karınca Kolonisi Optimizasyonu İle Modellenmesi ve Bir Çözüm Önerisi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yiğit, V. ve Türkbey, O. (2003). Tesis yerleşim problemlerine sezgisel metotlarla yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(4), 45-56.
- Yu, S., Ding, C. and Zhu, K. (2011). A hybrid GA-TS algorithm for open vehicle routing optimization of coal mines material. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10568–10573.
- Yu, V. F., Jewpanya, P. and Redi, A. A. N. P. (2016). Open vehicle routing problem with cross-docking. *Computers and Industrial Engineering*, 94, 6–17.
- Yücel, A. (2016). *Mesafe Kısıtlı Çok Yönlü Kümelenmiş Açık Araç Rotalama Probleminin Genetik Algoritma İle Çözümü ve Bir Uygulama*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Zachariadis, E. E. and Kiranoudis, C. T. (2010). An open vehicle routing problem metaheuristic for examining wide solution neighborhoods. *Computers and Operations Research*, 37(4), 712–723.
- Zhang, D., Cai, S., Ye, F., Si, Y. W. and Nguyen, T. T. (2017). A hybrid algorithm for a vehicle routing problem with realistic constraints. *Information Sciences*, 394, 167-182.





EK-1. Soblar arası uzaklık matrisi

[illegible]

[illegible]

EK-1. (devam) Soblar arası uzaklık matrisi

i34	i35	i36	i37	i38	i39	i40	i41	i42	i43	i44
3700	2500	4000	2800	2300	2700	2700	2100	3900	2400	2700
3600	2600	3800	2800	2800	2900	2700	2800	4100	3000	2900
1600	2200	1700	2400	2300	2500	2300	2200	2000	2600	2500
3300	2400	3600	2500	2500	2600	2500	2300	3800	2700	2600
2100	1500	2200	1600	1500	1700	1600	1400	2500	1800	1800
1000	2800	1100	3000	2300	2300	2900	2800	1600	2200	2000
1900	1200	2000	1400	1300	1500	1300	1200	2300	1600	1500
2000	1100	2300	1200	1100	1300	1200	1000	2500	1400	1400
1600	1500	1700	1700	1600	1700	1600	1500	1900	1900	1800
1000	2000	1100	2100	2100	2000	2000	2000	1300	1900	1700
1900	800	2200	1200	900	1200	1100	900	2500	1100	1300
2600	1300	2900	1800	1200	1500	1800	900	3100	1400	1900
2500	1200	2800	1700	1100	1400	1700	800	3000	1300	1800
2500	1200	2700	1700	1100	1400	1600	800	3000	1200	1800
2000	700	2300	1300	800	900	1200	900	2600	1000	1400
2500	1200	2800	1700	1100	1400	1700	800	3000	1200	1900
2500	1200	2800	1800	1100	1400	1700	800	3100	1300	1900
1200	1000	1700	1400	1200	1200	1300	1100	2000	1300	1500
1500	500	1700	700	700	800	600	1000	2000	900	800
800	1700	1200	1600	1600	1500	1500	2300	1400	1400	1200
1100	2100	600	2000	2000	2000	2000	2200	800	1900	1700
300	1700	600	1600	1500	1500	1500	2400	1000	1400	1200
2000	500	2200	800	500	700	1100	400	2500	700	1300
1900	500	2200	800	500	700	1100	400	2500	700	1300
700	1900	400	1800	1800	1800	1800	2000	600	1700	1500
1400	300	1700	400	400	500	600	800	2000	500	800
1600	300	1800	600	400	500	800	500	2100	600	800
1400	300	1700	400	400	500	600	600	2000	500	800
2800	1000	3100	1300	900	1200	1300	600	3400	1000	1300
400	1500	1300	1400	1300	1300	1300	2100	1600	1200	1000
1500	200	1700	500	300	400	700	500	2000	400	700
2300	600	2600	900	500	800	900	200	2800	700	900
2100	400	2400	700	500	600	900	600	2600	700	900
1400	300	1700	600	200	500	600	200	2000	400	600
99999	1300	600	1200	1200	1200	1200	2100	1300	1100	900
	99999	1600	300	100	200	400	500	1900	300	500
		99999	1500	1500	1400	1400	1700	200	1300	1100
			99999	400	100	87	700	1600	200	200
				99999	300	400	400	1800	200	400
					99999	100	600	1600	100	200
						99999	800	1500	300	100
							99999	2000	500	800
								99999	1200	1000
									99999	300
										99999

