

Karbon Ayak İzini Dikkate Alan Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama

Serhat Elbasan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2015

Vehicle Routing With Simultaneous Pickup-Delivery Considering Carbon Footprint

Serhat Elbasan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

June 2015

Karbon Ayak İzini Dikkate Alan Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama

Serhat Elbasan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK

Haziran 2015

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Serhat Elbasan'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Karbon Ayak İzini Dikkate Alan Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK

Üye : Doç. Dr. Aydın Sipahioğlu

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aykut Arapoğlu

Üye : Doç. Dr. Şafak Kırış

Üye : Doç. Dr. Murat Karacasu

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK danışmanlığında hazırlamış olduğum “Karbon Ayak İzini Dikkate Alan Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 30/06/2015

Serhat Elbasan

İmza

ÖZET

Özellikle yirminci yüzyılın ikinci yarısında ekonomik ve teknolojik gelişmelere paralel olarak çevresel değerlerin bozulması veya yok edilmesi, toplumların gelişmesine rağmen, kıtlık, açlık, sera etkisi, küresel ısınma gibi sorunlara çözüm bulunamaması dikkatleri giderek artan seviyede çevre konularına çekmiş ve yeşil yönetim kavramı ortaya çıkmıştır. Çevreci politikalar şirketlerin maliyet düşürme politikaları ile zaman zaman ters düşse de, müşterilerin beklentisi doğrultusunda gerekli düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Toplama ve dağıtımın ayrı ayrı planlandığı rotalama faaliyetlerine göre kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak sağlayan eşzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi lojistik giderlerinin azalmasına olanak sağlamaktadır. Çalışmada, yol eğimlerini dikkate alarak karbon emisyonunu azaltmaya yönelik bir model tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, karma tamsayı bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model İstanbul'un Anadolu yakasındaki ilçelerde gerçekleştirilen eşzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi için örneklenmiştir. Dğümler arasındaki bütün yollar için yol eğimleri dikkate alınarak revize edilmiş uzaklıklar bulunmuş ve problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Ayrıca büyük problemler için, en iyi sonucu garanti etmeyen fakat problemlere daha kısa sürede sonuç elde edilebilen tavlama benzetimi algoritması önerilmiştir. Yeşil lojistik kapsamında elde edilen sonuçlar klasik topla dağıt araç rotalama probleminin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karbon Ayak İzi, Araç Rotalama, Yeşil Lojistik, Tavlama Benzetimi, Yol Eğimi

SUMMARY

Especially in the second half of the twentieth century, in line with the economic and technological development, the degradation or the disappearance of environmental values, in spite of the development of the society, the incapacity to solve problems such as famine, famishment, greenhouse effect, global warming is drawing more attention on environmental issues and the notion of green management has emerged. Although the environmental policies are sometimes in opposition with the cost-reducing policies of the companies, the necessary regulations shall be performed according to the expectations of the clients.

The vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery allowing a more productive utilization of the resources according to the routing activities that plans collection and distribution separately permits the reduction in logistics costs. In this study, the conception has been aimed to reduce carbon emission taking into consideration the road slope. To this end, a mixed integer mathematical model has been proposed. The proposed model has been sampled for the villages of the Anatolian side of Istanbul. In this study, differently from the previous studies, the road slope has been taken into consideration. For all the roads between the nodes, the revised distances were finding in digital media and revised distances have been used for the resolution of the problems. Besides, for the major problems, the simulated annealing although not ensuring the best result but allowing obtaining results more rapidly has been used. The results obtained in the scope of the green logistics have been compared with the results of the classic vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery.

Keywords: Carbon Footprint, Vehicle Routing, Green Logistics, Simulated Annealing, Road Slope

TEŞEKKÜR

Bu alışmada, bana danışmanlık ederek, beni ynlendiren, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen ve her trl olanağı sağlayan sayın hocam Do. Dr. İnci SARIĞİĞEK'e teőekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen ve bu aşamaya gelmemde en büyük paya sahip olan sevgili annem Hayriye Elbasan'a, babam Sabri Elbasan'a ve ağabeyim Samet Elbasan'a sonsuz teşekkür eder ve minnettarlığımı sunarım.

Eğitim hayatım esnasında bana çeşitli konularda yardımları dokunan tüm hocalarıma teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Son olarak, gerek derslerde, gerekse tez çalışmamda desteklerini, ilgi ve alakalarını esirgemeyen değerli arkadaşlarıma Őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	14
3.1. Araç Rotalama Problemi Nedir?	14
3.2. Araç Rotalama Problemi Türleri	19
3.2.1. Dinamik ve statik çevre durumuna göre araç rotalama problemleri	21
3.2.2 Rotaların durumlarına göre araç rotalama problemleri	21
3.2.3. Yolların durumuna göre araç rotalama problemleri	23
3.2.4. Kısıtların durumuna göre araç rotalama problemleri	23
3.2.4.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi	24
3.2.4.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi	24

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.4.3. Zaman pencereleli araç rotalama problemi	25
3.2.4.4. Topla dağıt araç rotalama problemi.....	25
3.2.4.5. Periyodik araç rotalama problemi	27
3.2.4.6. Bölünmüş talepli araç rotalama problemi.....	27
3.2.4.7. Stokastik araç rotalama problemi	28
3.2.4.8. Çok depolu araç rotalama problemi.....	29
4. YEŞİL LOJİSTİK KAPSAMINDA EŞZAMANLI TOPLA-DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ.....	30
4.1. Yeşil Lojistik.....	30
4.2. İşletmelerin Yeşil Lojistiğe Geçişinde Yasal Zorunluluklar	32
4.3. Problemin Tanıtılması.....	37
4.4. Google Earth ile Eğitime Göre Revize Edilmiş Uzaklıkların Elde Edilmesi	42
4.5. Matematiksel Model	48
4.6. Boyut Analizi	52
4.7. Test Problemleri.....	54
4.8. Tavlama Benzetimi	59
4.9. Test Problemlerinin Sonuçları	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	71

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	73
Ek Açıklamalar-A.....	81
Ek Açıklamalar-B.....	88
Ek Açıklamalar-C.....	93
Ek Açıklamalar-D.....	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çözüm yöntemlerine göre dağılımlar	11
2.2. İncelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı	12
3.1. Araç rotalama kavramları	16
3.2. VRP sınıflandırması (Koç, 2012).	20
3.3. Kapalı uçlu ve açık uçlu problemler arasındaki fark	23
4.1. Örnek serim (Bektaş ve Laporte, 2011)	38
4.2. Google Earth örnek yol	42
4.3. Google Earth üzerinde yükseklik profili	43
4.4. Örnek yükseklik eğrileri	44
4.5. Göz hizası gösterimi	45
4.6. Köprü örneği.....	46
4.7. Ayrıtı parçalara ayırma örneği.....	46
4.8. Yüksek eğrisi grafiği	48
4.9. Serim ve araçla ilgili verilerin girildiği sayfa.....	60
4.10. Müşteri toplama ve dağıtım miktarlarının girildiği sayfa.....	61
4.11. Uzaklık matrisinin girildiği sayfa	61
4.12. SA parametre girişi ve sonuç sayfası.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. VRPSPD ile ilgili sezgisel ve meta-sezgisel çalışmalar	5
4.1. Amaç fonksiyonunda kullanılan parametreler	41
4.2. Ayırıt için revize edilmiş uzaklık	47
4.3. Boyut analizi	53
4.4. Uzaklık matrisi	55
4.5. Revize edilmiş uzaklık matrisi	56
4.6. Test problemleri-1	57
4.7. Test problemleri-2	58
4.8. Bir çözüm gösterimi	64
4.9. Başlangıç çözüm örneği	65
4.10. Mevcut çözüm gösterimi	66
4.11. Komşu çözüm gösterimi	67
4.12. Tavlama benzetimi parametreleri	68
4.13. SA ve en iyi çözüm karşılaştırmalı sonuçları	69
4.14. Amaç fonksiyonlarının karşılaştırmalı sonuçları	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Kısaltmalar****Açıklama****CFP**

Karbon Ayak İzi (Carbon Footprint)

CVRP

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (Capacitated Vehicle Routing Problem)

GL

Yeşil Lojistik (Green Logistics)

VRP

Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem)

VRPSD

Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery)

VRPTW

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

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte firmalar dünyanın farklı noktalarındaki müşterilerine kolaylıkla hizmet verebilmektedir. Müşteri yelpazesi geniş olan firmalar için lojistik ve dağıtım giderleri önemli yer tutmaktadır. Lojistik Yönetimi Konseyinin tanımına göre lojistik; müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere her türlü ürünün, servis hizmetinin ve bilgi akışının, başlangıç noktasından (kaynağından) tüketildiği son noktaya (nihai tüketiciye) kadar olan tedarik zinciri içindeki hareketinin etkili ve verimli bir şekilde planlanması, uygulanması, taşınması, depolanması ve kontrol altında tutulmasıdır (<http://cscmp.org>).

Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem-VRP) lojistik konusunda üzerinde çalışılan başlıca problemler arasındadır. VRP genel olarak, probleme özgü bazı kısıtların göz önüne alındığı konumları belirli n adet müşteriye belirli amaç veya amaçlar çerçevesinde servis sunulması aşamasında araç rotalarının belirlenmesi problemidir. İşletmelerde özellikle ürünlerin dağıtımını sırasında karşılaşılan bu problem, bazı sektörlerde oldukça yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Sürekli yapılması gereken bir işlem olan VRP çalışmaları, gerçekleştirilen her bir rotalama işlemi için işletmelere zaman ve maddi tasarruflar sağlar.

Araç rotalama problemlerinin en bilinen amacı, maliyeti enküçükmektir. Bunu yaparken kullanılan en temel ölçüt ise mesafenin enküçüklenmesidir. Literatürde farklı amaç fonksiyonları da göze çarpmaktadır. Bunları örneklendirmek gerekirse; hizmet için gerekli araç sayısını enküçüklemek, en büyük gecikmeyi enküçüklemek, taşıma işlemi için gerekli toplam zamanı enküçüklemek, taşımada kullanılan araçların taşıdığı malzeme veya kişi sayısını dengelemek, öncelikli müşterilere öncelikli hizmet vermek, sürücü maliyetlerini enküçüklemek ele alınan amaçlardan sadece bazılarıdır. Bu çalışmada ise yol eğimleri dikkate alınarak Yeşil Lojistik (Green Logistics-GL) kapsamında çevreci bir yaklaşım amaçlanmıştır.

Küresel ısınma son zamanlarda giderek önem kazanmaktadır. Bunun en temel nedeni sera gazı emisyonlarının doğa üzerinde küresel ısınma, deniz seviyesinin

yükselmesi ve çölleşme gibi geri dönüşü olmayan etkiler yaratmasıdır. Gün geçtikçe her ülke bu konuya daha çok önem vermektedir. Trafik yüzünden salınan sera gazı emisyonları göz ardı edilemez miktarlardadır. Sera gazının çevreye etkilerini doğrudan ve etkili bir şekilde azaltmanın yollarından biri de Karbon Ayak İzinin (Carbon Footprint-CFP) azaltılmasıdır (IPCC Climate Change, 2007). Çevre kirliliğinin birçok çeşidini barındıran modern yaşamda dünyayı gelecek nesillere aktarabilmemiz için CFP'nin azaltılması çok önemli bir yere sahiptir. CFP'nin doğrudan yakıt ile orantılı olması sebebiyle bu çalışmada CFP'yi dikkate alan bir amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

Literatür incelendiğinde bugüne kadar CFP ile ilgili Bektaş ve Laporte (2011) ile Liu vd. (2014) tarafından yapılmış aynı amaç fonksiyonun kullanıldığı iki temel çalışma mevcuttur. Bektaş ve Laporte'nin (2011) çalışmasında eğim bütün yollarda sabit bir değer olarak alınmıştır. Benzer amaç fonksiyonunun kullanıldığı Liu vd. (2014) çalışmasında alternatif yolların olduğu test problemlerinde, iki düğüm arasında dokuz farklı alternatif yol vardır ve bu yolların her birinin eğimi farklıdır. Yol boyunca eğimin sabit olması gerçek hayatta pek mümkün olmadığından, test problemlerine uygulanan bu yöntemin en büyük eksikliği eğimlerin gerçekçi bir şekilde yansıtılamamasıdır.

Gerçek hayat problemlerine bakılacak olursa iki nokta arasındaki mesafeyi giden bir aracın maliyeti birçok değişkenle ilişkilidir. Bunlardan ilk akla gelenler; harcanan yakıt, yakıt fiyatı, bakım giderleri, sürücü maliyetleridir. Harcanan yakıt miktarını da; aracın ağırlığı, yolun eğimi, yolun mesafesi, yolun özellikleri (sürtünme katsayısı, yuvarlanma katsayısı), aracın ivmesi, aracın yüzey alanı gibi birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörleri de dikkate alarak çözüm arayan yöntemler gerçek hayat problemlerine daha yakın sonuçlar verdiği için giderek önem kazanmaktadır.

Mevcut literatür incelendiğinde tersine lojistik açısından önemli bir yere sahip olan Eşzamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery-VRPSPD) için CFP'yi dikkate alan bir çalışmanın henüz yapılmamış olması sebebiyle, çalışmada VRPSPD ele alınmıştır. VRPSPD'nin ele alınan amaç fonksiyonu ile çözümü olmamasının yanı sıra CFP'yi dikkate alarak yapılan çalışmalar arasında gerçek eğimin kullanıldığı çalışma mevcut değildir. Genellikle iki müşteri arasındaki yollar simetrik olarak alınmıştır. Gerçek hayat problemlerinde tek yön

yolların olması sebebiyle bu durum zaten mümkün değilken, GL alanında bugüne kadar yapılan çalışmalarda eğitim yol boyunca sabit bir değer olarak alınmıştır. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan en temel farklılığı eğitimleri dijital ortamda hesaplayarak, gerçek eğitimlerin kullanıldığı revize edilmiş uzaklık matrisinin çözüm aşamasında kullanılmasıdır. Ayrıca, Dethloff'un (2001) VRPSPD için önerdiği matematiksel model uyarlanarak yol eğitimlerini dikkate alan VRPSPD için bir karma tamsayılı matematiksel model önerilmiştir.

Çalışmanın içeriği izleyen biçimdedir. Yapılan çalışmanın ikinci bölümünde literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümünde VRP ve VRP'nin türleri kısaca tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, GL'ye giriş yapılmıştır ve VRPSPD için yol eğitimlerini dikkate alarak karbon emisyon miktarını azaltmaya yönelik bir model önerilmiştir. Test problemlerinin çözümleri ve karşılaştırmalar sonrasında beşinci bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde kapsamlı bir şekilde incelenen VRP'nin çözülmesi ile şirketler dağıtım ağlarını iyileştirmektedir. VRP, bir veya birkaç depoya sahip ve/veya belirli sayıda müşteriye sahip firmaların, ürün dağıtımını yaparken seyahat mesafesini minimize etmeye çalışan problemdir. Genellikle probleme araç kapasitesi, yol uzunluğu, belirli bir zaman periyodunda hizmet verilmesi gereken müşteriler gibi bazı kısıtlar eklenir.

Literatüre 1959 yılında Dantzing ve Ramser (1959) tarafından kazandırılan VRP, çözümü oldukça zor bir kombinatoriyel (combinatorial) optimizasyon problemdir. Dantzing ve Ramser VRP'yi literatüre kazandırdıktan sonra problem ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Farklı amaçlar, kısıtlar, araç sayısı ve özelliklerine göre birçok çeşidi olan VRP 1980'lerde Topla-Dağıt VRP olarak kendine VRP'nin içinde özel bir yer edinmiştir. VRP'nin bu özel türü ile ilgili günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Topla-Dağıt VRP'nin de kendi içinde çeşitleri mevcuttur. Bu çalışmada; her müşteriye bir aracın sadece bir kez gittiği toplama ve dağıtım işleminin aynı anda gerçekleştiği problem olan VRPSPD ele alınmıştır. VRPSPD uygulamalarına sağlık, gıda, otomotiv gibi birçok farklı alanda rastlamak mümkündür.

VRPSPD 1989 yılında ilk olarak Min (1989) tarafından, halk kütüphanesine ait kitapların dağıtımını ve toplanmasıyla ilgili gerçek bir hayat problemini çözmek üzere ortaya konulmuştur. Min'in ele aldığı bu problemde 22 şubesi olan bir halk kütüphanesi 2 araç ile kitapların kütüphaneler arasında değişimini yapmaktadır. Problemi çözmek için, önce grublama ve sonra rotalama yaparak sezgisel bir algoritma önermiştir. Gruplanan müşteriler gezgin satıcı problemi esaslarınca çözülerek kapasiteyi aşan ayrıtlar cezalandırılmıştır. Bu işlem uygun çözüm elde edene kadar devam etmiştir.

2009 yılına kadar geçen süreçte VRPSPD ile ilgili yapılmış olan sezgisel ve meta-sezgisel çalışmaları içeren Subramanian vd. (2009) tarafından hazırlanmış olan çizelgeye günümüze kadar olan çalışmalar da eklenerek Çizelge 2.1 verilmiştir.

Çizelge 2.1. VRPSPD ile ilgili sezgisel ve meta-sezgisel çalışmalar

Yazarlar	Yıl	Yaklaşım
Min	1989	İlk çalışma
Halse	1992	Önce grupla sonra rotala stratejisi 3-opt prosedürü
Salhi ve Nagy	1999	Ekleme tabanlı sezgisel
Dethloff	2001	Dört farklı kritere göre ekleme tabanlı bir tur geliştirici sezgisel
Angelelli ve Mansini	2001	Dal-Fiyat Algoritması (Branch and Price Algorithm)
Vural	2002	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
Gökçe	2003	Karınca Kolonisi Eniyileme (Ant Colony Optimization)
Ropke ve Pisinger	2004	Büyük Komşuluk Arama (Large Neighborhood Search)
Salhi ve Nagy	2005	Farklı Fizibilite Seviyelerindeki Sezgiseller
Crispim ve Brandao	2005	Tabu Arama ve Değişken Komşu İniş (Tabu Search and Variable Neighborhood Descent)
Dell'amico vd.	2005	Dal-Fiyat Algoritması (Branch and Price Algorithm)
Chen ve Wu	2006	Karınca Kolonisi Eniyileme ve Tabu Listesi (Ant Colony Optimization and Tabu List)
Montane ve Galvao	2006	Yasaklı Arama (Tabu Search)
Bianchessi ve Righini	2007	Tabu Arama ve Değişken Komşu İniş (Tabu Search and Variable Neighborhood Descent)
Wassan vd.	2008	Tepkisel Yasaklı Arama (Reactive Tabu Search)
Subramanian ve Cabral	2008	İteratif Yerel Arama Sezgiseli (Iterative Local Search)
Subramanian vd.	2009	İteratif Yerel Arama ve Değişken Komşu İniş (Iterative Local Search and Variable Neighborhood Descent)
Zachariadis vd.	2009	Yasaklı Arama ve Rehberli Yerel Arama (Tabu Search and Guided Local Search)
Ai ve Kachitvichyanukul	2009	Kuş Sürüsü Eniyileme (Bird Flocking Optimization)
Gajpal ve Apad	2009	Karınca Kolonisi Eniyileme (Ant Colony Optimization)
Çatay	2010	Karınca Kolonisi Eniyileme (Ant Colony Optimization)
Tan	2011	Yasaklı Arama (Tabu Search)
Subramanian vd.	2011	Dal-Kesme (Branch-and-Cut)
Tasan ve Gen	2012	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)

Wang ve Chen	2012	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
Jun ve Kim	2012	Yörüngeli En Yakın Süpürme (Nearest Sweep with Perturbation)
Goksal vd.	2013	Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Değişken Komşu İniş (Particle Swarm Optimization and Variable Neighborhood Descent)
Lin vd.	2014	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
Li vd.	2015	Değişken Komşuluk Seçiminin Kullanıldığı Yinelemeli Yerel Arama (Iterated Local Search Embedded Adaptive Neighborhood Selection Approach)
Polat vd.	2015	Yörünge Temelli Değişken Komşuluk Arama Sezgiseli (Perturbation Based Variable Neighborhood Search Heuristic)
Wang vd.	2015	Paralel Tavlama Benzetimi (Parallel Simulated Annealing)
Avcı ve Topaloglu	2015	Uyarlamalı Yerel Arama Algoritması (Adaptive Local Search Algorithm)
Zachariadis vd.	2015	Yerel Arama (Local Search Algorithm)

VRPSPD için araştırmacılar farklı matematiksel modeller önermiştir (Min,1989; Dethloff, 2001; Nagy ve Salhi, 2005; Montane ve Galvao, 2006; Dell'Amico vd.,2006; Ai ve Kachitvicanukul, 2009).

Literatüre 1989 yılında Min tarafından kazandırılan bu konu sonraki ilk on yıl boyunca gereken ilgiyi görmemiştir. Halse'nin (1992) önerdiği ve yine iki aşamalı bir yaklaşım ile çözüm arayan bir sezgisel mevcuttur. Salhi ve Nagvy (1997) ekleme tabanlı bir sezgisel önererek, çoklu depo için de bu yöntemi uygulamıştır. Sonraki süreçte lojistik şirketlerin büyümesi ve küreselleşme neticesinde dünyanın bir ucundaki şirket kilometrelerce uzaktaki müşterisine ulaşabilecek hale geldi. Dethloff (2001) tarafından problemin matematiksel modeli ifade edilmiştir. Ayrıca dört farklı kritere göre ekleme stratejisini uygulayan tur kurucu bir sezgisel geliştirmiştir. Farklı bir matematiksel model

ve eklemeye dayalı sezgisel de Nagy ve Salhi (2005) tarafından önerilmiştir. Beasley tarafından 1983 yılında geliştirilen tur parçalama ve süpürme algoritmaları Tang ve Galvao (2002) tarafından VRPSPD'ye uyarlanmıştır.

VRPSPD NP-Zor problemler sınıfındandır. Son yıllarda yapılan VRPSPD çalışmaları incelendiğinde problemin zorluk seviyesi nedeniyle matematiksel model yardımıyla çözümünün zaman almasından dolayı daha kısa sürede çözüm üretebilen ve en iyi veya en iyi çözüme yakın değerler veren meta-sezgisel yöntemlerin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Ropke ve Pisinger (2004), VRPSPD'nin çözümünde büyük komşuluk arama sezgiselini geliştirmişlerdir. Crispim ve Brandao (2005) değişken komşu iniş algoritması ile Chen (2006) ise Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing-SA) ile yasaklı arama algoritmasını birleştirerek VRPSPD'yi çözmek için melez algoritmalar kullanmışlardır. Chen ve Wu (2006) yaptıkları çalışmada SA yerine rassallığı daha fazla olan başka bir algoritma kullandılar. Montane ve Galvao (2006) yaptıkları çalışmada dört farklı komşuluk yapısının kullanıldığı yasaklı arama algoritması önermişlerdir. Bianchessi ve Righimi (2007) çalışmasında yasaklı arama önermişlerdir ve uyguladıkları algoritmanın performansını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Bir noktanın yerleştirilmesi, iki noktanın farklı turlar arasına yer değiştirmesi ve rotanın yönünün ters çevrilmesi hareketlerinin oluşturduğu komşuluk yapılarını kullanan tepkisel yasaklı arama algoritmasını Wassan vd. (2008) geliştirmiştir. Zachariadis vd. (2009) problemi yasaklı arama ile rehberli yerel aramayı birleştiren melez bir algoritma ile çözmüşlerdir. Yine aynı yılda uyarlamalı hafıza metodolojisi ve yasaklı aramaya dayalı başka bir yaklaşım da yazarlar tarafından uygulanmıştır. Gajpal ve Apad (2009) tarafından ise karınca kolonisi eniyileme kullanılmıştır. Subramanian vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada ise bir algoritma önerilmiştir.

Çatay (2010) yaptığı çalışmada karınca kolonisi eniyileme önermiştir. Karınca kolonisi eniyileme kullanırken, yeni tasarruf tabanlı görünürlük fonksiyonu ve feromon güncelleme kuralı önermiştir. Tasan ve Gen (2012) yaptıkları çalışmada genetik algoritmaya dayalı bir yaklaşım sunmuştur. Permütasyon gösterimini kullandıkları algoritmada başlangıç çözüm rastgele üretilmiştir ve genetik operatörler çaprazlama ve mutasyon uygulanmıştır. Seçim yöntemi olarak, rulet tekerleği seçim yöntemi uygulanmıştır. Goksal vd. (2013) çalışmasında melez bir meta-sezgisel algoritma

önermiştir. Melez algoritmanın işleyişinde parçacık sürü eniyileme çözüm uzayındaki iyi çözümleri bulmak için kullanılmıştır. Ayrıca değişken komşu iniş algoritması popülasyondan her iterasyonda rastgele seçilen çözümlerin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Lin vd. (2014), problemin çözümü için genetik algoritmayı kullanmıştır. Li vd. (2015) çoklu depo için, değişken komşuluk seçiminin kullanıldığı yinelemeli yerel aramayı önermişlerdir. Polat vd. (2015) yörünge temelli değişken komşuluk arama sezgiselini önermişlerdir. Wang vd. (2015), paralel SA'yı önermişlerdir. Avcı ve Topaloglu (2015) uyarlamalı yerel arama algoritmasını önermişlerdir. Zachariadis vd. (2015) taşınan toplam yükü enküçükmeye çalıştıkları çalışmasında yerel aramayı önermişlerdir.

VRPSPD ile ilgili yüksek lisans tezlerinde de, problemin çözümü için meta-sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Vural'ın (2003) çalışması, çözümün Bean (1994) tarafından önerilen rassal anahtarlama yaklaşımı kullanılarak gösterildiği, iki farklı genetik algoritmayı içermektedir. Performansının yeterince iyi olmadığı belirtilen ilk algoritmada basit genetik operatörler kullanılmıştır. İkincisinde ise çizelgeleme problemi için önerilen bir çaprazlama operatörü, üç farklı mutasyon operatörü ve turların iyileştirilmesi aşamasında da bir sezgisel kullanılmıştır. Gökçe'nin yüksek lisans tezinde ise, VRPSPD ile birlikte çeşitli VRP türleri için karınca kolonisi eniyilemeye dayalı bir algoritma geliştirilmiştir (Gökçe, 2004). Göksal (2010) VRPSPD çözümünü genetik algoritma ve parçacık sürü eniyileme ile aramıştır. Aynı yılda yapılan bir diğer tezde, Hezer (2010) bakteriyel besin arama optimizasyonu algoritması önermiştir.

GL ile ilgili yüksek lisans tezlerine bakacak olursak, yeni yeni önem kazanan konuyla ilgili yapılan Atav'ın (2012) tezinde, ağır malzemelerin taşındığı bir problem ele alınmıştır. Heterojen filolu, açık rotalı ve sadece dağıtımın söz konusu olduğu 24 ayrı test problemi ve hem dağıtım hem de toplamanın olduğu 8 probleme uygulanmıştır. Bu problemlerin çözümü için önerilen matematiksel modelde simetrik bir uzaklık matrisi kullanılmıştır. Asimetrik uzaklık matrisinin kullanılabilmesi için modelin uyarlanması gerekmektedir. Problemin çözümünde kullanılan CPLEX ile sonuçları elde etmenin zaman aldığı gözlenmiştir. Özsoydan (2011) tezinde, doğal afet gibi özel durumlarda uygulanmasında daha başarılı sonuçların elde edildiği birikimli açık araç rotalamanın kullanım amacını ve farklılıklarını ortaya koymuştur. Zamanın kısıtlı olduğu doğal afet

gibi özel durumlarda, sezgisel çözüm yaklaşımları ile daha kısa sürede çözüm elde etmişlerdir.

Intergovernmental Panel on Climate Change tarafından yapılan araştırmaya göre sera gazı emisyonlarının yaklaşık olarak %13'üne ulaşım sebep olmaktadır. Bu da ulaşım yüzünden dünya genelinde doğaya salınan milyonlarca ton CO₂ anlamına gelmektedir. Yük taşımacılığı alanında karayolu kullanım oranı ülkemizde %76,1 civarındadır. Bu oran ABD'de %69,5, AB ülkelerinde ise yaklaşık %45'tir (www.mfa.gov.tr). Yapılacak çalışmalar ile taşınan yük miktarında bir değişiklik olmaksızın, karayolu yük taşımacılığının çevreye verdiği zararlar azaltılabilir. Bu doğrultuda yapılan ilk çalışmalar daha çok benzetime dayalı çalışmalar iken son 10 yılda konunun önem kazanması ile birlikte matematiksel model, sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler de çözüme yönelik uygulamalarda kullanılmıştır. Birçok araştırmacı tarafından; en kısa mesafeyi dikkate alan klasik VRP'den farklı olarak araç rotalama problemlerinde CO₂ emisyonlarının azaltılması önerilmiştir.

Maden vd. (2010) araç rotalama ve çizelgeleme için sezgisel algoritma tanımlamış ve önermişlerdir. Önerilen yöntem ile CO₂ emisyonlarında %7 tasarruf sağlanmıştır. Jabali vd. (2009) yılında Maden ve arkadaşlarınıninkine benzer bir problemi ele almıştır ve en az çevre kirliliğinin olduğu hızı bulmak için analizler yapmışlardır. Literatürden alınan örnekleri çeşitli maliyetler açısından çözmüşlerdir.

Bu alanda yapılan çalışmalara öncülük eden çalışmalardan biri de Kara vd. (2007), tarafından yapılmıştır. Enerji enküçüklemesi olarak ele aldıkları problemde taşınan toplam yükün enküçüklenmesi (mesafe x yük) ile temel fizik kuralları çerçevesinde enerjiyi yansıtmayı amaçlamışlardır. Buldukları sonuçlar ile klasik mesafeyi dikkate alan çözümlerin farklılıklarını ortaya koymuşlardır.

2011 yılında Bektaş ve Laporte (2011) tarafından gerçek hayat problemlerine daha yakın bir çözüm sunulmuştur. Fakat bu yaklaşım her ne kadar; yükü, aracın darasını, hızı, sürtünme ve yuvarlanma katsayılarını dikkate alarak yakıt tüketimini ve dolayısıyla CFP'yi enküçüklemeyi amaçlasa da gerçek eğimi dikkate almamıştır. Bektaş vd. 2011 yılında yapmış olduğu başka bir çalışmada, hıza bağlı olarak CFP'nin hız ile ilişkisini incelemiştir.

Diğerlerinden farklı olarak trafik sıklığı dikkate alınmıştır. Emisyon miktarına ek olarak sürücü maliyetleri de amaç fonksiyonuna yansıtılmıştır.

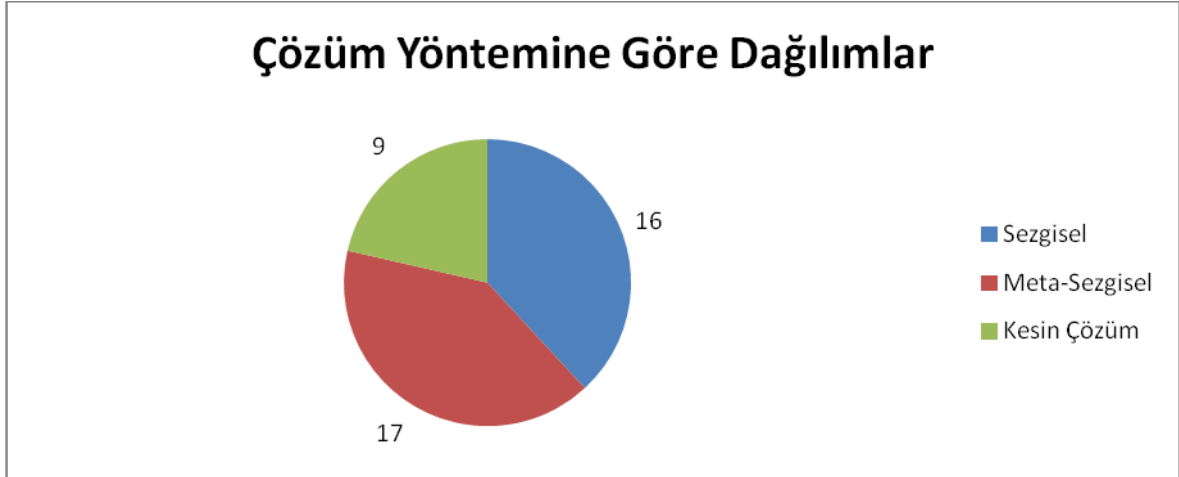
Ozsoydan ve Sipahioglu (2013) yaptıkları çalışmada, birikimli açık araç rotalama olarak ele aldıkları probleme birikimli varış zamanlarının toplamını enküçükleyerek çevreci bir yaklaşım önermişlerdir. Doğal afet gibi acil olarak ihtiyaçların karşılanmasının gerektiği özel durumlarda kesin çözümleri elde etmenin uzun zaman almasından dolayı sezgisel yaklaşımlarla çözümler elde edilmiştir.

Liu vd. (2014) tarafından CFP'yi azaltmaya yönelik yapılan çalışmada ise düğümler arasında alternatif yollar oluşturulmuştur. Oluşturulan alternatif yolların farklı eğimleri olmasına rağmen gerçek hayat problemlerinde bütün yol boyunca eğim aynı şekilde devam etmemektedir. Bu açıdan uygulanabilir değildir fakat çıkan farklı sonuçların görülmesini sağlamıştır. Ayrıca belirli bir araç için tüketilen yakıtın çevreye saldığı CO₂ miktarı hesaplanmıştır. Üç farklı amaç fonksiyonu için genetik algoritmanın uygulandığı çalışmada en kısa sürede sonuç elde edilen yöntemin CFP'yi dikkate alan amaç fonksiyonun olduğu gösterilmiştir.

GL alanında yapılan literatür taramaları, konunun güncel bir konu olması sebebiyle son yıllarda oluşturulmuştur. Demir vd. (2014) tarafından yapılan çalışma karayolu yük taşımacılığında karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik yapılmış çalışmaları içerir. Zhang vd. (2015) tarafından GL alanında sürü zekasının uygulandığı çalışmaları içeren bir literatür taraması yapılmıştır. Lin vd. (2014) GL ile ilgili yapılan çalışmaları sınıflandırmışlardır.

Benzer çalışmalar VRP dışında diğer alanlarda da görülmeye başlanmıştır. Örneğin; Fogerholt (2010) gemi taşımacılığında emisyonları azaltmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. Bauer (2010) aynı yılda demiryolu ağı için emisyonları azaltmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. Son zamanlarda, elektrikli araçların üretilmesi ile karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik alternatif bir teknoloji söz konusudur. Elektrikli araçların belli eğimli yollarda kullanılacağı düşünülürse yol eğimlerinin kullanılarak elektrikli araçların rotalanması problemi de ileriye dönük bir araştırma konusu olabilir. Yapılan çalışma bu

kapsamda da kullanılabilir. Şekil 2.1’de çözüm yöntemlerine göre incelenen çalışmalar sınıflandırılmıştır.



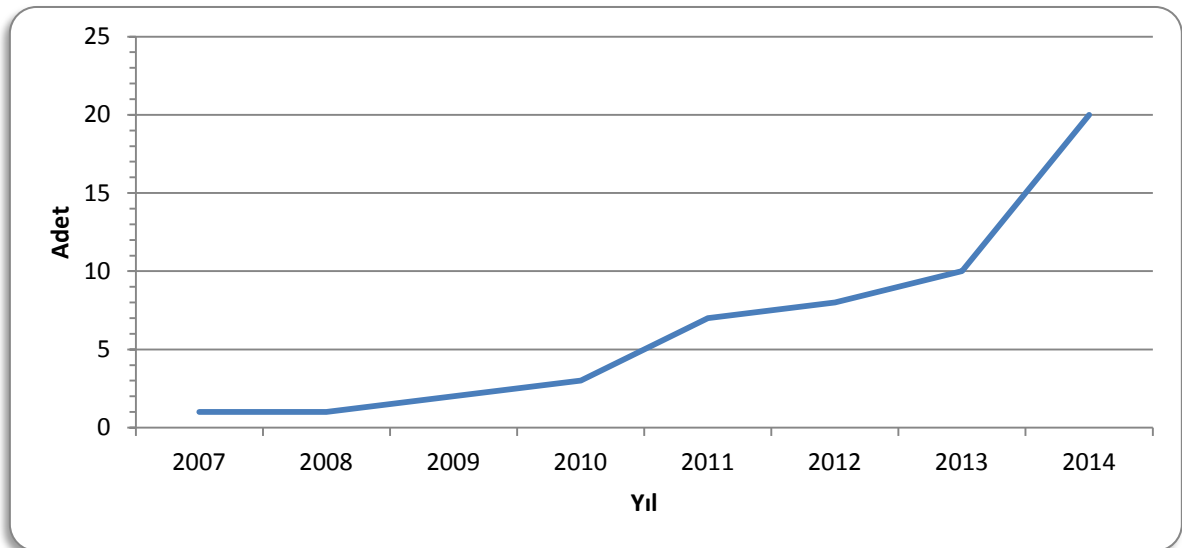
Şekil 2.1. Çözüm yöntemlerine göre dağılımlar

İncelenen çalışmaları uygulanan yöntemler açısından Şekil 2.1’deki gibi sınıflandıracak olursak, yukarıdaki grafik oluşmaktadır. Bu grafiğe göre, incelenen makalelerde ağırlıklı olarak meta-sezgisel yöntemler uygulanmıştır. Bunu, sezgisel yöntemler takip etmektedir. Ele alınan problem zor bir problem olması nedeniyle kesin çözüm elde etmek güçtür ve kesin çözüm elde edilen 9 adet çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların genel özelliği genellikle daha küçük problemler üzerinde durulmuş olmasıdır. Buna rağmen, çözümleri elde etmek zaman almıştır. Ayrıca üç adet sezgisel ve meta-sezgiselin bir arada kullanıldığı çalışma göze çarpmaktadır.

Temelde enerjinin enküçüklenmeye çalışıldığı iki amaç fonksiyonu aynı temellere dayansa da, diğer amaç fonksiyonunda bazı faktörler göz ardı edilmiştir. Daha basit yapıdaki amaç fonksiyonun kullanımı daha kolaydır. Kara vd. (2007) tarafından önerilen enerjinin enküçüklenmeye çalışıldığı amaç fonksiyonuna benzer bir amaç fonksiyonu Zachariadis vd. (2015) tarafından VRPSPD üzerinde uygulanmıştır. Zachariadis vd. (2015) önerilen amaç fonksiyonuna araç darasını da eklemiş, modele de Dell’Amico vd. (2006) tarafından literatüre kazandırılan matematiksel modelin kısıtları uyarlanmıştır. Ayrıca yerel arama sezgiseli problemin çözümü için önerilmiştir.

Zachariadis vd. (2015) VRPSPD problemi için Kara vd. (2007)'nin çalışmasındaki amaç fonksiyonunu aracın boş ağırlığını da dikkate alarak enerji tüketimi açısından modellemiştir. Çalışma karbon emisyonu açısından değil enerji tüketimi açısından konuyu ele alsa da enerji tüketimi ile karbon salınımı doğru orantılı olduğundan GL kapsamında VRPSPD problemi için yapılan ilk çalışmadır. Çalışmada sadece “yük x mesafe” dikkate alınmıştır. Oysa ki karbon salınımında “yük x mesafe” dışında yol eğimleri de önemli bir faktördür. Bu tezde, yeşil lojistik kapsamında VRPSPD problemi için sadece mesafe ve aracın yükü değil yolların eğimi de dikkate alınarak problem modellenmiş ve çözüm yaklaşımları önerilmiştir.

Yapılan çalışmada, Zachariadis vd. (2015)'nin çalışmasındakinden tamamen farklı bir amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Daha karmaşık bir yapıda olan ve gerçek yaşam problemlerini daha iyi temsil ettiği düşünülen Bektaş ve Laporte'nin (2011) önerdiği amaç fonksiyonu, eğimler için gerçek veriler kullanılarak Kara vd.'nin (2007) önerdiği amaç fonksiyonunun sadeliğinde sunulmuştur. Şekil 2.2'de incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.2. İncelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı

İncelenen makalelerin yıllara göre dağılımına bakılacak olursa, Şekil 2.2'de 2007 yılından günümüze kadar geçen süreçte ele alınan konuyla ilgili yapılan çalışmalar her yıl artış göstermiştir.