EK-1. (devam) Soblar arası uzaklık matrisi

i45	i46	i47	i48	i49	i50	i51	i52	i53	i54	i55
2500	3700	2600	2300	2700	2400	2400	3000	2900	3000	3800
3000	3500	3000	3100	3100	3100	3200	3300	3200	3300	3600
2700	2200	2500	2400	2500	2500	2500	2600	2600	2600	2200
2700	3200	2700	2500	2800	2600	2600	3000	2900	3000	3300
1900	2300	1800	1700	1900	1700	1800	2100	2100	2100	2700
2100	1600	1900	2400	1900	2500	2400	2000	2000	2000	1600
1600	2000	1600	1400	1700	1500	1600	1900	1800	1900	2500
1500	1900	1400	1300	1500	1300	1400	1700	1700	1700	2000
1900	1600	1700	1700	1600	1800	1800	1800	1700	1800	2200
1900	1600	1600	2200	1600	2200	2200	1800	1700	1800	1600
1400	1800	1300	1100	1500	1200	1200	1600	1600	1600	2000
1400	2500	1600	1200	1600	1200	1300	1700	2200	2300	2600
1300	2400	1500	1100	1500	1100	1200	1600	2100	2200	2500
1200	2400	1400	1000	1400	1100	1100	2200	2100	2200	2500
1100	1900	1400	1100	1600	1200	1200	1700	1700	1700	2000
1200	2400	1400	1000	1400	1100	1100	2200	2200	2200	2500
1300	2400	1400	1100	1500	1100	1200	2200	2200	2200	2600
1600	1300	1400	1300	1300	1400	1400	1500	1400	1500	1500
900	1300	900	900	1000	1000	1000	1200	1100	1100	1500
1400	1100	1200	1700	1100	1700	1700	1300	1200	1300	1300
1800	1300	1600	2100	1600	2100	2100	1700	1700	1700	1300
1300	900	1100	1700	1100	1700	1700	1300	1200	1200	1100
900	1800	900	700	1500	800	800	1700	1600	1700	2000
800	1800	900	600	1500	700	800	1600	1600	1600	2000
1600	1100	1400	1900	1400	1900	1900	1500	1500	1500	1100
700	1300	800	700	1000	800	800	1100	1100	1100	1400
700	1400	700	700	800	700	800	1300	1200	1200	1600
700	1300	700	600	800	700	700	1100	1100	1100	1400
1000	2700	1200	800	1200	900	900	1400	1500	1600	2900
1100	900	900	1500	900	1500	1500	1100	1000	1000	1100
600	1400	600	500	700	600	700	800	1100	1200	1500
700	2200	800	400	900	500	600	1000	1100	1200	2300
800	2000	800	700	900	800	900	1100	1800	1800	2100
500	1300	500	500	600	500	500	800	800	1100	1400
1000	500	800	1300	800	1300	1300	900	900	900	800
400	1200	500	400	600	500	500	700	1000	1000	1300
1300	800	1100	1600	1000	1600	1600	1200	1100	1200	800
300	900	400	600	500	700	800	700	700	700	1100
300	1100	400	300	400	300	400	600	600	900	1300
300	900	300	600	400	700	700	800	700	800	1100
300	800	300	700	400	800	800	600	600	600	1000
400	1300	700	200	600	300	300	800	800	1000	1400
1200	600	900	1500	900	1500	1500	1100	1000	1100	700
200	1000	200	400	300	500	600	500	500	800	1100
300	800	100	700	100	800	800	300	300	600	900
99999	900	200	400	200	400	500	400	400	700	1100
	99999	800	1300	800	1400	1300	900	900	900	400
		99999	600	47	700	700	200	200	500	800
			99999	600	100	100	600	700	800	1400
				99999	600	700	100	200	500	800
					99999	300	500	500	700	1500
						99999	500	500	700	1200
							99999	48	200	800
								99999	100	800
									99999	900
										99999

i56	i57	i58	i59	i60	i61	i62	i63	i64	i65	i66
2700	2800	14400	3300	3100	3200	3300	3700	3600	4100	3800
3400	3600	12400	3600	3800	4000	4100	3900	4400	4800	4600
3000	2900	10600	2900	3200	3300	3400	3300	3800	4100	4000
2900	3300	12100	3300	3300	3500	3500	3600	4100	4500	4300
2000	2400	11100	2400	2700	2800	2900	2700	3200	3600	3400
2400	2300	10000	2300	2600	2700	2800	2700	3200	3500	3400
1800	2200	10900	2200	2400	2600	2700	2500	3000	3400	3200
1600	2000	10800	2000	2300	2400	2500	2300	2800	3200	3000
2100	2100	10500	2100	2300	2500	2600	2400	2900	3300	3100
2100	2100	9900	2100	2300	2500	2600	2400	2900	3300	3100
1500	1900	10800	1900	1900	2000	2100	2300	2400	3100	2500
1500	1800	11400	2600	1900	2100	2200	2900	2500	3000	2600
1400	1700	11300	2500	1800	2000	2100	2800	2400	2900	2500
1400	1700	11300	2500	1800	1900	2000	2800	2300	2800	2500
1500	1700	10800	2000	1900	2000	2100	2400	2400	3200	2500
1400	1700	11300	2500	1800	2000	2000	2800	2300	2800	2500
1400	1700	11300	2500	1800	2000	2100	2900	2400	2900	2500
1700	1800	10300	1800	2000	2200	2300	2100	2600	3000	2800
1500	1500	10300	1400	1700	1900	2000	1800	2300	2700	2500
1600	1600	10000	1600	1800	2000	2100	1900	2400	2800	2600
2100	2000	9200	2000	2300	2400	2500	2400	2800	3200	3100
1600	1600	9400	1500	1800	2000	2000	1900	2400	2800	2600
1000	1300	10800	2000	1500	1600	1700	2300	2000	2500	2100
1000	1300	10800	1900	1400	1600	1700	2300	1900	2500	2100
1900	1800	9000	1800	2100	2200	2300	2200	2700	3000	2900
1100	1400	10200	1400	1500	1700	1700	1800	2200	2600	2500
1100	1300	10400	1500	1500	1600	1700	1900	2000	2800	2100
1000	1300	10200	1400	1400	1600	1600	1800	1900	2600	2100
1200	1600	11700	1900	1600	1800	1800	3200	2100	2600	2300
1400	1400	9900	1400	1600	1800	1900	1700	2200	2600	2400
900	1200	10300	1500	1300	1500	1600	1800	1800	2400	2000
800	1100	11100	1500	1200	1400	1500	2700	1800	2300	1900
1100	1400	10900	2100	1600	1700	1800	2400	2100	2600	2200
800	1100	10200	1400	1200	1300	1400	1800	1700	2200	1900
1300	1200	9200	1200	1500	1600	1700	1600	2000	2400	2300
800	1100	10100	1300	1200	1300	1400	1700	1700	2200	1900
1500	1500	8900	1500	1700	1900	2000	1800	2300	2700	2500
600	1000	9800	1000	1300	1400	1500	1400	1800	2200	2100
700	900	10000	1200	1100	1200	1300	1600	1600	2100	1700
600	1100	9900	1100	1000	1200	1200	1400	1900	2300	2100
600	900	9800	900	1200	1300	1400	1300	1800	2100	2000
600	900	10200	1200	1000	1200	1200	1800	1500	2000	1700
1400	1400	8800	1400	1600	1800	1900	1700	2200	2600	2400
800	1100	9900	1100	1200	1400	1500	1500	1700	2300	1900
600	900	9700	900	1100	1300	1400	1200	1700	2100	1900
400	1000	9800	1000	800	1000	1100	1400	1400	2200	1500
1300	1200	9100	1200	1500	1600	1700	1600	2100	2400	2300
500	800	9600	800	1100	1200	1300	1200	1600	2000	1900
400	700	10200	1100	800	1000	1000	1700	1300	1900	1500
500	800	9600	800	1000	1200	1300	1100	1600	2000	1800
300	600	10300	900	700	800	900	1800	1200	1700	1400
300	500	10000	900	700	800	900	1500	1200	1700	1300
500	500	9500	600	700	800	900	1000	1200	1900	1400
500	500	9600	500	600	800	900	1000	1200	1800	1300
500	300	9700	600	500	700	700	900	1000	1800	1200
1300	1300	9300	1300	1500	1700	1800	1600	2100	2500	2300
99999	400	10300	800	600	800	800	1500	1100	1600	1300
	99999	10000	1000	700	900	1000	1600	1200	1800	1400
		99999	10000	10300	10500	10500	10400	10900	11300	11100
			99999	500	700	800	700	800	1300	1000
				99999	200	200	1100	800	1300	900
					99999	600	1100	500	1000	600
						99999	1300	700	1200	900
							99999	800	1300	900
								99999	500	200
									99999	400
										99999