Erişilebilen literatür incelendiğinde karbon emisyonunu dikkate alan lojistik problemlerinin yıllara göre artış gösterdiği, dolayısıyla konunun önem kazandığı açıktır. Yakıtın enküçüklenmeye çalışıldığı VRP problemlerine bakılacak olursa, kullanılan iki temel amaç fonksiyonu göze çarpmaktadır. Bu amaç fonksiyonlarının ikisi de temelde aynı fizik kuralları dikkate alınarak türetilmiş olmasına rağmen, çalışmada kullanılan amaç fonksiyonu gerçek yaşam problemlerinde karşımıza çıkan birçok değişkenin ve sabitin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kullanılan amaç fonksiyonunu, diğer amaç fonksiyonuna göre daha karmaşık bir yapıda olmasının dezavantajı olarak literatürde bu amaç fonksiyonun kullanıldığı çalışmalarda eğim sabit bir rakam olarak kullanılmıştır. Ayrıca belli VRP türleri için karbon emisyonunu enküçükleyen problemler ele alınmasına rağmen, VRPSPD problemi için karbon emisyonunu dikkate alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Tezde ilgili problem için yol eğimlerini dikkate alarak karbon emisyonunu azaltmaya yönelik bir çalışma hedeflenmiştir.

3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

İşletmelerin toplam lojistik ve dağıtım maliyetlerinin 1/3–2/3'ü taşıma maliyetlerinden kaynaklandığından dağıtım ekipmanının ve personelinin etkili ve verimli bir şekilde kullanılması işletme yöneticileri açısından önemli bir ilgi alanı haline gelmiştir. Dağıtım maliyetlerini azaltmak ve müşterilere sunulan servisin kalitesini artırmak için en kısa zamanı ya da mesafeyi verecek olan, bir aracın şebeke içerisinde izleyeceği en uygun rotayı bulmak günümüzde en çok tartışılan bir konu haline gelmiştir.

3.1. Araç Rotalama Problemi Nedir?

Standart bir araç rotalama probleminde depolardan araçlar vasıtasıyla değişik noktalarda bulunan müşteri noktalarının talepleri karşılanmaya çalışılmaktadır. Bunu gerçekleştirirken amaç etkili ve verimli bir şekilde müşteri ihtiyaçlarını mümkün olan en kısa zamanda, en kısa yoldan ve en az maliyetle karşılayan rotayı belirlemektir (Karahan, 2003).

Klasik VRP'de aynı tip ve kapasiteye sahip olan homojen bir araç filosu, merkezi bir depoda (dağıtım merkezinden) hareket ederek talepleri önceden bilinen bir grup müşteriye hizmet vermektedir. Bu problemde, her müşteri sadece bir araçtan hizmet almakta ve her araç sadece bir rota izlemektedir. Araçlar için kapasite kısıtının yanı sıra, araçların depodan hareket edip rotanın sonunda depoya geri dönmesi zorunluluğu vardır. Söz konusu koşullar altında toplam yolculuk maliyetini minimize eden rotalar kümesinin bulunması amaçlanmaktadır. VRP dağıtım yönetimi ve lojistik alanında önemli bir rol oynamaktadır (Alabaş ve Dengiz, 2004).

Talep noktalarına hizmet vermek için araç rotalama yapılırken aşağıdaki unsurlar dikkate alınmalıdır:

1. Tüm müşterilerin talepleri karşılanmalıdır.
2. Araç kapasitesi aşılmamalıdır.

3. Her bir araç sadece bir rota üzerinde faaliyet göstermelidir.
4. Maliyet yapılı amaç fonksiyonu en aza indirgenmelidir.

VRP'nin temel bileşenleri; depo, araç, talep yapısı ve müşterilerdir. Bileşenler ile ilgili genel bilgiler bu kısımda verilmiştir.

Müşterilerin taleplerini karşılamak için oluşturulan her rota bir depodan başlar ve belirtilen bir depoda biter. Dağıtım sistemi içinde birden çok depo olabilir. Ek olarak, bu tip durumlarda rotaların başlama ve bitiş noktaları farklı depolarda olabilir. Bazı problem tiplerinde ise depodan başlayıp, uğranan en son müşteride biten rotalara da izin verilmektedir. Her depo, karşılayabileceği talep miktarı (genelde sınırsız alınır) ve pozisyonu ile tanımlanır (Yurtkuran, 2009). Çok depolu problemlerde, depoların her biri kendi araçlarıyla dağıtım/toplama işlerini yürütebilir. Bu durumda problem birkaç bağımsız tek depolu VRP'ye dönüşür. Araç bir depodan çıkıp başka bir depoda yükleme/boşaltma yapabiliyorsa problem bir bütün olarak ele alınmalıdır.

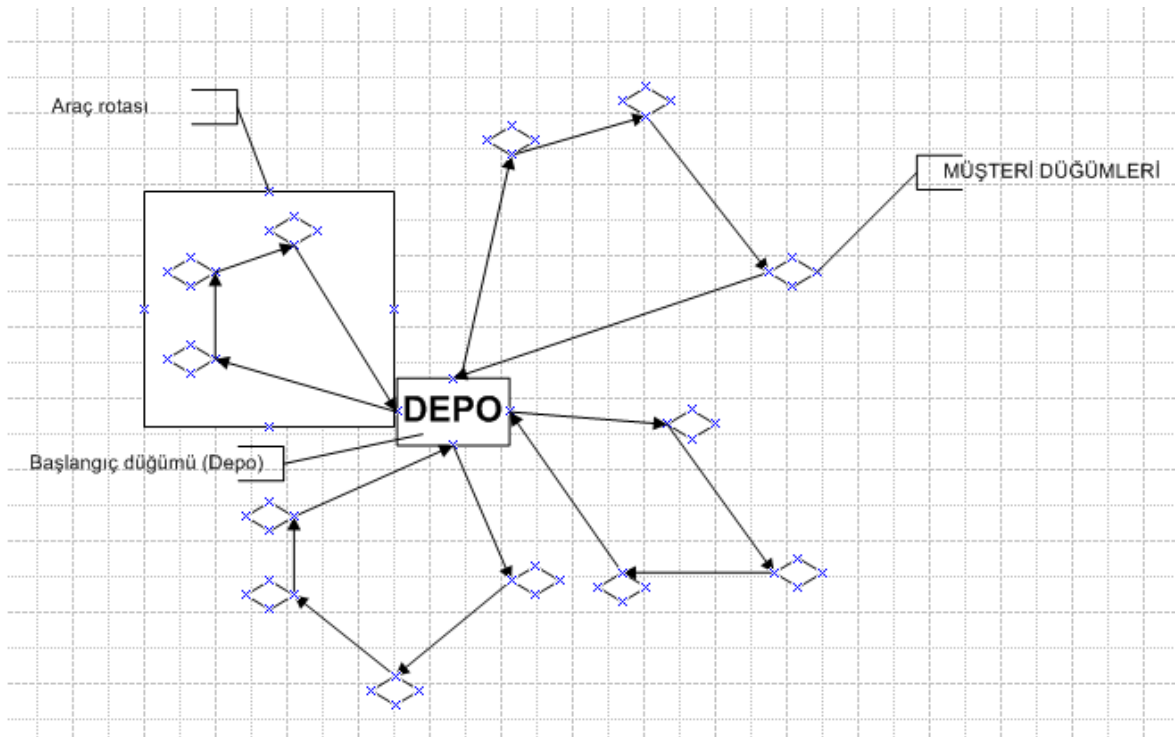
VRP'nin diğer bileşeni ise araçlardır. Kullanılan her araç homojen olabileceği gibi heterojen de olabilir. Genellikle sabit hızları ve kapasiteleri vardır. Kapasite genellikle, aracın taşıyabileceği malzeme miktarı olarak tanımlanır.

VRP'nin en önemli bileşeni rotalardır. Problem tiplerini birbirinden ayıran kısıtlar, çoğu zaman uygun rotalar oluşturularak sağlanır. Oluşturulacak rotalar; müşteri, araç veya sistemin karakteristiklerinden oluşan kısıtları sağlamak zorundadır. Uygulanan bazı temel kısıtlar ise; bir tur içerisinde taşınacak malzemenin aracın kapasitesini aşmaması, müşterilere servis edilmesi gereken bir zaman diliminin olması, bazı müşterilerin dağıtım, bazılarının ise toplama aşında bulunması, müşteriler arasında öncelik ilişkisi bulunması vb. şeklinde sıralanabilir.

Müşteriler şebekedeki düğümlerde yer almaktadırlar. İhtiyacını karşılamak için her müşteriye araçlar tarafından en az bir kere uğranılır. Müşterinin talebi dağıtım, toplama ya da her ikisi birden olabilir. Taleplerine göre müşteriler dağıtım, toplama ya da hem dağıtım hem toplama müşterisi olmak üzere sınıflandırılabilir. VRP çözümünün uygun bir çözüm olarak kabul edilmesi için tüm müşterilerin ihtiyaçlarının karşılanması zorunludur. Ayrıca

özelliklerine göre, her müşterinin yalnızca belirli bir zaman aralığında ziyaret edilmesi veya müşteriler arası önceliklerin sağlanması gibi başka kısıtlar da probleme eklenebilir (Göksal, 2010).

VRP dağıtım ve/veya toplama faaliyetlerinin yönetimiyle uğraşıldığı problemler bütününün genel bir adıdır. VRP'yi oluşturan kavramların özellikleri problemin türünü belirlemektedir. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (Capacitated Vehicle Routing Problem-CVRP) kapasite kısıtına sahip homojen bir araç filosu, araç filosunun servise başladığı bir depo, yerleri bilinen müşteriler ve bu müşterilerin miktarları önceden belli dağıtım/toplama talepleri vardır. Amaç, kısıtları sağlarken araçların gittiği toplam mesafeyi enküçükleyen rotaların bulunmasıdır. Araç rotalama ile ilgili kavramlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Araç rotalama kavramları

Şekil 3.1'de VRP probleminde bulunan depo, müşteriler, araç rotaları gösterilmiştir. Şekilde verilen örnekte 4 farklı araç vardır ve dolayısıyla 4 farklı rota oluşmuştur.

CVRP modelinin formülasyonu: ARP için oluşturulmuş çok sayıda matematiksel model mevcuttur, CVRP için Christofides vd. (1981) çalışmasında önerilen tamsayılı model verilmiştir.

Hem düğüm rotalama hem de ayrıt rotalama problemlerinin bir arada bulunduğu problemler de mevcuttur. Her iki rotalama problemlerini içeren problemler genel rotalama problemi (General Routing Problem) olarak adlandırılmaktadır. Genel rotalama probleminde verilen bir $G=(V, E, A)$ seriminde tanımlı olan servis verilmesi gereken tüm ayrıtlara ve düğümlere en az bir kez uğranarak, en az maliyetli turun belirlenmesi problemidir. İlk olarak Orloff (1974) tarafından literatüre kazandırılan genel rotalama problemi, $V=\emptyset$ durumunda ayrıt rotalama problemine indirgenmektedir. Bu sebeple NP-zor sınıfında yer alır (Özsoydan, 2011).

Parametreler:

M : Araç Sayısı,

N : Müşteri Sayısı,

d_{ij} : i . ve j . nokta arasındaki mesafe,

q_i : i . Müşterinin talep miktarı,

C : Araç Kapasitesi,

Karar değişkeni:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & k \text{ nolu araç } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına giderse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

y_i : Alt turları engellemek için kullanılan rastgele değişken,

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Minz} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M d_{ij} x_{ijk} \quad i \neq j \quad (3.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N x_{0jk} = M \quad (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=0}^N x_{ijk} = 1 \quad i \neq j \quad i = 1, \dots, N \quad (3.3)$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{i=0}^N x_{ijk} = 1 \quad i \neq j \quad j = 1, \dots, N \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0k} \leq 1 \quad k = 1, \dots, M \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0}^N x_{ijk} \leq C \quad i \neq j \quad k = 1, \dots, M \quad (3.6)$$

$$y_i - y_j + N \sum_{k=1}^M x_{ijk} \leq N - 1 \quad i \neq j \quad i, j = 1, \dots, M \quad (3.7)$$

Amaç fonksiyonu (3.1) toplam kat edilecek mesafenin yani maliyetin minimize edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. (3.2) nolu kısıt, başlangıç düğümünden (işletmeden) çıkacak araç sayısının M adet olduğunu, (3.3) ve (3.4) kısıtlar bir müşterinin mutlaka bir araç tarafından ziyaret edilmesi ile müşteriye gelen ve müşteriden çıkan yollardan sadece bir tanesinin kullanılmasının zorunlu olduğunu ifade etmektedir. (3.5) nolu kısıt bir aracın en fazla bir defa rotalamada kullanılacağını. (3.6) nolu kısıt ise araçlara yapılacak yüklemelerin araç kapasite değeri C 'nin aşamayacağını belirtmektedir. Bazı problemlerde araç sayısı kısıtı olarak en fazla M tane aracın kullanılması gerektiği yer almaktadır. (3.7)'de verilen kısıt ile alt turların engellenmesi sağlanmıştır. Bu durumda (3.2) nolu denklemde eşitlik ifadesi yerine küçük eşit ifadesi yer alacaktır. Modelde yer alan temel kısıtlar olan (3.3) ve (3.4) nolu denklemler rotaların sürekliliğinin sağlanması açısından önemlidir.

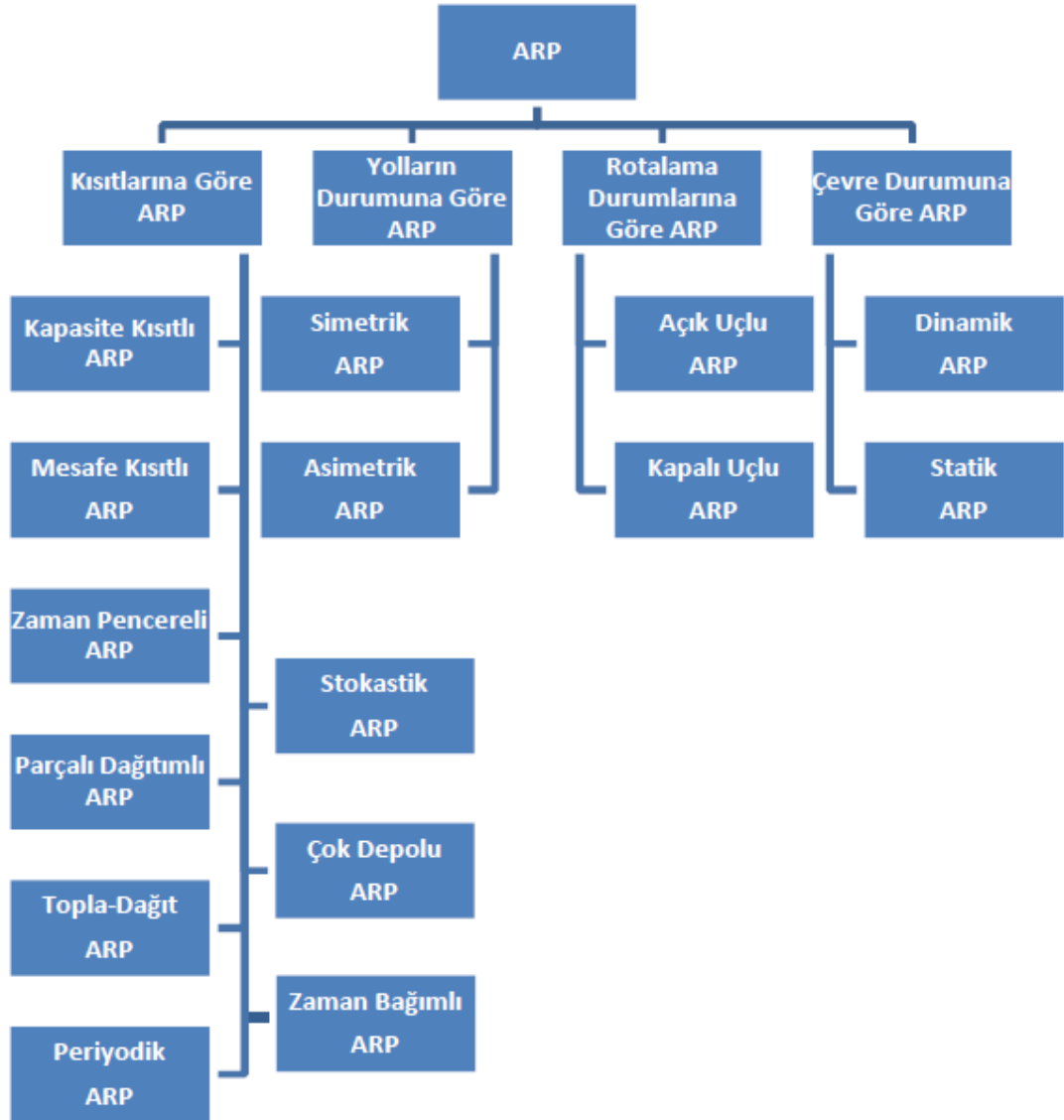
Bir VRP genel olarak Şu bilgilere (parametrelere) ihtiyaç duyar:

1. Her mŐŐteriden diğer mŐŐterilere ulaşım sŐuresi veya aralarındaki mesafe
2. İŞletme birimlerinden her mŐŐteriye ulaşım sŐuresi veya aralarındaki mesafe
3. Talep noktalarındaki talep miktarı
4. Araç sayısı ve araç kapasite değeri
5. Optimize edilmesi gereken unsur veya unsurlar (amaç fonksiyonu)

3.2. Araç Rotalama Problemi TŐrleri

VRP'ye uygun özŐmler bulmak gŐn geçtikçe zorlaŐmaktadır. Bunun nedeni artan rekabet Őartları ve değişen evre koşulları sebebiyle rotalama problemlerine giderek daha fazla kısıtın eklenmesidir. Zaman aralıkları (varış zamanı, servis zamanı, bekleme zamanı ve kalkıŐ zamanı), farklı kapasitelere sahip çok sayıda araç, rota üzerinde izin verilen seyahat sŐuresi, farklı noktalar arasında farklı hızların olması, araç sŐrŐcŐleri için dinlenme zamanları araç rotalamada göz őrüne alınması gereken kısıtlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanılan kısıtların fazlalaŐması, VRP'yi giderek daha da karmaşık hale getirmektedir (Erel, 1995).

VRP çeşitli őrŐtlere göre sınıflandırılabilir. Bu őrŐtlere çoğunlukla problemin bileşenleri olan kısıtların, araçların, mŐŐterilerin, yolların ve rotaların őrzellikleri ile ilgilidir. Çalışmada ele alınan problem yapılan sınıflandırmaya göre, dŐęŐmler arasında yolların yŐnlerine bağlı olarak mesafelerin farklı olabildiği asimetric yollu bir problemdir. Planlama dŐneminden őrnce bŐtŐn evre koşulları bilinmektedir ve planlama dŐneminde herhangi bir değişiklik olamamaktadır. Sabit evre koşulları olduğu için statik bir problemdir. Ayrıca, kısıtlarına göre toplama ve dağıtımın her ikisinin de olmasından dolayı topla-dağıt sınıfına girmektedir. VRP'lerin sınıflandırılmasına yönelik Koç'un (2012) hazırlamış olduğu sınıflandırma tablosu Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. VRP sınıflandırması (Koç, 2012).

Şekil 3.2’de, Koç’un (2012) hazırladığı VRP sınıflandırması tablosu verilmiştir. Sınıflandırmaya göre dört farklı temel kritere göre farklılık mevcuttur. Bu ana kriterlerin altında yine 15 farklı durum söz konusudur. Bu özel durumların her biriyle ilgili açıklamalar bu tezde yapılmıştır.

Şekilde 3.2’de çevre, rotalama, yollar ve kısıtlara göre dört ana sınıflandırma yapılmıştır. Problemler çevre durumuna göre, dinamik ve statik olmak üzere iki farklı gruba ayrılmıştır. Açık uçlu ve kapalı uçlu olarak rotaların durumuna göre sınıflandırılmıştır. Yolların simetrik ve asimetrik olduğu problemler birbirinde ayrılmıştır. VRP’leri kısıtlarına göre dokuz farklı sınıfa ayırmak mümkündür. Tezde ele alınan

problem; taleplerin önceden bilindiği (statik), araçların dağıtım/toplama işlemini tamamladıktan sonra depoya döndüğü (kapalı uçlu), uzaklık matrisinin asimetric olduğu ve toplama ve dağıtımın beraber yapıldığı problem sınıfına girmektedir.

3.2.1. Dinamik ve statik çevre durumuna göre araç rotalama problemleri

En çok kullanılan sınıflandırma ölçütlerden biri, olayların statik veya dinamik başka bir deyişle bilgilerin deterministik veya stokastik olarak ele alınması durumudur. Bu ölçüte göre VRP, Statik VRP ve Dinamik VRP olarak ikiye ayrılır:

Stokastik problemlerde, problem çözülmenden önce gerekli tüm bilgiler (kısıtlar, talepler, kapasiteler, maliyet bilgileri vb.) bilinmektedir. Bu bilgiler problemin çözüm aşamasında da değişkenlik göstermez ve sabittir. Literatürde çoğunlukla Statik Araç Rotalama Problemi (Stochastic Vehicle Routing Problem) üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Önceden miktarı ve zamanı bilinen talepler için rota planları oluşturmada ve servis sistemlerinin genel olarak değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Dinamik Araç Rotalama Problemi (Dynamic Vehicle Routing Problem) lojistik süreci ilerlerken aniden yeni talep noktalarının ortaya çıkması, müşterinin talep miktarının değişmesi, bazı yolların kapanması veya trafik sıkışıklığı sebebiyle ulaşım süresinin uzaması gibi beklenmeyen durumlar karşısında hızlı bir şekilde yeni kararların verilmesini gerektirecek durumlarda ortaya çıkmaktadır. VRP'nin dinamik olabilen elemanları özellikle yeni bir müşteri talebinin ortaya çıkması ve stokastik sapmalara bağlı dinamik seyahat süreleridir. Gerçek hayatta müşterilerine kurye, saha satış vb. yoluyla hizmetler sunan işletmelerde önemli problemlerden biridir (Potvin vd., 2004).

3.2.2 Rotaların durumlarına göre araç rotalama problemleri

Bir aracın bir depo için çalışması diğer bir deyişle rotaların bir depoda başlayıp aynı depoda sona ermesi veya aracın depodan bağımsız olup seyir güzergahının en son müşteride bitirilebilmesi durumlarına göre açık ve kapalı uçlu olmak üzere ikiye ayrılır.

Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemlerinde (Close Vehicle Routing Problem) her rota bir depodan başlayıp, aynı depoda bitirilmelidir. Dağıtım araçlarının depodan perakendecilere dağıtım yapıp dönmesi, nakliye araçlarının depodan müşteriye oradan tekrar depoya dönmesi veya okul otobüsleri, gazete dağıtım araçları veya çöp araçlarının hareketleri de bu problem tipindedir. Tek depolu problemlerde bunun sağlanması için kurulan modele aşağıdaki kısıt eklenmelidir.

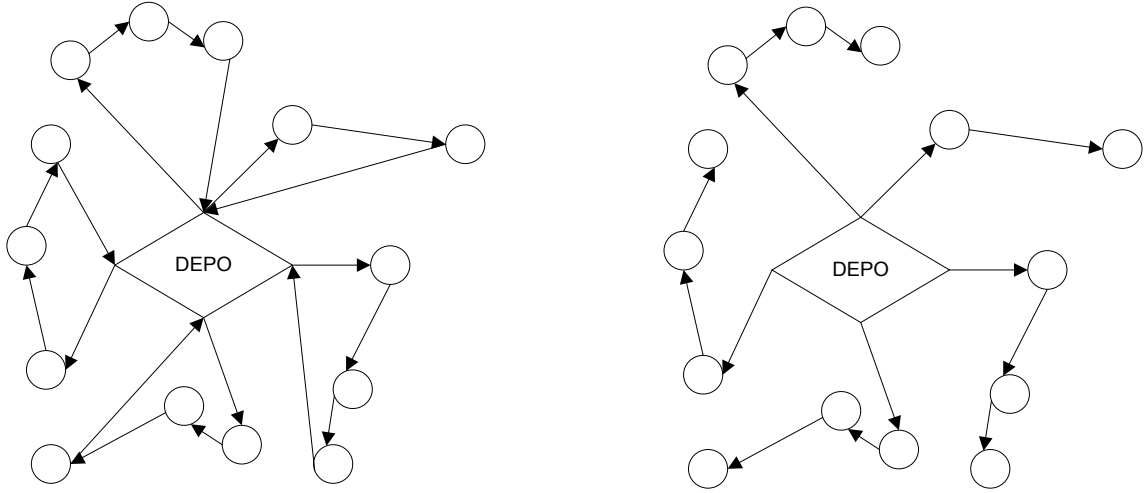
$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} = \sum_{i=1}^N x_{i0k} \leq 1 \quad k = 1, \dots, M \quad (3.8)$$

0 nolu düğüm depoyu temsil etmektedir. Depodan çıkan aracın mutlaka bu depoya dönmesi, (3.8) denklemde aynı araç için bu nokta ile başlayan ve bu nokta ile biten x karar değişkenlerinin değerinin birbirine eşitlenmesi ile sağlanmaktadır. Literatürdeki çalışmalar çoğunlukla kapalı uçlu olup, test problemleri kapalı uçlu VRP için mevcut olduğundan geliştirilen yöntemler kapalı uçlu problemler üzerinden birbirleriyle kıyaslanmaktadır.

Açık Uçlu Araç Rotalama Probleminde (Open Vehicle Routing Problem) rotalar merkez depo ile başlamakta, talep noktası ile sona ermektedir. Bunun sağlanması için ek olarak bir kısıtın modele eklenmesine gerek yoktur. Sonuç zaten açık uçlu rotalar doğuracaktır (Erol, 2006). Ancak rotaların kesin olarak bir müşteride sona ermesini sağlayan denklem Eşitlik (3.9)'deki gibidir:

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} + \sum_{i=1}^N x_{i0k} = 1 \quad k = 1, \dots, M \quad (3.9)$$

Bu denklemle bir aracın 0 nolu nokta (depo) ile başlayan veya biten ilgili x karar değişkenlerinden ancak biri 1 değerini alabilir böylece aracın sadece depodan çıkması ve oraya tekrar dönmemesi garantilenmiş olmaktadır. Şekil 3.3'te kapalı uçlu ve açık uçlu problemlere ait örnekler gösterilmektedir. Gerçek hayatta açık uçlu problemler, bir firmanın lojistik taşımacılığını başka bir firmaya verdiği durumlarda görülebilmektedir. Literatürde açık uçlu problemler için oldukça az sayıda yöntem geliştirilmiştir. (Brandao, 2004).



Şekil 3.3. Kapalı uçlu ve açık uçlu problemler arasındaki fark

Kapalı uçlu problemlere örnek olarak gezgin satıcı problemi verilebilir.

3.2.3. Yolların durumuna göre araç rotalama problemleri

VRP iki düğüm arasındaki uzaklıkların geliş ve gidiş yönüne göre aynı kalıp kalmamasına göre ikiye ayrılmaktadır:

Genellikle bir noktadan diğerine olan gidiş ve dönüş mesafesi birbirine eşittir ($d_{ij}=d_{ji}$). Böyle problemler literatürde simetrik VRP olarak belirtilmektedir.

Bazı durumlarda bir noktadan diğerine olan gidiş ve dönüş mesafesi birbirine eşit olmayabilir. Asimetrik yönlü VRP'de aracın hangi müşteriye ilk gideceği önem kazanmaktadır.

3.2.4. Kısıtların durumuna göre araç rotalama problemleri

Bu alt bölümde VRP'de değişik kısıtların göz önüne alındığı durumlar dikkate alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır. Kısıtların durumuna göre kapasite, mesafe, müşteri çeşitliliği, zaman kısıtı, problemin dönemlik olmasına ve talebin bölünebilirliğine ve problemdeki depo sayısına bakılmıştır.

3.2.4.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi

VRP'nin en yaygın türü olan CVRP'de her aracın belirli bir kapasitesi vardır ve müşterilerin talepleri önceden bilinmektedir. Her aracın kapasitesi eşittir ve araçlar depodan harekete başlayıp depoya geri dönmektedirler. Müşterilerin talepleri tek seferde teslim edilmektedir, parçalama söz konusu değildir (Koç, 2012).

Literatürde üzerinde çok fazla çalışma olan kapasite kısıtlı problemlerde, her müşterinin belirli talep miktarı vardır ve her müşteri yalnızca bir araç tarafından ve sadece bir kez ziyaret edilebilir. Depo ve müşterilerin birbirlerine olan uzaklıkları simetriktir ve araçların seyahat süresi bu mesafeyle doğru orantılı alınabilmektedir (Lin vd., 2009).

3.2.4.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi

VRP'nin temel yaklaşımlarından birisi olan Mesafe Kısıtlı VRP'de (Distance Constrained Vehicle Routing Problem), rotalara atanan her bir aracın gidebileceği bir mesafe kısıtı göz önüne alınır.

Literatürde kapasite kısıtının olduğu gibi mesafe kısıtının da farklı versiyonları bulunabilmektedir. Örneğin farklı tipteki araçlar için farklı mesafe kısıtı ($l_k, k=1, \dots, m$) söz konusu olabilir. Bunun yanında mesafe kısıtı yerine mesafeyle orantılı seyir süresi kısıtı da olabilir. Bu durumda araç her bir müşteriye uğradığında (s_i) servis süresi kadar bekleyecektir (Erol, 2006).

Mesafe kısıtını, kapasite kısıtından ayıran özellik rotalara atanmış her aracın kat edebileceği belirli bir toplam mesafe olmasıdır. Bu durum gerçek bir dağıtım probleminde taşınan ürünün cinsinden, araç veya sürücü kısıtlarından dolayı söz konusu olabilir. Eğer taşınan ürünün uzun süre taşıma nedeniyle bozulabilmesi söz konusuysa, ya da araç kullanıcısının sürekli olarak belirli bir süreden daha fazla yolculuk yapamaması söz konusu ise bu kısıt eklenmelidir (Dursun, 2009).

3.2.4.3. Zaman pencerele araç rotalama problemi

Zaman Pencerele VRP'de (Vehicle Routing Problem with Time Windows-VRPTW), klasik VRP'den farklı olarak her bir müşteriye kendisi için tanımlanmış bir zaman aralığında hizmet verme zorunluluğu vardır. Banka teslimatları, posta teslimatı, endüstriyel atık toplama, okul servis aracı rotalama ve çizelgeleme vb. VRPTW'nin günlük hayatta karşılaşılan örneklerindendir.

Zaman pencerele problemler iki alt sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar (Badeu vd., 1997):

Sıkı Zaman Pencerele VRP'de (Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows) eğer bir araç müşterinin söz konusu zaman penceresinin başlangıcından önce gitmişse beklemek durumundadır ve zaman penceresinin bitişinden sonra servis verilememektedir.

Esnek Zaman Pencerele VRP'de (Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows) ise müşterilere ilgili zaman penceresinin dışında hizmet verilebilmektedir, fakat bu durumda bir ceza maliyeti söz konusudur.

3.2.4.4. Topla dağıt araç rotalama problemi

Tesislerden müşterilere yapılacak taşıma işlemleri ile birlikte müşterilerden tesislere toplama işlemlerinin de aynı araçlarla gerçekleştirildiği problemler olarak tanımlanan topla-dağıt VRP son yıllarda üzerinde çeşitli çalışmaların yapıldığı bir problem türü olmuştur. Pratikte birçok örneği bulunan problem, VRP'nin genelleştirilmiş bir halidir. Sağlık sisteminde, kanların merkezlerden hastanelere dağıtımı esnasında toplama kamplarından merkeze yeni kanların getirilmesi; otomotiv sektöründe, yedek parçaların bölge bayilerine dağıtımı esnasında kullanılmış parçaların geri dönüşüm için fabrikalara geri gönderilmesi; gıda sektöründe, günlük taze ürünlerin marketlere dağıtımı esnasında günü geçmiş ve bozulmuş ürünlerin geri toplanması, topla dağıt VRP'ye örnek olarak verilebilir (Karaoğlan, 2009).

Topla-dağıt VRP için dikkate alınan varsayıma göre müşterilerden toplanan ürünlerin doğrudan diğer bir müşteriye taşınması söz konusu değildir. Yani bütün talepler ya depodan müşteriye ulaştırılmakta ya da müşteriden depoya taşınmaktadır (Salhi ve Nagy, 2005).

Bu varsayımlar altında topla dağıt VRP'nin üç farklı tipi bulunmaktadır. Bunlar (Karaoğlan, 2009);

- 1) Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi,
- 2) Karışık Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi,
- 3) Eşzamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi.

Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemlerinde (Vehicle Routing Problem with Backhauls) müşteriler dağıtım (linehaul) ve toplama (backhaul) müşterileri olmak üzere iki guruba ayrılır. Bu problemde bir rota üzerinde, dağıtım müşterilerine toplama müşterilerinden önce hizmet verilmektedir. Bu varsayım genelde, araç içerisinde dağıtılacak ürünler ile toplanan ürünlerin tekrar yerleştirilmesinin mümkün olmadığı durumlar için söz konusudur. Yani araç dağıtım müşterilerinin talepleri ile yüklenip, bütün ürünler dağıtılıp araç boşaldıktan sonra toplama müşterilerine hizmet verilmektedir. Ana depolardan marketlere sebze-meyve dağıtımından sonra üreticilerden yeni ürünlerin depoya taşınması (Ropke ve Pisinger, 2006) bu problem tipine örnek olarak verilebilir (Koç, 2012).

Karışık Topla Dağıt Araç Rotalama Probleminde (Vehicle Routing Problem with Mixed Pickup and Delivery), önce dağıt sonra topla VRP'deki müşteri öncelikleriyle ilgili yapılan varsayımın kaldırılması ile elde edilen problem tipidir. Yani bir rota üzerinde toplama ve dağıtım müşterilerine karışık sırayla hizmet verilebilmektedir. Araç içerisinde yeniden yüklemenin mümkün olduğu bir problem tipidir. Hizmet sektöründe, depodan müşterilere kargolar dağıtılırken diğer müşterilerden depoya götürölmek üzere kargoların müşterilerden toplanması; sağlık sektöründe, kanların merkezlerden hastanelere dağıtımı esnasında toplama kamplarından merkeze yeni kanların götürölmesi bu problem tipine örnek olarak verilebilir.

Eşzamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Probleminde (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery) dağıtım ve toplama müşterileri aynı müşteriler olup bu müşterilere eşzamanlı olarak hizmet verilmektedir. VRPSPD’de müşterilere uğranıldığında dağıtılacak ürün bırakılıp toplanılacak ürün alınmaktadır (Ai ve Kachitvichyanukul, 2009). Gıda sektöründe, içecek endüstrisinde boş şişelerin taşınması, otomotiv sektöründe yedek parçaların geri dönüşüm için fabrikalara geri gönderilmesi VRPSPD’ye örnek olarak verilebilir (Dethloff, 2001).

3.2.4.5. Periyodik araç rotalama problemi

VRP’nin bir başka çeşidi olan Periyodik VRP’de (Periodic Vehicle Routing Problem) belirli bir dönemin planı en başta yapılmaktadır ve müşteriler bu süreçte birden fazla hizmet görmektedir. Müşterilere yapılacak servis sayısı müşterilerin talep miktarlarına, stok alanlarına göre değişmektedir. Eğer bir müşterinin talep miktarı çok fazla ise az miktarda talebi olan müşteriye göre ya da stoklama alanı küçük ise büyük olan müşteriye göre daha fazla ziyaret edilecektir. Bu problem sınıfı bakkaliye, içecek endüstrisi, atık toplama gibi alanlarda ortaya çıkmaktadır (Hemmelmayr vd., 2007).

Periyodik VRP’de her müşteri, tek bir araçla sadece bir ziyarette karşılanması gereken, önceden bilinen günlük bir talebe sahiptir. Planlama periyodu $P=1$ ise problem klasik araç rotalama problemi haline gelir. Periyodik VRP’de her müşteri k defa ziyaret edilmelidir. $1 \leq k \leq P$ olmalıdır. Periyodik VRP’nin klasik modelinde müşterilerin günlük talebi daima sabittir. Ayrıca çok aşamalı bir kombinatorik eniyileme problemi olarak da görülebilir: İlk aşamada, amaç her müşteri için bir grup uygun alternatif (kombinasyon) oluşturmaktır. İkinci aşamada, her müşteri için günlük kısıtları sağlayan alternatiflerden biri seçilmelidir. Bu yüzden her gün için ziyaret edilen müşteriler seçilmelidir. Üçüncü aşamada, her gün için ayrı ayrı klasik araç rotalama problemi çözülür (Diaz, 2007).

3.2.4.6. Bölünmüş talepli araç rotalama problemi

VRP’nin bu çeşidinde bir müşterinin talepleri birden fazla araç tarafından temin edilebilmekte, yani bir müşteriye farklı araçlar tarafından birden fazla uğranabilmektedir.

Bölünmüş Talepli VRP’de (Split Delivery Vehicle Routing Problem) klasik VRP’den farklı olarak en az bir müşterinin talebi araç kapasitesinden büyüktür ($d_i > Q$) (Koç, 2012).

Bölünmüş Talepli bir problemde eğer toplam maliyetlerin düşmesine katkı sağlayacaksa, aynı müşteri farklı araçlardan hizmet alabilir. Burada, eğer müşterinin siparişlerinin hacmi aracın kapasitesi kadar büyükse, klasik VRP’nin genişletilmesi konusu kritik bir konudur. En iyi sonucu bulmak VRP’dekinden çok daha zordur. Amaç araç akışını ve müşterilerin taleplerini karşılamak için gerekli olan toplam maliyeti enküçükmektir. Bir müşterinin birden fazla araçtan hizmet görmesi dışında VRP kısıtlarının tümü sağlanıyorsa çözüm uygundur. Tüm rotalardaki toplam maliyet enküçüklenir. VRP’yi bölünmüş talepli probleme dönüştürmenin kolay bir yolu, her müşteri siparişini daha küçük olan ve bölünemeyen siparişlere ayırarak, dağıtımların parçalanmasına izin vermektir (Diaz, 2007).

3.2.4.7. Stokastik araç rotalama problemi

Stokastik VRP (Stochastic Vehicle Routing Problem), klasik araç rotalama probleminin, problem elemanlarından bir ya da birkaçının rassal olduğu durumlarda karşılaşılan bir problem çeşididir. Stokastik VRP’nin 3 farklı türü vardır (Diaz, 2007):

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

Stokastik VRP’nin çözümü için geliştirilen bir yöntemle göre çözüme ulaşmak için iki aşama kullanılır. Önce rassal değişkenlerin gerçekleşme değerleri bilinmeden bir ilk çözüm belirlenir. İkinci adımda ise, rassal değişkenlerin değerleri bilindiğinde düzeltici bir işlem yapılabilir. Amaç araç filosunu ve varlığı belirlenmiş olan rassal değerli müşterilerin taleplerini karşılamak için gerekli olan toplam zamanı ve servis sürelerini enküçükmektir. Bazı verilerin rassal olduğu durumlarda, rassal değerlerin tüm gerçekleşme durumlarında kısıtların karşılanmasını beklemek artık imkansızdır. Bu nedenle karar verici ya belirli bir olasılıkla bazı kısıtların karşılanması koşulunu koyabilir ya da herhangi bir kısıt bozulduğunda probleme düzeltici işlemler ekleyebilir (Diaz, 2007).