EK-2. Problemin çözümü için çalıştırılan Gams çıktısı

*** REPORT SUMMARY: 0 NONOPT

0 INFEASIBLE

0 UNBOUNDED

GAMS 24.1.3 r41464 Released Jul 26, 2013 WIN-VS8 x86/MS Windows 07/22/19

11:44:40 Page 6

General Algebraic Modeling System

Execution

---- 210 VARIABLE x.L

	i1	i2	i3	i4	i5	i6
i0			1.000			
i2					1.000	
i3	1.000					
i4		1.000				
i7						1.000
i17				1.000		
+	i7	i8	i9	i10	i11	i12
i0				1.000	1.000	
i5			1.000			
i6		1.000				
i11					1.000	
i18	1.000					
+	i13	i14	i15	i16	i17	i18
i10		1.000				
i12			1.000			
i15				1.000		
i16	1.000					
i23					1.000	
i25						1.000
+	i19	i20	i21	i22	i23	i24

EK-2. (devam) Problemin çözümü için çalıştırılan Gams çıktısı

```

i9      1.000
i14      1.000
i21      1.000
i22      1.000
i24      1.000
i34      1.000
+   i25      i26      i27      i28      i29      i30
i13      1.000
i19      1.000
i27      1.000
i30      1.000
i32      1.000
i35      1.000
+   i31      i32      i33      i34      i35      i36
i1      1.000
i20      1.000
i26      1.000
i28      1.000
i29      1.000
i41      1.000
+   i37      i38      i39      i40      i41      i42
i31      1.000
i33      1.000
i36      1.000
i37      1.000
i40      1.000
i44      1.000
+   i43      i44      i45      i46      i47      i48
i38      1.000
i42      1.000

```

EK-2. (devam) Problemin çözümü için çalıştırılan Gams çıktısı

```

i43          1.000
i45          1.000
i49          1.000
i50          1.000
+   i49   i50   i51   i52   i53   i54
i8          1.000
i39          1.000
i47   1.000
i48          1.000
i52          1.000
i57          1.000
+   i55   i56   i57   i58   i59   i60
i46   1.000
i51          1.000
i53          1.000
i56          1.000
i62          1.000
i73          1.000
+   i61   i62   i63   i64   i65   i66
i54          1.000
i59          1.000
i60   1.000
i63          1.000
i64          1.000
i66          1.000
+   i67   i68   i69   i70   i71   i72
i61          1.000
i65   1.000
i67          1.000
i68          1.000

```

EK-2. (devam) Problemin çözümü için çalıştırılan Gams çıktısı

i70		1.000
i71		1.000
+	i73	i74
i55		1.000
i58		1.000
i69	1.000	
i72		1.000

EXECUTION TIME = 0.015 SECONDS 3 MB 24.1.3 r41464 WIN-VS8

USER: Gary Goldstein G010614:2121CA-WIN

Decision Ware, Inc. DC2807

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KUBAT, Fehmiye Nur
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 22.04.1993, Mersin
Medeni hali : Evli
e-mail : fehmiyenuryilmaz@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2015
Lise	Mersin Yusuf Kalkavan Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Enerjisa, Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş.	Uzman Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Kubat, F. ve Toklu, B. (2019, 13-15 Haziran). *Araç rotalama problemlerinin elektrik dağıtım sektöründe uygulanması*. VI. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumunda sunuldu, Ankara.

Hobiler

Yürüyüş, Yemek, Sinema



GAZİ GELECEKTİR..