3.2.4.8. Çok depolu araç rotalama problemi

Önceki bölümlerde açıklanan VRP çeşitlerinde tek deponun olduğu kabul edilmiştir, çok depolu VRP (Multi Depot Vehicle Routing Problem) türünde ise isminden de anlaşıldığı üzere araçların harekete başlayabileceği birden fazla depo bulunmaktadır (Koç, 2012).

Bu problemde depoların ve müşterilerin konumları önceden bilinmektedir ve her depo tüm müşterilerin toplam taleplerini karşılayabilecek kapasiteye sahiptir. Bu problemde her araç hareket ettiği depoya geri dönmek durumundadır. Birden fazla deposu olan bir dağıtım şirketinin araç rotalama yapılmakta ise çok depolu olma durumunu yapılan modele ilave etmek gerekecektir. Çok depolu VRP, NP-zor bir problemdir ve en iyi çözümün elde edilebileceği verimli bir yöntem bulunmamaktadır (Ho vd., 2008). Pratikte sadece bir depodan dağıtım işlemlerinin gerçekleştirilmesi ihtimali zayıf olmasına rağmen çok depolu VRP ile ilgili literatürde çok az sayıda çalışma bulunmaktadır.

4. YEŞİL LOJİSTİK KAPSAMINDA EŞZAMANLI TOPLA-DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Sanayi devriminin ardından kentleşme ve sanayileşmenin her geçen gün artış göstermesinin doğal sonucu olarak çevre sorunları artmakta ve doğal kaynaklar sürekli azalmaktadır. Artan çevre sorunları ve doğal kaynakların azalması tüketicileri bilinçlendirmekte, hükümetleri ise gerekli tedbirlerin alınması yönünde harekete geçirmektedir. Tüm bu olumsuz gelişmelerin sonucunda mikro ve makro çevrelerinden kaynaklı birçok sebepten dolayı işletmeler bu sorunlarla mücadele edebilmek ve tehditleri fırsata çevirmek amacıyla Yeşil Tedarik Zinciri (Green Supply Chain) uygulamalarına ihtiyaç duymaktadırlar. İşletmelerin yeşil tedarik zinciri yönetimi uygulamalarına gereksinim yaratan nedenler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır: (Özesen, 2009)

- 1.Çevre kirliliğinin önlenmesi,
2. Doğal kaynakların korunması,
3. Geri kazanım,
4. Sürdürülebilir kalkınma,
5. Rekabetin değişen koşulları,
6. İşletme dışı baskılar,
7. Toplumla ilişkiler,
8. Tüketici tercihleri,
9. Eko-verimlilik,
10. Eko harcamaların azaltılması kapsamında çevre maliyetleri ve yasal yükümlülükler.

4.1. Yeşil Lojistik

Yeşil tedarik zinciri yönetimi işletmeler için aynı zamanda bir kârlılık aracı olabilmektedir. Her ne kadar işletmeler başlangıç aşamasında ve sonrasında ilave maliyetler üstlenmiş olsa da bütünsel bir yaklaşımda ve yeşil tedarik zinciri içerisinde konu değerlendirildiğinde israfların önlenmesi ve atıkların azaltılması, geri dönüşüm, yeniden kullanım, üretim ve tasarım süreçlerinin yalınlaştırılması vb. uygulamalar ile karlılık

mümkün olabilmektedir. Yeşil tedarik zinciri uygulamaları ile işletmenin çevreye etkisi ve karşılığı arasındaki pozitif ilişki ön plana çıkmaktadır (Korkankorkmaz, 2012).

Firmalar, nakliyeciler, tedarikçiler, dağıtıcılar, müşteriler tedarik zincirinin en temel unsurlarıdır. Tedarik zincirindeki unsurların arasında gerçekleştirilen ürün akışlarının tamamını kapsayan faaliyet lojistik olarak anılırken, günümüzde tersine lojistik faaliyetlerin tümünü ve ayrıca yeşil dağıtım ve yeşil tedarikçiyi de kapsayan bir lojistik yönetimi tarzı olan GL önem kazanmıştır.

Lojistik ilk olarak 1905 yılında Albay Chauncey B. Baker tarafından “malzeme ve personelin taşıma, tedarik, bakım ve yenilenmesi” şeklinde askeri bir fonksiyonu tanımlamak amacı ile kullanıldığı biliniyor. Aslında askeri orijinli bir tanım olup, personelin nasıl elde edileceği, nasıl sevk edileceği, depo, malzeme ve donanım tedariki ile ilişkili bir kavram olarak anlam kazanmıştır. Bu kapsamda “orduların erzak ve mühimmat desteğinin düşünülerek hareket ettirilmesi sanatı” olarak öngörülüyor. İş dünyasına 1960’larda giren bu kavram, kaynakların temini, nakliyesi ve tedarik zinciri boyunca depolanması gibi konularda karşılığını bulmuştur. Modern anlamda lojistik, ürün ve bilgi akışının planlanması, yaratılması ve izlenmesidir.

Geleneksel lojistik, üreticiden müşteriye nakliye, depolama, paketleme, stok yönetimi gibi ileriye doğru dağıtım faaliyetlerini organize etme çabasında iken, çevreci düşünceler geri dönüşüm ve imha için pazarı açmış ve yeni bir alt sektörün, tersine lojistiğin oluşumuna yol açmıştır. Tersine lojistik; tersine dağıtım, atıkların taşınması ve kullanılmış materyallerin hareketini içermektedir. Tersine lojistik toplama, tasnif etme, yoğunlaştırma, ayrıştırma, sevkiyat ve entegrasyon faaliyetlerini içerir (Sarkis, 1999).

İşletmeler, müşteriye ürün ya da hizmetin sunulmasından, yaşam ömrünü tamamlamış ürünlerin geri dönüşüm faaliyetlerine kadar uzanan tedarik zinciri faaliyetlerinin her bir aşamasında çevreye olumsuz etkileri minimize etmek, bu konuda taahhütlerde bulunmak ve stratejik programlar uygulamak, yönetim sistemleri oluşturmak yoluna girmiştir. Özellikle geri dönüşüm sürecinin, tersine lojistik faaliyetlerinin başarılı olması için müşteriler ile çok sıkı ilişkiler geliştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması, müşterilerden doğru bilginin hızlı olarak alınabilmesini gerektirir (Korkankorkmaz, 2012).

Dağıtım kanalları ve depolama noktalarının seçilmesi, rotaların tayin edilmesi, hangi yöntemle taşımacılığın yapılacağı belirlenmesi, ileriye ve geriye dönük faaliyetlerin bu çerçevede koordine edilip yürütülmesi çevreci bir bakışla ele alınıp tayin edilmelidir. Tedarik zinciri içinde çevreye zararlı gaz emisyonları ve karbondioksit partiküllerinin en temel sebeplerinden biri lojistik işlemleridir (Paksoy vd., 2011).

Daha kısa rotaların belirlenmesi ve kullanılması, depo alanlarının azaltılması, gereksiz stoğun tutulmaması, doğrudan dağıtım yeşil dağıtımın temel hedefleridir. Aynı şekilde, dağıtımda kullanılan araçların yakıt türü de çok önemlidir. LPG ya da elektrikli araçların kullanılması her geçen gün önem kazanmaktadır. Ulaşım yöntemi de, çevreci olmak zorundadır. Çevresel etkileri nedeniyle, karayolu yerine demiryolu ile taşımacılığa yönelen firmalar aynı zamanda ekonomik karlılık sağlamaktadırlar. Özellikle internetin yaygın olarak kullanılmaya başlanması, çok yönlü dağıtım merkezleri ve perakende bayi ihtiyacını da ortadan kaldırarak çevresel fayda sağlayabilir ve değişik dağıtım aktivitelerinin ortaya çıkmasına neden olabilir. (Polonsky, 2005).

4.2. İşletmelerin Yeşil Lojistiğe Geçişinde Yasal Zorunluluklar

Firmalar için yeşil uygulamalar ve yeşil tedarik zincirine geçiş için bilinçli müşteriler, verilen ödüller gibi değişik motivasyon kaynakları mevcut iken bazı firmalar için motivasyon kaynakları yeterli olmamaktadır. Bilinçli firmalar çevresel sürdürülebilirlik için GL uygulamalara başvurmakta iken diğerleri için yasal zorunluluklar ve yasalar bu konuda zorlayıcı olmuştur. Yasal zorunluluklar neticesinde üretici ve satıcılar çevresel etkilerini azaltmaya yönelik faaliyetlerde bulunmaktadır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadele sağlamaya yönelik uluslararası protokol olan Kyoto Protokolü ile ülkeler karbon dioksit ve sera etkisine neden olan gazların salınımını azaltmaya dair taahhütte bulunmuşlardır. Ülkemiz de 2009 yılında bu protokole dahil olmuştur. Gerek uluslararası protokoller, gerek ise diğer çevre mevzuatı yeşil uygulamalar için yasal zorunlulukları oluşturmaktadır.

ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi, doğal kaynakların korunması amacıyla, hava, su ve toprak başta olmak üzere çevre üzerindeki olumsuz etkinin asgariye indirilmesini

hedefleyen bir yönetim sistemidir. ISO 14000 sistem standardıdır ve çevre performansının izlenmesi ve iyileştirilmesi temeline dayanır. Aynı zamanda, küreselleşen pazarlarda yeşil kalite ile rekabet üstünlüğü sağlamaktadır (Emgin ve Türk, 2004). ISO 14001, işletmelerin çevresel faaliyetleri için sistematik bir yöntem sağlamak ve çevresel performansı arttırmak için alt yapı oluşturmaktadır (Yüksel, 2003).

TS EN ISO 14000 Serisi Standartları şu şekildedir:

1. ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi-Özellikler ve Kullanım Kılavuzu
2. ISO 14004 Çevre Yönetimi - Çevre Yönetim Sistemleri- Prensipler, Sistemler ve Destekleyici Teknikler İçin Genel Kılavuz
3. ISO 14020 Çevre Etiketleri ve Beyanları-Genel Prensipler
4. ISO 14031 Çevre Yönetimi-Çevre Performans Değerlendirmesi-Kılavuz
5. ISO 14040 Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme Genel Prensipler ve Ugulamalar
6. ISO 19011 Kalite ve Çevre Tetkiki İçin Kılavuz

Yeşil tedarik zincirinin başarısı için ISO 14000 çevresel yönetim sistemi uygulanmalıdır. Li (2011) çalışmasında Çinli girişimcilerin ISO 9000 standardı ve ISO 14001 sertifikasyonu gibi uluslararası organizasyonların gereklerini yerine getirerek ihracat felsefelerinde çıtalarını yükselttiğini tespit etmiştir. Bu sürecin tersten de desteklendiği görülmektedir. Özellikle küresel işletmelerin, tedarikçilerine çevresel yönetim sistemi oluşturma ve yeşil faaliyetler yürütme konusunda destek oldukları görülmektedir. Örneğin; Bristol-Myers Squibb, IBM ve Xerox gibi firmalar ISO 14001 ile uyumlu çevre yönetim sistemi geliştirmeleri için Çinli tedarikçilerini desteklerken; Ford, GM ve Toyota tedarikçilerinin ISO 14001 sertifikalı olmasını zorunlu kılmaktadır (Zhu vd., 2008). ISO 14001 sistemi, tedarikçileri de kapsayacak şekilde çevresel etkinin sistematik değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi sağlamakta ve çevresel performansı pozitif etkilemektedir (Arimura vd., 2011). Ülkemizde özellikle KOBİ'lerin bu çift yönlü gelişim dinamiğine uyum göstermesi, ekonomik gelişim ve çevresel performans açısından önem kazanmaktadır (Korkankorkmaz, 2012).

İşletmeler kurdukları ticari ilişkiler nedeniyle, tedarikçisi olduğu firmaların denetim ve talepleri ile karşılaşmakta ve müşteri memnuniyetini sağlamak için bu talepleri eksiksiz karşılamak çabası içine girmektedir. Çoğu zaman kurulan bu ilişkiler, az gelişmiş işletmelerin daha kurumsal ve gelişmiş işletmelerin taleplerini karşılamak için çevreci politikaları uygulamasına vesile olmaktadır. Gelişmiş işletmeler de, uzun vadeli tedarikçi ilişkileri geliştirmek ve tedarikçilerini geliştirmek için çaba harcamakta, denetim ve kontrollerde bulunmaktadır. Çin’de yapılan araştırmalar elektrik ve elektronik endüstrisinin çevresel yönetim sistemlerine daha iyi adapte olduğunu göstermektedir. Fakat aynı ülkede devlet tekelinin yoğun olduğu otomobil sektöründe çevresel yönetim sistemlerine adaptasyon daha geriden yol almıştır. Süreç içinde firmalar, yabancı firmalar ile yapılan işbirliği sonucunda, onların deneyimlerinden faydalanmaya ve çevresel imajlarını geliştirmeye başlamışlardır (Zhu vd., 2008).

Üretici sorumluluğu, piyasaya satılan ürünün geri toplanma mecburiyeti ve toplama ya da geri dönüşüm sistemleri kurma zorunlulukları yeşil tedarik zinciri yönetimine olan odaklanmayı arttırmıştır. Özellikle geri toplama ve dönüştürme konusunda yasal zorunluluklar mevcuttur. Artan üretici sorumluluğu anlayışı, orijinal donanım üreticilerinin ve diğer tedarik zinciri aktörlerinin üretmiş oldukları ürünleri, son tüketicinin kullanımından sonra toplamalarını, tekrar kullanılabilir hale getirmelerini ve geri kazanılamayacak olan malzeme ve ürünlerin imha edilmesi, israfın önlenmesi ve sürdürülebilir kalkınmanın altyapısının oluşturulması amacıyla zorunlu kılmıştır (Erol vd., 2006).

Avrupa Birliği’nde elektrikli ve elektronik donanımlara dair yönetmelik üretici sorumluluğu açısından önemlidir. Benzer yasaların Kanada, Japonya, Çin ve bir dizi Amerikan devletlerinde yürürlükte olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki; bulaşık makinesi, dondurucular, telekomünikasyon araçları, ses ve video aletlerinin kullanımı ile evlerde meydana gelen tüketimler küresel ısınmanın yaklaşık % 8’inin potansiyel yaratıcısıdır (Neto vd., 2010). Bu açıdan bakıldığında elektrikli ve elektronik aletlerin gerek üreticileri gerek ise kullanıcıları üzerinde var olan yasal zorunlulukların ne derece önemli olduğu anlaşılmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda çıkan yasalar ile bu konuda üreticilere çeşitli sorumluluklar yüklemiştir (Korkankorkmaz, 2012).

Avrupa Birliği, Ocak 2003'te Elektrik ve Elektronik Ekipmanların Atıkları Direktifi (WEEE) yönergesini yayınlamıştır (Nakıboğlu, 2007). Ülkemizde Avrupa Birliği uyum sürecinde kabul edilen mevzuat, Atık Elektrik ve Elektronik Eşyaların Toplatılması, Atık Pil ve Akümülatör Kontrolü Yönetmeliği, Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Hayat Seyrini Tamamlamış Taşıt Araçları Direktifi yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğin amacı, özellikle elektrik ve elektronik ekipmanların atıklarının miktar ve çevresel etkilerinin azaltılması, bu ekipmanların yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanımlarının arttırılmasıdır. Bu yönetmeliklerde üretici ve ithalatçılara sorumluluklar yüklenerek, geri kazanım ve geri dönüşüm, geri alma, geri kazanım tesislerinde değerlendirilmesi gibi hususlar tanımlanmıştır. Dolayısı ile bu yönetmelikler, ülkemiz işletmeleri için tersine lojistik faaliyetlerine kaçınılmaz bir şekilde adapte olmak için zorlayıcı bir etken olmaktadır (Korkankorkmaz, 2012).

Ürünlerin ve hizmetin düşük maliyet ve çevresel etki ile kısa süre içinde sunulması için ileri ve tersine faaliyetlerin koordine edilmesini gerektirir. Avrupa'da tersine lojistik faaliyetleri, Avrupa Birliği kullanım ömürlerini tamamlayan ürünler hakkındaki direktifler, kağıtların geri dönüşümü direktifleri ve onu izleyen kullanım ömrü dolan taşıtların direktifleri ve WEEE gibi yasal zorunluluklar sonucu oluşmuştur (Guide Jr. vd., 2009). WEEE, aynı zamanda üreticiler için ürünlerini toplama ve geri kazanım seçeneklerinin uygulanabilmesine uygun olarak tasarlama zorunluluğu getirmiştir (Kasap ve Peker, 2011). WEEE elektrik ve elektronik imalatçılarına ürün tipine bağlı olarak kullanılmış ürünlerin ağırlıkça %50 ile % 80 oranında geri dönüşümünü istemektedir.

Yeşil tedarik zinciri, geri dönüşüm ve yeniden kullanım faaliyetleri içermesi sebebiyle kapalı döngü tedarik zinciridir. Bu sebeple, geri alma zorunluluğu ve ömrü tükenen ürünlerin değerlendirilmesi çevresel kirliliğin önlenmesi ve kontrolü için bir araç olmaktadır. Avrupa Birliği'ndeki otomobil üreticileri Avrupa Birliği Ömrü Tükenen Araç Yönetmeliği'ne (EU ELV) göre geri dönüşebilir içeriği 2006 yılından 2015 yılına kadar %85'ten %95 e çıkarmaya zorlamaktadır (Crotty, 2006). Avrupa Birliği ülkelerinde pil ve bataryalardaki ağır metallerin azaltılması ve bu ürünlerin üretici ve ithalatçılar tarafından geri toplanması ile ilgili zorunluluklar bulunmaktadır. Sadece Almanya'da satılan 33.058 ton taşınabilir pilin 10.295 tonu geri toplanmıştır (Schultmann vd., 2003). Benzer yasal zorunluluklar diğer ülkelerde de uygulanmaktadır. ABD Enerji Bakanlığı; imalatçılardan

“daha iyi yapılar daha iyi fabrikalar” programı ile önümüzdeki 10 yıl içinde enerji tüketimlerini %25’e varan ölçüde azaltmalarını istemektedir (Webster, 2012). Sonuç olarak, yasal zorunluluklar yeşil tedarik zinciri uygulamaları için zorlayıcı bir etken olmaktadır (Korkankorkmaz, 2012).

Yeşil ürün, çevreye zarar vermeyen ve yeşil teknoloji ile üretilen üründür. Müşterilerin çevre ile dost ve geri dönüşüm gibi çeşitli sebepler ile kullanım ömrü sonunda işletmeler tarafından geri toplanan ürünlere ilgisi artmıştır. Bu durum rakipleri karşısında pazar payı avantajı yakalamak isteyen üreticileri teşvik etmiştir (Gungor ve Gupta, 1999). Doğal kaynakları korumak ve sürdürülebilir gelişim için yeşil ürünlere ihtiyaç ve ilgi artmaktadır (Korkankorkmaz, 2012).

Yeşil ürün doğayı kirletmeyen, geri dönüştürülebilir veya değerini koruyabilen ürünleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Yeşil ürünler fazla ambalaj veya kısa yaşam süresi nedeniyle çevresel kirlilik yaratmayan, ekolojik sistemde bulunan diğer canlılara zarar vermeyen ürünlerdir (Korkankorkmaz, 2012).

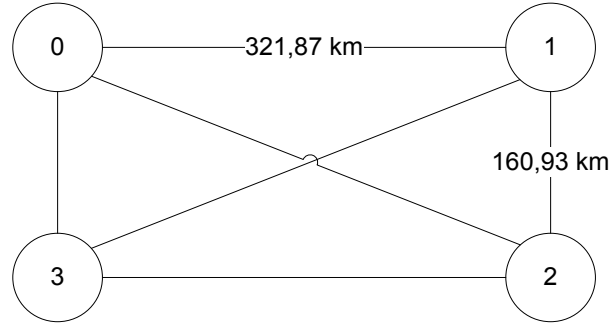
Yeşil üretim, yeniden kullanım, yeniden üretim ve geri dönüşüm gibi bir dizi faaliyeti içerebilir. Bu faaliyetlerden hepsi veya bir kısmı bir arada olabilir. Bu durum ürün grupları veya tüm sistem için mümkündür. Bu durum işletmenin, üretim ve ürün karakteristiğine göre değişmektedir. Bu faaliyetlerin her biri diğerlerine göre farklılık içerir. Yeniden üretim, yeniden kullanım ve geri dönüşüm faaliyetleri arasında farklılık söz konusudur. Bunu kısaca özetlemek gerekir ise; yeniden üretim bazı parçaların değişimi ve yeniden montajını içerirken, yeniden kullanım da ürünün fiziksel özelliklerinde bir değişim söz konusu değildir. Geri dönüşüm faaliyetinde ise, ürünün kimyasal ve fiziksel özellikleri komple değişime uğramaktadır. Yeşil üretim, çevresel hedefler altında bu faaliyetleri de kapsamaktadır. Bir yeşil üretim ortamı içinde, tedarik zinciri kararları proseslerde yenilenebilir ham maddeleri kullanma olanağını, yeniden kullanılabilir ve geri dönüşebilen malzemelerden faydalanma yeteneği ile atıkları azaltmayı içerir. Üretim proseslerinde fire ve atık oranının düşürülmesi, toplam kullanılan malzeme miktarının düşürülmesi yeşil üretimin özelliklerindedir. Günümüzde işletmeler yeşil üretim için adeta rekabet içindedir. Daha az kaynakla ve daha az çevresel zarar oluşturarak üretimi gerçekleştirmek gelecekte de işletmelerin başlıca amaçlarından olacaktır (Korkankorkmaz, 2012).

4.3. Problemin Tanıtılması

Harcanan enerjinin enküçüklenmeye çalışıldığı araç rotalama çalışmaları incelendiğinde, son yıllarda literatürde iki farklı amaç fonksiyonuna rastlanmaktadır. Bu amaç fonksiyonlarından birincisi, Kara vd. (2007) tarafından literatüre kazandırılmış olan taşınan toplam yükün (mesafe x yük) enküçüklediği amaç fonksiyonudur. Diğeri ise Bektaş ve Laporte (2011) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Çalışmalarında hız, yük, aracın teknik özellikleri gibi değişkenlere bağlı olarak değişim gösteren sera gazları salınımı ile yakıt arasındaki ilişkinin dikkate alındığı bir model önermişlerdir. Daha önce yapılan çalışmalar, klasik amaç fonksiyonları ve ekonomik hedefler ile çevresel faktörleri (özellikle de sera gazı salınımı miktarını etkileyen faktörler) entegre etmede eksik kalmıştır. Bu çalışmaları ile yazarlar, başta yük ve hız olmak üzere, birçok faktörü göz önüne alan ve taşıma işlemi için gerekli enerji miktarını azaltan bir yaklaşım geliştirmeye çalışmışlardır. Ayrıca çalışmalarını klasik VRP'nin bir uzantısı olarak tasarlayarak; günümüzün çeşitli problemlerinde (örneğin zaman pencere) de kolay bir şekilde kullanılmasını ve sera gazı salınımı miktarı ile birlikte diğer işletim maliyetlerinin de azaltılmasını sağlamayı amaçlamışlardır (Bektaş ve Laporte, 2011).

Bu tez kapsamında, Bektaş ve Laporte (2011) tarafından önerilmiş olan amaç fonksiyonunun bir uzantısı olan Liu vd. (2014) tarafından güncellenmiş hali kullanılmıştır. Coe (2005), 1 litre benzinden elde edilen enerjinin ve sera gazı salınımının da belirlendiği çalışmada; 1 litre benzinden yaklaşık olarak 8.8 kWh enerji açığa çıktığını, 1 kWh enerjiden de yaklaşık olarak 2,32 kg CO₂ salınımı gerçekleştiğini ifade etmiştir. Liu vd. (2014), Bektaş ve Laporte'nin (2011) tüketilen yakıtı buldukları amaç fonksiyonunu sabit bir ifade $((2,32/8,8)/3600000)$ ile çarparak tüketilen yakıtın çevreye yaydığı sera gazı salınımını hesaplamıştır (Liu vd., 2014).

Araç üzerindeki yük miktarının harcanan enerji miktarında sebep olabileceği değişikliği bir örnek ile göstermek için Şekil 4.1'deki serim kullanılmıştır. Serim düzgün bir dikdörtgen şeklindedir ve karşılıklı kenar uzunlukları birbirine eşittir.



Şekil 4.1. Örnek serim (Bektaş ve Laporte, 2011)

Bu serimde 0 düğümünün depo; 1,2 ve 3 numaralı düğümlerin de talepleri 1000 kg olan müşteriler olduğu varsayılmıştır. Kapasitesi 3000 kg olan bir adet aracın uygun turu depodan başlayacak ve yine depoda sonlanacaktır. Bu şekilde kat edilen mesafeyi enküçükleyecek iki en iyi tur bulunmaktadır: 0-1-2-3-0 ve 0-3-2-1-0. Her iki turun da toplam mesafesi 965,61 km'dir ve en kısa tur uzunluğunu veren en iyi çözümdür. Ancak, bu turlar harcanan enerji yönünden incelendiğinde sonuçlar farklı olmaktadır. Modelde yer alan parametrelerin ve yakıt tüketimi fonksiyonun kullanılması ile 0-1-2-3-0 turu için harcanacak enerji 192,56 kWh iken 0-3-2-1-0 turu için bu değer 183,79 kWh'tir. Aradaki fark %4,55 kadardır (Bektaş ve Laporte, 2011). Toplam kat edilen mesafe aynı olmasına karşın, ikinci turda araç tam dolu iken ilk müşteriye kadar kat edilen mesafe daha kısa, en son düğüm ile depo arasında aracın yük taşımadan kat ettiği mesafe daha uzun olduğundan yakıt tüketiminde fark oluşmaktadır. Bu örnek yakıt tüketimi ve harcanan enerji miktarının tur uzunluğuna göre değil taşınan yük miktarına bağlı olarak nasıl değişebileceğine, dolayısıyla en kısa turu bulmak ile en az enerji harcamayı gerektirecek turu bulmanın farklı şeyler olduğunu gösteren dair iyi bir örnektir (Atav, 2012).

Daha önce tez kapsamında kullanılan amaç fonksiyonu ile aynı amaç fonksiyonunun kullanıldığı çalışmalarda eğim varsayım ile yol boyunca sabit rakam olarak kullanılmıştır. Bu tezde gerçek yaşam problemlerine uyumun daha da iyileştirilmesi için dijital ortamda eğimler hesaplanarak yollar eğimin değişim gösterdiği parçalara ayrılmıştır. Her bir parça için tek tek eğimler bulunmuştur. Bu eğimler kullanılarak iki düğüm arasındaki revize edilmiş uzaklıklar hesaplanmıştır. Serimdeki her bir düğüm ikilisi için revize edilmiş uzaklıklar hesaplanarak oluşturulan revize edilmiş uzaklık matrisi problemin çözüm aşamasında kullanılmıştır.

Sera gazı salınımı miktarı genellikle gram birimi ile ölçülmektedir ve gerek harcanan enerji miktarı, gerekse yakıt maliyeti ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle gerek çevresel bir yaklaşım sergileyen, gerekse maliyet ile ilgili çalışma yapan birçok kişi bu miktarın hesaplanması ile ilgili çalışma yapmışlardır. Salınan sera gazının kendi maliyetinin yanında, çevreye olan etkilerinin de maddi bir tutara çevrilmesine yönelik çalışmalar da mevcuttur. Forkenbrock (2001) ve Tol (2005) bu konuda çalışma yapmışlar ve salınımı yapılan her ton CO₂ için bir maliyet miktarı ortaya koymaya çalışmışlardır. İngiltere Çevre, Gıda ve Kırsal Arazi Bölümü (DEFRA) 2007 yılında yaptığı çalışma ile bu maliyete karbon gölge fiyatı adını vermiş ve 2010 yılı için bu fiyatı her ton CO₂ için £27 olarak belirlemiş ve her geçen yıl %2 arttırmayı planlamıştır (DEFRA, 2007).

Barth vd. (2005; 2009) tarafından önerilen yakıt tüketim modelinde, E ile gösterilen anlık sera gazı salınımı (gr/sn) ile anlık kullanılan yakıt miktarı olan F arasında doğrusal bir ilişki vardır ve bu ilişki (4.1)'deki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$E = \delta_1 F + \delta_2 \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte δ_1 ve δ_2 parametreleri sera gazı salınımı için özel salınım parametreleridir. Eşitlikte yer alan F'in hesaplanması ise karışık bir işlemdir ve birçok faktöre dayanmaktadır. Barth vd. (2005; 2009) tarafından önerildiği şekli ile sadeleştirilerek (4.2)'de hesaplanmaktadır.

$$F \approx (kNV + \left(\frac{P_t}{\varepsilon} + \frac{P_a}{\eta}\right)U) \quad (4.2)$$

(4.2)'de;

- k Motor sürtünme faktörü,
- N Motor hızı (tur/sn),
- V Motor hacmi(m³),
- P_t Watt cinsinden gerekli çekiş gücü,
- ε Araç sürüş verimliliği,

- Pa Watt cinsinden çalışma esnasında kaybolan güç,
 η Dizel motorlar için verimlilik katsayısı,
 U N'in de dahil olduğu bazı sabitleri temsilen bir değeri göstermektedir.

(4.2)'de yer alan P_i 'nin hesaplanması için gerekli olan fonksiyon sadeleştirilerek, bir aracın i ve j noktalarını birleştiren θ_{ij} açılı bir eğime sahip bir ayrıtın h . parçası üzerinde v_{ij} (m/sn) ortalama hızı ile seyahat edeceği kabul edildiğinde, bu ayrıt parçası üzerinde aracın seyahat ederken harcayacağı enerji P_{ij}^h ile gösterilebilir ve şu şekilde yakınsanmaktadır (Barth vd, 2009);

$$P_{ij}^h \approx \alpha_{ij}^h (w + f_{ij}) d_{ij}^h \quad (4.3)$$

$$+ \beta (v_{ij}^h)^2 d_{ij}^h \quad (4.4)$$

α_{ij}^h i - j ayrıtının h . parçasına özel yer çekimi, yuvarlanma sürtünme katsayısı ve eğimi dikkate alan çarpan,

- W Aracın boş ağırlığı (kg),
 f_{ij} i - j arası taşınan yükün ağırlığı (kg),
 d_{ij}^h i - j arası h . parçanın mesafesi,
 β Araca özel aerodinamiktir.

(4.3)'te yer alan α değerini bulmak için (4.5) numaralı eşitlik kullanılır.

$$\alpha_{ij}^h = a + g \sin \theta_{ij}^h + g C_r \cos \theta_{ij}^h \quad (4.5)$$

Burada;

- a İvme (m/sn^2),
 g Yer çekimi sabiti (m/sn^2),
 C_r Direnç katsayısıdır.

Çalışmada hızın sabit olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle, araç ivmesi olan a sıfıra eşittir.

(4.4)'te yer alan β sabitini bulmak için (4.6) numaralı eşitlik kullanılmaktadır.

$$\beta = 0,5C_dA\rho \quad (4.6)$$

Burada;

C_d Çekiş katsayısı,

A Aracın ön yüzey alanı(m²),

ρ Hava yoğunluğu(kg/m³)'dur.

i - j ayrıtı boyunca harcanacak enerjiyi bulmak için (4.7) kullanılır.

$$P_{ij} \approx \sum_{h=1} p_{ij}^h \quad (4.7)$$

Aynı amaç fonksiyonun kullanıldığı önceki çalışmalarda yol boyunca eğimin sabit olduğu ve aynı şekilde aracın hız değişiminin olmadığı varsayılmıştır. Bu şartlar altında yapılan önceki çalışmalarda α_{ij}^h ayrıtı özel yer çekimi ve eğimi dikkate alan sabit olarak adlandırılmıştır. Fakat bu çalışmada, eğimler hesaplanırken α_{ij}^h sabit olarak alınmamıştır. Ayrıca modelde kullanılan diğer parametreler Çizelge 4.1'deki gibi seçilmiştir.

Çizelge 4.1. Amaç fonksiyonunda kullanılan parametreler

PARAMETRELER	DEĞER
Araç ivmesi (a)	0 (m/s ²)
Yuvarlanma Sürtünme Katsayısı (C_r)	0,7
Yol Sürtünme Katsayısı (C_d)	0
Hava Akışkanlık Katsayısı (ρ)	1,2041 (kg/m ³)

Önceki çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da $C_d=0$ olarak alınmıştır. Bu nedenle $\beta=0$ olur. İfade (4.4) sıfıra eşit olur.

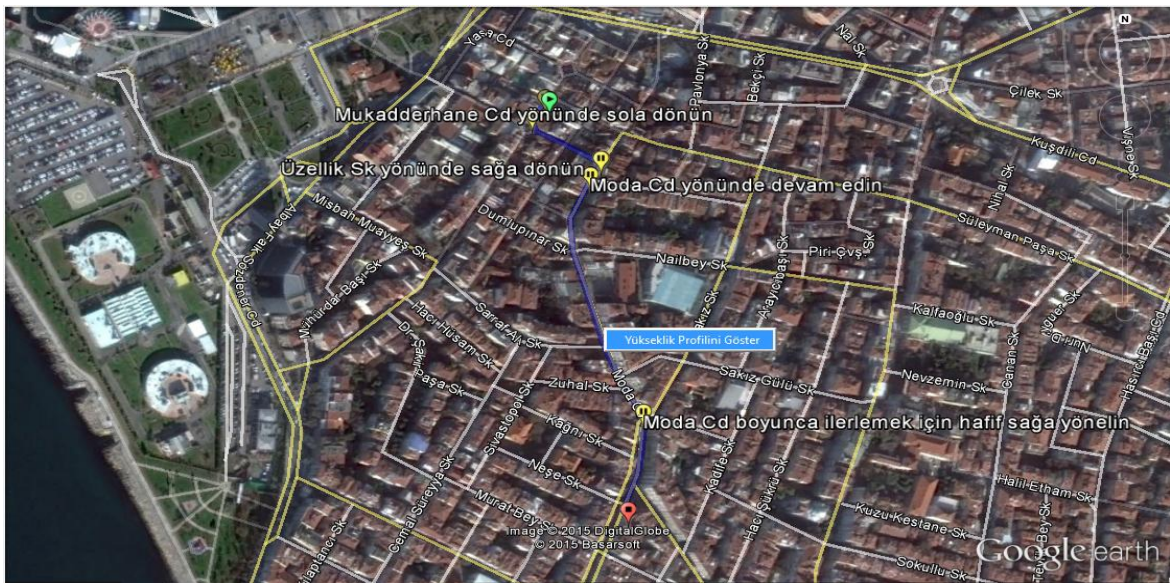
Eşitlik (4.7) ile $i-j$ ayrıtı boyunca harcanan enerjinin, ayrıtın her bir parçasında harcanan enerji toplamına eşit olduğu gösterilmiştir. Ayrıt boyunca taşınan yük sabit olduğundan, yükü toplam işaretinin dışarısına çıkartarak eşitlik (4.8)'i yazmak mümkündür.

$$P_{ij} \approx (w + f_{ij}) g \sum_{h=1} d_{ij}^h (\sin\theta_{ij}^h + C_r \cos\theta_{ij}^h) \quad (4.8)$$

Eşitlik (4.8)'de yer alan $\sum_{h=1} d_{ij}^h (\sin\theta_{ij}^h + C_r \cos\theta_{ij}^h)$ ifadesi her bir $i-j$ ayrıtı için bilgisayar ortamında önceden hesaplanmıştır ve revize edilmiş uzaklık olarak tanımlanmıştır. Bu uzaklıkların oluşturduğu revize edilmiş uzaklık matrisi problemin çözümü esnasında klasik uzaklık matrisi yerine kullanılmıştır.

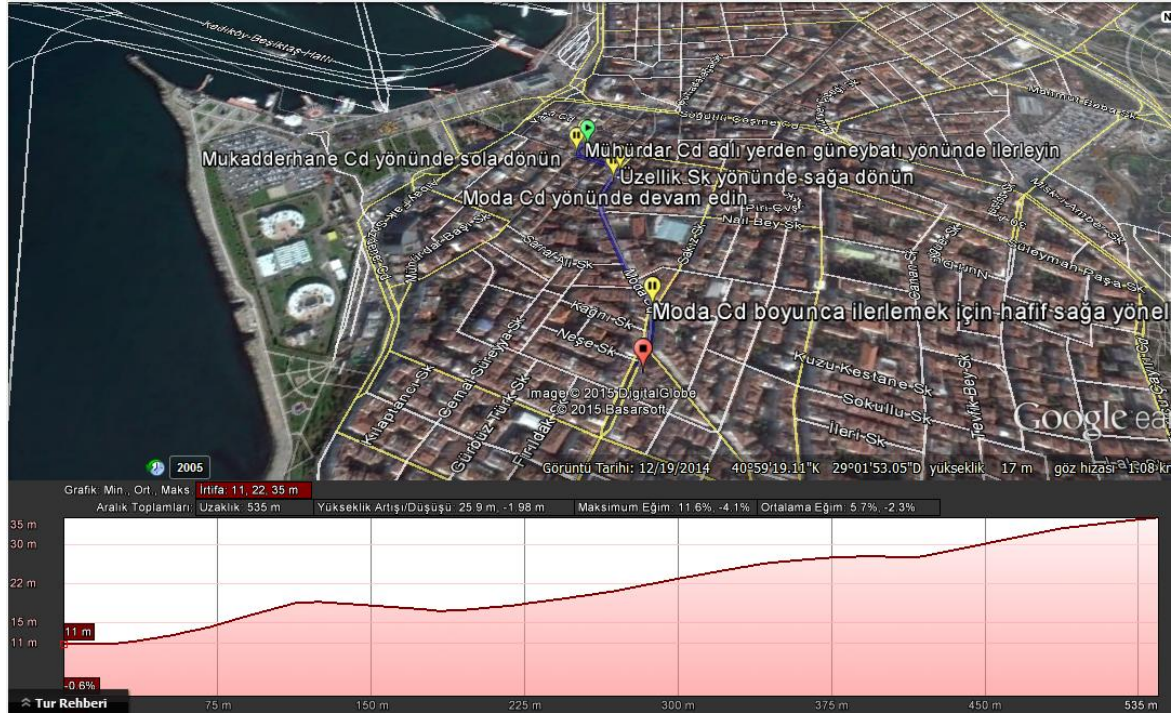
4.4. Google Earth ile Eğime Göre Revize Edilmiş Uzaklıkların Elde Edilmesi

Revize edilmiş uzaklıkları elde etmek için Google Earth kullanılmıştır. Bu bölümde ilgili program kullanılarak bu verilerin nasıl elde edildiği açıklanmıştır.



Şekil 4.2. Google Earth örnek yol

Google Earth üzerinde başlangıç ve bitiş noktaları seçildikten sonra çıkan yolun üzerine getirilen bilgisayar faresinin sağ tıklama tuşu ile tıklanarak yükseklik profilini göster butonun çıkması sağlanır. Seçilen buton ile Şekil 4.3'ün alt kısmında görülen yolun yükseklik profili açılır.

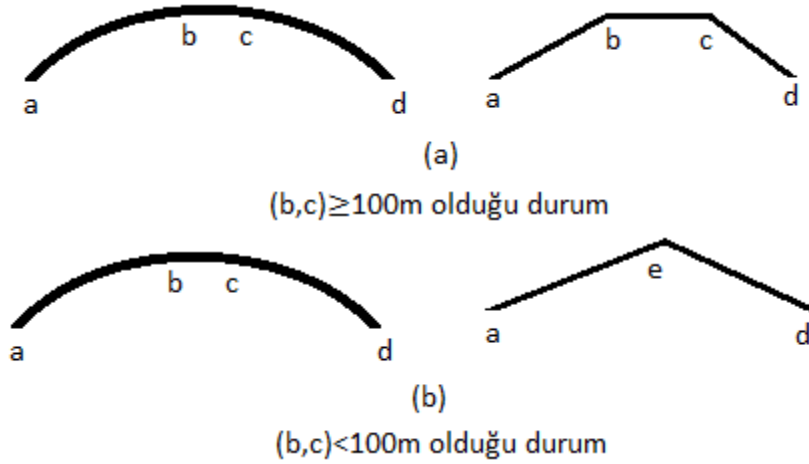


Şekil 4.3. Google Earth üzerinde yükseklik profili

Kullanılacak revize edilmiş uzaklık matrisi oluşturulurken Google Earth üzerinden her bir ayırıt için;

1. Eğimin pozitiften negatife geçtiği yerler,
 2. Eğimin negatiften pozitifte geçtiği yerler,
 3. Google Earth'de yükseklik grafiğinde kırılmaların olduğu yerler,
- bir başlangıç ya da bitiş noktasıdır.

Yüksekliğin değişmediği 100 metreden daha uzun mesafeler için eğimi sıfır olan ayırıt parçası oluşturulmuştur. Aksi durumda parçaya ayırma işlemi tek nokta üzerinden yapılmıştır. İki durumu açıklamak için Şekil 4.4'teki örnek kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Örnek yükseklik eğrileri

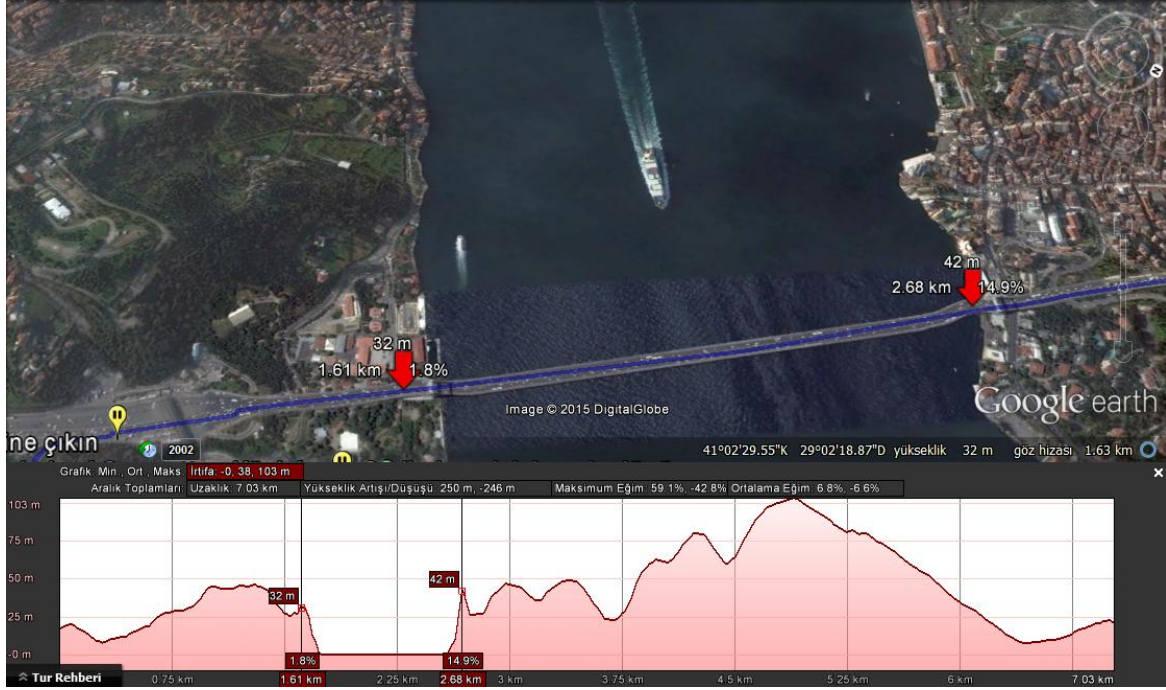
Şekil 4.4'teki iki durum için verilen örnek yollarda **b** noktalarına kadar yükseklik artışı söz konusudur. İki durumda da yükseklikler **b** ile **c** arasında sabittir. Yüksekliğin azalmaya başladığı nokta **c** noktalarıdır. (a)'daki örnekte, **b** ve **c** noktalarının arasındaki mesafe 100 metreden fazladır. Bu durumda, **b** ve **c** noktalarının her ikisinden de parçalara ayırma işlemi uygulanır. (b)'de ise **b** ve **c** noktalarının arasındaki mesafe 100 metreden azdır. İkinci örnek için **b** ve **c** noktaları arasında eğimin sıfıra en yakın olduğu sadece bir noktadan (e) parçalara ayırma işlemi uygulanmıştır. (a)'da örnek yol üç parçaya ayrılırken, (b)'deki örnek yol iki parçaya ayrılmıştır.

Google Earth'den eğimlerin alınması sırasında dikkat edilen üç husus vardır. Bunlardan birincisi, Google Earth farklı mesafelerdeki yollar için farklı hassasiyette yükseklik eğrisi grafiği vermektedir. Standartlaştırmaya gitmek için yolun yükseklik eğrisi ekrana yansıtıldıktan sonra yolun başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki her noktaya yaklaşık olarak 200 metre göz hizasında yakınlaştırma yapılmıştır (Yol boyunca yaklaşık 200 metre yükseklikte gezilmiştir). Bu işlemin gerçekleştirilmesinin sebebi, eğimleri modele yansıtma işleminin daha hassas bir şekilde gerçekleştirmektir. Böylelikle, Google Earth ile belirli bir alan dikkate alınarak yansıtılan yükseklik eğrisi grafiği farklı yol uzunlukları için her seferinde standart olarak modele yansıtılmıştır. Göz hizasının 200 metre seçilmesinin sebebi, belirli bir yüksekliğe kadar yükseklik eğrisinde yaklaşma oldukça değişim gerçekleşse de 250 metrenin altına inildikten sonra yükseklik eğrisinde herhangi bir değişiklik söz konusu değildir.



Şekil 4.5'teki örnekte yükseklik eğrisi ile haritanın birleştiği çizginin en sağ tarafında göz hizası 195 metre olarak gözükmektedir. Göz hizasında yakınlaştırma ve uzaklaştırma işlemi farenin topunun yuvarlanması ile gerçekleştirilir. Daha önceden belirlenmiş olan Şekil 4.5'te mavi ile gösterilen yolun başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki her nokta için yaklaşık olarak 200 metre göz hizasında yakınlaştırma yapılmıştır.

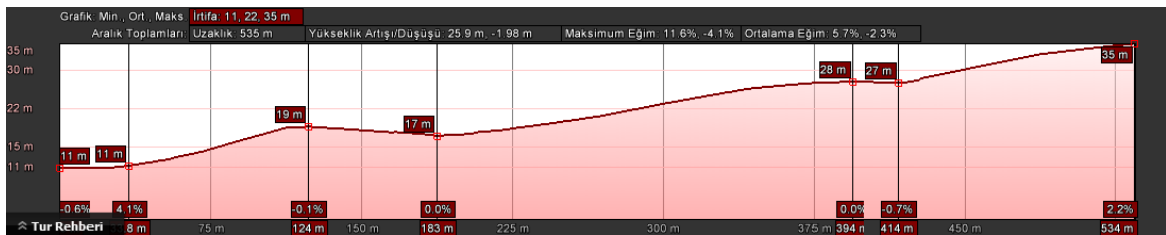
İkinci dikkat edilen husus ise; kullanılan programda yükseklik grafiği verilirken köprülerin yüksekliğinin sıfır olarak grafiğe yansımalarıdır. Bunun önüne geçebilmek için köprü'nün baş ve son kısımlarında yükseklik artmaya ve azalmaya başlamadan önceki noktalar temel alınarak oluşturulan parça boyunca eğim sabit olarak alınmıştır. Bir önceki örnekte de olduğu gibi bu işlemin gerçekleştirilme sebebi eğimlerin modele standart bir şekilde yansıtılmak istenmesidir. Gerçekleştirilen ilgili işlem ile eğimler modele daha doğru bir şekilde yansıtılmak istenmiştir. Köprülerde, köprü boyunca yüksekliğin belirli noktalar arasında sıfır olarak devam etmesinin sebebi belirli bir alan üzerinden yükseklik grafiğinin oluşturulmasıdır. Keskin bir yükseklik azalmasının başladığı ve yükseklik artışının bittiği noktalar dikkate alınarak eğim sabit olarak alınmıştır. Köprülerde yükseklik eğrisinin modele nasıl yansıtıldığını örneklemek için İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakasını birbirine bağlayan Fatih Sultan Mehmet Köprüsü Şekil 4.6 verilmiştir.



Şekil 4.6. Köprü örneği

Google Earth’de yolun belirli bir noktasındaki yükseklik, yolun ilgili noktasının etrafındaki belirli bir alan dikkate alınarak belirlenmiştir. Deniz üzerine inşa edilmiş köprüler için deniz seviyesinde yükseklik veren programın bu eksikliğini giderebilmek adına Şekil 4.6’daki örnekte belirtilen noktalar dikkate alınarak ayrıtın parçası oluşturulmuştur.

Şeffaflık sağlayabilmek için dikkat edilen diğer husus ise; Google Earth programında eğimlerin sıfıra eşit olduğu noktaların gözükmemesidir. Bu noktalara en yakın noktalar üzerinden parçalara ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parçalara ayırma işlemi örneklendirmek için Şekil 4.7’te parçalara ayırma işlemi yapılmıştır.



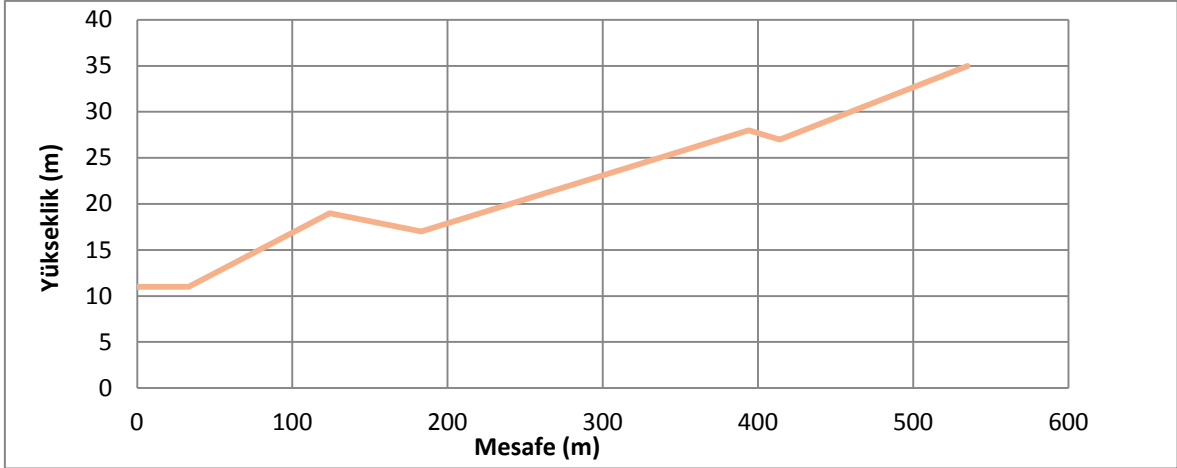
Şekil 4.7. Ayrıtı parçalara ayırma örneği

Örnek kapsamında Şekil 4.7’de ele alınan yol 6 parçaya ayrılmıştır. Bu yükseklik verilerine göre parçalara ayırma işlemi yapılacak kesim noktaları Çizelge 4.2’de yazılmış ve her bir parçanın revize edilmiş uzunluğu bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Ayırıt için revize edilmiş uzaklık

Kesme No	Yükseklik	Başlangıç Noktasına Uzaklık (m)	Parça No	Uzunluk (m)	Eğim(tanjant)	Revize Edilmiş Uzaklık
1	11	0	1	33	0	23,1
2	11	33	2	91	0,087912088	71,42453
3	19	124	3	59	-0,033898305	39,27744
4	17	183	4	211	0,052132701	158,4848
5	28	394	5	20	-0,05	12,98378
6	27	414	6	121	0,066115702	92,49805
7	35	535				
Revize Edilmiş Toplam Uzaklık						398

Çizelge 4.2 ile her bir parça için bulunan revize edilmiş uzaklıklar toplanarak, eğimlerin, yuvarlanma direnç katsayısının (C_r) dikkate alındığı revize edilmiş toplam uzaklık ayırıt için elde edilmiştir. Başlangıç ve bitiş noktaları da dahil olmak üzere 7 nokta üzerinden parçalara ayırma işlemi uygulanmıştır. Dolayısıyla 6 adet parça oluşmuştur. Normalde 535 metre olan yol uzunluğu, eğimlerin ve yuvarlanma direnç katsayısının etkisi ile 398 metre olarak bulunmuştur. Revize edilmiş uzaklıklardaki azalmanın nedeni yuvarlanma direnç katsayısının hareketi kolaylaştırıcı bir etkisinin olmasıdır. Çizelgede birinci sütunda kesmenin uygulandığı nokta sayısı verilmiştir. İkinci sütunda kesmenin uygulandığı noktanın yüksekliği verilmiştir. Üçüncü sütunda kesmenin uygulandığı noktanın yolun başlangıç noktasına uzaklığı gösterilmiştir. Sonraki sütunda oluşan parça numarası verilmiştir. Örneğin birinci parça numarası, birinci ve ikinci kesme noktaları arasında kalan kısmı temsil etmektedir. Son sütunda oluşan tüm parçaların revize edilmiş uzaklıkları hesaplanmıştır. En alt satırda, revize edilmiş parça uzaklıkları toplanarak ayırıtın revize edilmiş uzaklığı hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de oluşan kesmeler dikkate alınarak yükseklik eğrisinin grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Yüksek eğrisi grafiği

Önerilen kriterler ile Google Earth kullanılarak parçalara ayrılan yolun yükseklik eğrisi Google Earth programının verdiği yükseklik eğrisine benzer olmaktadır. Benzer bir yükseklik eğrisi oluşturulmasına rağmen, önerilen yaklaşımın en büyük eksikliği parabolik yolların modele tam anlamıyla yansıtılamamış olmasıdır.

Uzaklık matrisinde yer alan 156 ayrit için parçalara ayırma işlemi uygulanmıştır. Her bir ayrit tanımlanan kriterler doğrultusunda farklı sayıda parçaya bölünmüştür. Her ayritin yaklaşık olarak 150 parçaya ayrıldığı düşünülürse, tez kapsamında yaklaşık olarak 23400 (156x150) adet parça için tek tek eğimler ve revize edilmiş uzaklıklar hesaplanmıştır. İlgili verilerin elde edilmesi yaklaşık dört ay sürmüştür. Gerçekleştirilen bu işlem çok zaman aldığından, ileriki çalışmalarda yine bu çalışmadaki kriterlere benzer kriterler doğrultusunda bir bilgisayar yazılımıyla çok kısa sürede revize edilmiş uzaklık matrisi oluşturulabilir. Bu tez kapsamında asıl amaçlanan eğimlerin dikkate alınması ile oluşacak farklı sonuçların gösterilmesidir.

4.5. Matematiksel Model

VRPSPD’de dağıtım ve toplama müşterileri aynı müşteriler olup bu müşterilere eşzamanlı olarak hizmet verilmektedir. Müşterilere uğranıldığında dağıtılacak ürün bırakılıp toplanılacak ürün alınmaktadır (Ai ve Kachitvichyanukul 2009). Gıda sektöründe, içecek endüstrisinde boş şişelerin taşınması, otomotiv sektöründe yedek parçaların geri

dönüşüm için fabrikalara geri gönderilmesi VRPSPD'ye örnek olarak verilebilir (Dethloff, 2001).

VRPSPD en genel hali ile şu şekilde tanımlanabilir: $G(DK, A)$ tam bağlı (bütün düğümler arasında doğrudan bir ayrıtın mevcut olduğu durum) bir serim olsun. $DK=\{0, \dots, n\}$ düğüm kümesi ve A ise bu düğümler arasında tanımlanan ayrıt kümesidir. ($A= \{(a,b) | a \neq b \text{ ve } a, b \in DK\}$). Düğüm kümesinde '0' düğümü depoyu, '1, ..., n' düğümleri ise müşterileri temsil etmektedir (Altıparmak vd. 2008). Çalışmada ele alınan problemin amaç fonksiyonu ile karbon emisyonları enküçülenmek istenmiştir. Kullanılan amaç fonksiyonunda doğrudan uzaklıkları kullanmak yerine, eğim ve yuvarlanma direnç katsayısı kullanılarak bulunan revize edilmiş uzaklık matrisi kullanılmıştır. Tüketilecek yakıt temel alınarak hesaplanan karbon emisyonları, revize edilmiş uzaklıklar boyunca taşınan toplam yükü sabit bir çarpan ile genişleterek hesaplanmıştır.

Varsayımlar:

1. Taşımayı gerçekleştirecek araçlar depoda hazır olarak beklemektedir,
2. Araçlar özdeş, kapasiteleri eşittir,
3. Müşteri yerleri, müşteriler arası mesafeler ve müşteriler için toplama ve dağıt miktarları önceden biliniyor ve sabittir,
4. Müşteriler dağıtımın ve talebin kesinlikle tek bir ziyarette yerine getirilmesini istemektedirler. Yani dağıtım ve toplama talepleri bölünemez.
5. Sadece bir depo vardır ve yeri sabittir.
6. Araçlar rotalarına depodan başlar ve müşteri taleplerini karşıladıktan sonra depoya döner,
7. Üçgen eşitsizliği ($c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj}$) sağlanmaktadır.

Çalışmada ele alınan eğimleri dikkate alan VRPSPD problemi için Dethloff 'un (2001) karma tamsayı doğrusal modelinden yararlanılarak bir karma tamsayı matematiksel model önerilmiştir:

İndisler:

$J: J=\{1,\dots,n\}$ müşteri düğümleri kümesi,

$J_0: J_0=\{0,\dots,n\}$ depoda dahil düğümlerin tamamı,

$V: V=\{1,\dots,m\}$ araçlar kümesi,

Parametreler:

c'_{ij} : i ve j düğümleri arası revize edilmiş uzaklık $i, j \in J_0, i \neq j$,

$$c'_{ij} = \sum_{h=1}^M d_{ij}^h (\sin \theta_{ij}^h + C_r \cos \theta_{ij}^h)$$

M : Yeterince büyük bir sayı,

Cap : Araç kapasitesi,

d_j : j . Müşteri düğümün dağıtım miktarı $j \in J$,

p_j : j . Müşteri düğümün toplama miktarı $j \in J$,

n : Düğüm sayısı,

W : Araç darası,

Karar Değişkenleri:

b_v : v . aracın depodan çıktığı andaki aracın ağırlığı (araç darası da dahil) $v \in V$,

L_j : j . Müşteri düğümünden ayrılırken aracın ağırlığı (araç darası da dahil) $j \in J$,

S_j : Alt tur engellemek için kullanılan değişken, j ($j \in J$) düğümünün rotadaki pozisyonu,

$$x_{ijv} = \begin{cases} 1, & i \text{ den } j \text{ ye } v. \text{ araç ile gidiliyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Y_{ijv} : i 'den j 'ye giderken v . aracın ağırlığı

VRPSD için eğimleri dikkate alarak karbon salınımını enküçükleyen karma tamsayılı doğrusal model;

Amaç Fonksiyonu:

$$9,81 \frac{2,32}{8,8} / 3600000 \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m Y_{ijv} c'_{ij} \quad (4.9)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i \in J_0} \sum_{v \in V} x_{ijv} = 1, \quad j \in J \quad (4.10)$$

$$\sum_{i \in J_0} x_{ikv} = \sum_{j \in J_0} x_{kjv}, \quad k \in J, \quad v \in V \quad (4.11)$$

$$b_v = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J} d_j x_{ijv} + W, \quad v \in V \quad (4.12)$$

$$l_j \geq b_v - d_j + p_j - M(1 - x_{0jv}), \quad j \in J, \quad v \in V \quad (4.13)$$

$$l_j \geq l_i - d_j + p_j - M \left(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv} \right), \quad i \in J, \quad j \in J, \quad i \neq j \quad (4.14)$$

$$Y_{0jv} \geq b_v - M(1 - x_{0jv}), \quad j \in J, \quad v \in V \quad (4.15)$$

$$Y_{ijv} \geq l_i - M(1 - x_{ijv}), \quad i \in J, \quad j \in J_0, \quad v \in V \quad (4.16)$$

$$s_j \geq s_i + 1 - n \left(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv} \right), \quad i \in J, \quad j \in J, \quad i \neq j \quad (4.17)$$

$$b_v \leq \text{cap} + W, \quad v \in V \quad (4.18)$$

$$l_j \leq \text{cap} + W, \quad j \in J \quad (4.19)$$

$$s_j \geq 0, \quad j \in J \quad (4.20)$$

$$Y_{ijv} \geq 0, \quad i \in J, \quad j \in J, \quad v \in V, \quad i \neq j \quad (4.21)$$

$$x_{ijv} \in \{0, 1\}, \quad i \in J, \quad j \in J, \quad v \in V, \quad i \neq j \quad (4.22)$$

Modelin amaç fonksiyonu eşitlik (4.9)'da verilmiştir. Amaç fonksiyonunda; yuvarlanma sürtünme katsayısı ve eğimlerin kullanılarak revize edildiği uzaklıklar (c'_{ij}) ile yük çarpılarak revize edilmiş uzaklıklar boyunca taşınan yük hesaplanmıştır. Bulunan ifadenin yer çekimi ivmesi g ile çarpılması sonucu tüketilen enerji ($g \sum Y_{ijk} c'_{ij}$) elde edilmiştir. Tüketilen enerji miktarına bağlı olarak açığa çıkan sera gazı salınımı miktarı, sabit ifade $(2,32/8,8)/3600000$ ile çarpılarak elde edilmiştir.

Eşitlik (4.10) her müşteriye sadece bir kez gidilebileceğini belirtmiştir. Eşitlik (4.11) müşteriye hangi araçla gidildiyse, o araçla düğümden ayrılacağını garanti etmiştir. Eşitlik (4.12) başlangıç düğümünden (depo) çıkarken araçların toplam yüklerini (araç darabası dahil) vermiştir. Eşitlik (4.13) ile başlangıç düğümünden sonra gidilen ilk müşteriden sonraki yük hesaplanmıştır. Benzer şekilde, rotadaki diğer düğümlerden sonraki yük hesabı için eşitlik (4.14) kullanılmıştır. Depodan çıkan araçların yükleri için doğrusallaştırmanın yapıldığı kısıt eşitlik (4.15) kullanılarak ve benzer şekilde eşitlik (4.16) kullanılarak rotadaki diğer düğümlerden sonraki yükler için doğrusallaştırma yapılmıştır. Eşitlik (4.17) alt tur engelleme kısıtı olarak kullanılmıştır. Eşitlik (4.18) depodan çıkan araçlar için araç kapasitesinin aşılamayacağını garanti etmiştir. Müşteriye hizmet verildikten sonra araç kapasitesinin aşılamayacağını gösteren kısıt eşitlik (4.19)'da verilmiştir. Eşitlik (4.20) ve (4.21) sırası ile s_j ve Y_{ijk} karar değişkenlerinin negatif değerler alamayacağını garanti eder. Eşitlik (4.22) x_{ijk} karar değişkeninin binary değişken olduğunu belirtmiştir.

4.6. Boyut Analizi

Matematiksel modeldeki kısıt ve değişken sayısını belirleyebilmek için boyut analizi çalışması yapılmıştır. Müşteri sayısı n (başlangıç düğümü hariç) olan, m adet homojen araçla yapılacak dağıtım için problemin boyut analizi sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu işlemin gerçekleştirilme amacı problemdeki değişken sayılarının ve kısıt sayılarının model yazılmadan önce bilinmek istenmesidir. Ayrıca gerçekleştirilen bu işlem ile problemin zorluk seviyesi gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Boyut analizi

KISIT	DEĞİŞKENLER	DEĞİŞKEN SAYILARI	KISIT SAYISI
$\sum_{i \in J_0} \sum_{v \in V} x_{ijv} = 1$	$j \in J$	j	n
$\sum_{i \in J_0} x_{ikv} = \sum_{j \in J_0} x_{k jv}$	$k \in J, v \in V$	$k \times v$	$m \times n$
$b_v = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J} d_j x_{ijv} + W$	$v \in V$	v	m
$l_j \geq b_v - d_j + p_j - M(1 - x_{0jv})$	$j \in J, v \in V$	$j \times v$	$m \times n$
$l_j \geq l_i - d_j + p_j - M \left(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv} \right)$	$i \in J, j \in J$	$i \times j$	n^2
$Y_{0jv} \geq b_v - M(1 - x_{0jv})$	$j \in J, v \in V$	$j \times v$	$m \times n$
$Y_{ijv} \geq l_i - M(1 - x_{ijv})$	$i \in J, j \in J_0, v \in V$	$i \times (j+1) \times v$	$n \times (n+1) \times m$
$s_j \geq s_i + 1 - n \left(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv} \right)$	$i \in J, j \in J$	$i \times j$	n^2
$b_v \leq cap + W$	$v \in V$	v	m
$l_j \leq cap + W$	$j \in J$	v	m
Toplam Kısıt Sayısı			$mn^2 + 2n^2 + 4mn + 3m + n$
Toplam Değişken Sayısı			$2mn^2 + 4mn + 3m + 2n$

Buna göre toplam müşteri sayısının 12, toplam araç sayısının 6 olduğu bir problemde 1470 adet kısıt bulunmaktadır. Toplam değişken sayısı ise verilen parametreler için; 2058'dir.

4.7. Test Problemleri

Test problemleri oluşturulurken ve bunlara çözüm ararken karşılaşılan iki temel güçlük vardır. Bunlardan birincisi; tez kapsamında ele alınan serimin çok büyük olması revize edilmiş uzaklık matrisinin oluşturulmasını da o derece zorlaştırmıştır. Bu sebeple, farklılıkları ortaya koymaya yetecek büyüklükte bir serim seçilmiştir.

Test problemlerini oluştururken, birden çok ve farklı serimler için uzaklık matrisinin oluşturulması çok zaman gerektiren bir süreç olduğu için bu tez kapsamında sadece bir serim üzerinden test problemleri oluşturulmuştur. İstanbul'un Anadolu yakasındaki ilçe merkezlerinin her birinin birer düğüm olarak kullanıldığı serimde farklı araç sayıları için rassal olarak oluşturulan test problemleri kullanılarak önerilen yaklaşımın avantajları sunulmuştur.

Araç kapasitesinin sabit olduğu problemler oluşturulurken, araç sayısına bağlı olarak müşteri düğümlerinin talep ve toplama miktarları rassal olarak belirlenen aralıklarda oluşturulmuştur.

İstanbul'un Anadolu yakası için her bir ilçenin bir düğüm olduğu serim üzerinden test problemleri oluşturulmuştur. Bu serimde, Ataşehir ilçesi depo olarak seçilmiştir ve diğer ilçeler müşterilerdir. İlçeler arası uzaklıklar (bir ilçeden diğer ilçeye mesafeler) Google Earth tarafından önerilen yollar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bir ilçeden diğerine giderken başka bir ilçe üzerinden geçilebilir. İstanbul'un Anadolu yakasındaki ilçeler için uzaklık matrisi Çizelge 4.4'te verilmiştir ve Dethloff'un (2001) önerdiği modelin çözümlerini elde etmek için kullanılmıştır. Uzaklık matrisi kullanılarak elde edilen sonuçlar önerilen yaklaşım ile elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Revize edilmiş uzaklık matrisi Çizelge 4.5'te verilmiştir. Önerilen yaklaşım ile çözümleri elde ederken kullanılan revize edilmiş uzaklık matrisindeki veriler (c'_{ij}), eşitlik (4.8)'de $\sum_{h=1} d_{ij}^h (\sin\theta_{ij}^h + C_r \cos\theta_{ij}^h)$ ifadesi kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. Uzaklık matrisi

	Üsküdar	Ümraniye	Tuzla	Şile	Sultanbeyli	Sancaktepe	Pendik	Maltepe	Kartal	Kadıköy	Çekmeköy	Beykoz	Ataşehir
Üsküdar	13400	10900	26300	56300	15100	18900	31300	9760	13000	5250	26900	25600	—
Ümraniye	27400	21800	48800	58000	37600	38300	45000	33400	36600	26600	22800	—	25600
Tuzla	36000	30300	33200	35300	21600	15100	21900	37500	35900	35400	—	22800	26900
Şile	10300	11200	29900	63400	18700	25900	32700	10400	13600	—	35400	26600	5250
Sultanbeyli	20500	21600	25800	64500	22100	23900	33100	5800	—	13600	35900	36600	13000
Sancaktepe	17200	18300	28400	70400	24700	33000	35700	—	5800	10400	37500	33400	9760
Pendik	40400	29200	14400	51300	14900	9000	—	35700	33100	32700	21900	45000	31300
Maltepe	28100	22400	20300	44500	10400	—	9000	33000	23900	25900	15100	38300	18900
Kartal	23500	21100	12200	51100	—	10400	14900	24700	22100	18700	21600	37600	15100
Kadıköy	65400	59800	62700	—	51100	44500	51300	70400	64500	63400	35300	58000	56300
Çekmeköy	36000	33500	—	62700	12200	20300	14400	28400	25800	29900	33200	48800	26300
Beykoz	7530	—	33500	59800	21100	22400	29200	18300	21600	11200	30300	21800	10900
Ataşehir	—	7530	36000	65400	23500	28100	40400	17200	20500	10300	36000	27400	13400

Çizelge 4.5. Revize edilmiş uzaklık matrisi

Üsküdar	Ümraniye	Tuzla	Şile	Sultanbeyli	Sancaktepe	Pendik	Maltepe	Kartal	Kadıköy	Çekmeköy	Beykoz	Ataşehir	
9407	7593	18400	39515	10536	13189	21931	6863	9171	3719	18838	18358	—	Ataşehir
19218	15237	34230	40510	26295	26780	31533	23422	25703	18674	15733	—	18393	Beykoz
25125	21073	23127	24682	14989	10435	15257	26178	25101	24720	—	15995	18658	Çekmeköy
7190	7757	20873	44384	13009	18041	22863	7267	9548	—	24808	18497	3627	Kadıköy
14293	15000	17970	45050	15354	16609	23111	4016	—	9482	25123	25460	9016	Kartal
12025	12732	19831	49289	17215	23017	24972	—	4100	7285	26283	23263	6793	Maltepe
28260	20360	10036	35926	10359	6225	—	24978	23202	22887	15369	31380	21864	Pendik
19723	15671	14229	31237	7280	—	6359	23156	16833	18199	10681	26761	13255	Sancaktepe
17342	15526	8562	35853	—	7272	10485	17348	15572	13161	15225	26270	10596	Sultanbeyli
45690	41708	43761	—	35628	31005	35826	49196	45041	44309	24695	40262	39240	Şile
25222	23408	—	43932	8507	14167	10108	19909	18132	20969	23310	34148	18404	Tuzla
5333	—	23470	41941	15529	15671	20494	12872	15224	7915	21319	15217	7659	Ümraniye
—	5200	25152	45791	17219	19591	28263	12037	14389	7220	25239	19069	9341	Üsküdar

Çizelge 4.4'teki uzaklık matrisi önerilen yaklaşım ile problemin çözümünde kullanılmamıştır. Bunun yerine; yuvarlanma katsayısı ve eğimleri dikkate alarak hesaplanan Çizelge 4.5'te yer alan revize edilmiş uzaklık matrisi kullanılmıştır.

Bir lojistik firmasında çalışan yetkiliden edinilen bilgiler doğrultusunda test problemlerinin oluşturulmasında 13000 kg daraya ve 29000 kg kapasiteye sahip özdeş araçlar kullanılmıştır. 1 ile 6 arasında farklı araç sayılarının her biri için 3'er test problemi rassal olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan test problemleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Test problemleri

1A/1Ö	D	1537	2436	2571	2644	2992	2567	2385	1669	2560	1565	2575	2124
	P	1807	2543	2761	2629	1598	2320	2040	1520	1611	2381	1801	2776
1A/2Ö	D	2649	1598	2545	1766	2952	1910	1723	1730	2556	2940	2122	2273
	P	1973	2763	2554	2175	1759	2057	1635	2885	1885	1746	2648	2922
1A/3Ö	D	2395	2447	2445	1935	2292	1841	1764	2236	2292	2234	1858	1817
	P	2335	1508	2445	2217	2536	2354	1606	2122	2210	2454	2627	1962
2A/1Ö	D	3835	5597	3205	3914	4330	3613	5060	4351	3278	3142	5651	5950
	P	5827	3903	5839	3749	5404	4090	3127	4937	4229	4763	4699	5080
2A/2Ö	D	4104	5656	4663	3836	4366	5162	3826	3011	3504	5806	3113	3056
	P	4887	4017	4337	5192	5546	5684	3433	3697	5647	3143	3233	4977
2A/3Ö	D	5612	3502	5347	4991	3214	3639	3516	3509	5005	3979	5957	3728
	P	4988	4934	5584	3075	4687	3706	3132	4980	4802	3438	5795	5586
3A/1Ö	D	6195	5490	5471	6827	6130	6272	7751	7517	5673	5792	5172	7466
	P	7133	4985	4721	6550	7195	6458	4798	6417	7160	8729	4514	8751
3A/2Ö	D	4574	7367	7540	6205	6940	8107	4726	6846	8888	7185	5497	8434
	P	4736	5322	6639	5762	5128	5715	6441	6469	5093	8285	4927	8999
3A/3Ö	D	7757	8397	7272	6361	8726	4671	5997	8315	4906	4710	4532	8601
	P	7524	7410	8056	4599	7635	7472	6286	7511	8540	5860	7943	6566
4A/1Ö	D	10988	10251	10576	7607	10363	8824	8974	7802	8166	7816	8806	8821
	P	9201	8607	9222	7783	7874	8916	10960	10718	8017	10153	8432	9010
4A/2Ö	D	7893	9855	8509	10512	9073	10521	9964	7979	8509	8331	9721	9163
	P	7695	8627	9261	9479	8259	7933	7553	9749	10813	10960	8693	10848
4A/3Ö	D	9536	9150	7577	9995	10195	7943	9029	8067	10139	9326	8432	8477
	P	10542	10271	10123	9858	7996	8118	9978	10761	10670	8391	8980	8493
5A/1Ö	D	9256	10197	7549	7951	10371	8937	8108	7651	8258	8271	8073	9577
	P	7977	7613	8076	9771	7955	7916	8022	8178	9529	9080	9583	7776
5A/2Ö	D	8253	8477	7731	8269	7568	10808	8100	9384	8039	9221	7500	9610
	P	9907	10326	9845	7912	9591	9041	9335	9757	9547	10603	7969	10908
5A/3Ö	D	7623	10714	9123	8952	9731	9938	8523	10709	8544	8890	10019	9216
	P	9429	9475	8744	10479	10873	9486	10744	9665	8196	9317	10550	9918
6A/1Ö	D	14455	10096	14802	10564	11858	13049	16582	10974	13000	14035	12521	14296
	P	10196	11867	15421	11091	10072	16604	14844	11939	10430	13623	15635	11681
6A/2Ö	D	13152	11484	11816	13019	14604	13191	11928	12735	12090	15671	14205	13205
	P	10542	11275	10868	12142	10307	11445	13186	16720	14420	13841	14671	14436
6A/3Ö	D	16373	14928	13518	12978	11041	15792	10111	11945	15498	10516	11474	15294
	P	11156	13492	11688	12988	12686	15240	11038	13860	15845	15214	10761	13457

Çizelge 4.6’da her satır ikilisi 1 örneği göstermektedir. *D* ile belirtilen satırlar depodan müşterilere bırakılacak yükün ağırlığını ve *P* ile gösterilen satırlar ise müşteriden alınarak depoya götürülecek yükün ağırlığını kg cinsinden göstermektedir. *P* ve *D* değerleri aralıklarının belirlenmesi, kapasite müşteri sayısına bölümdükten sonra bulunan değerlere bağlı olarak alt ve üst sınırlar belirlenmiştir. Bu sınırlar temel alınarak değerler rassal olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.6’da, 2 araçlı 1. örneğin olduğu en soldaki sütunda **2A/1Ö** şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.6’daki İstanbul Anadolu yakası için oluşturulan test problemlerinin kesin sonuçları CPLEX çözücü ile altı saatlik sürede alınamamıştır. Bu nedenle, önerilen modelin doğruluğunu ve önerilen SA’nın performansını görebilmek için daha küçük boyutlu test problemlerine ihtiyaç doğmuştur. Küçük test problemleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Küçük test problemleri-2

7D/1A	D	3984	3463	3811	4721	4311	4390			
	P	3099	3977	3932	4350	4336	3003			
7D/2A	D	8050	9041	8269	9016	9876	8576			
	P	8941	8177	9360	8675	8081	8962			
7D/3A	D	12290	11820	15325	13077	10342	14180			
	P	13327	12094	10808	11792	11288	10043			
8D/1A	D	3758	3217	3427	3450	3671	2704	3482		
	P	3323	3572	3494	2860	2506	3234	3106		
8D/2A	D	6089	7358	6367	6864	7409	6915	6997		
	P	6272	6662	7024	6078	6039	7098	7438		
8D/3A	D	9064	9842	9373	7292	9396	7894	7478		
	P	8167	7800	7108	7983	7511	9045	7523		
9D/1A	D	3900	3046	3112	3633	3924	3284	3883	3173	
	P	3917	3021	3821	3876	3081	3697	3575	3821	
9D/2A	D	6297	6106	6145	6546	7895	6551	6074	6533	
	P	6127	7698	6862	6007	6518	7014	7757	7541	
9D/3A	D	8220	7341	9130	9302	8433	8794	7971	8368	
	P	8602	7613	8799	9152	8652	8701	7942	9532	
10D/1A	D	2933	3156	2610	2803	3061	2809	2939	3114	2672
	P	3313	2691	2618	3395	2694	3184	3294	3186	2570
10D/2A	D	5288	5316	5744	6011	5330	6139	5598	6189	5842
	P	5498	5631	5127	5939	5687	5305	5562	5771	5198
10D/3A	D	7889	8832	7721	9657	7576	9474	8749	7852	9006
	P	8483	10068	8050	10418	8078	8693	7547	9734	9282

SA algoritmasının etkinliğini ve modelin doğruluğunu görebilmek için üretilen küçük test problemleri, 7 ile 10 düğümün olduğu serimlerin her biri için 1 ile 3 arasında araçlar olacak şekilde üretilmiştir. 12 test probleminde, serimlerde kullanılan düğümler alfabetik sıraya göre belirlenmiştir. Ataşehir düğümü önceki test problemlerinde olduğu gibi depoyu temsil etmektedir. Müşteri toplama ve dağıtım miktarları rassal olarak belirlenmiştir. Homojen araçların olduğu test problemlerinde araç darası 13000kg ve kapasiteleri 29000kg'dır. Çizelge 4.7'de, 10 düğümden oluşan serimde 1 araçla dağıtım yapılan test problemi **10D/1A** şeklinde gösterilmiştir.

Küçük test problemleri ile önerilen matematiksel modelin doğruluğu kontrol edilirken, bir yandan da önerilen meta-sezgiselin performansını incelemek amaçlanmıştır. Gams 21.2 CPLEX çözücü ile elde edilen en iyi sonuçlar ve SA ile edilen sonuçlar çalışmanın izleyen bölümlerinde karşılaştırılarak amaç fonksiyonundaki küçük sapmalar gösterilmiştir.

4.8. Tavlama Benzetimi

SA, Metropolis vd. (1953)'de metallerin tavlama süreci ile ilgili bulgularının, zor kombinatoriyel problemlerin çözümünde kullanılabileceği düşüncesiyle ilk olarak Kirkpatrick vd. (1983)'de tanımlanan stokastik bir arama algoritmasıdır. Literatürde, çok sayıda değişik problem tipinin çözümünde kullanılmıştır. SA ve uygulama alanları ile ilgili detaylı bilgi Van Laarhoven ve Aarts (2010) ve Schneider ve Kirkpatrick (2006)'da bulunabilir (Alaykırın, 2011).

Eğimlerin dikkate alınarak sera gazı salınımının en küçüklenmeye çalışıldığı VRPSPD için ortaya konulan karma tamsayı matematiksel modelin GAMS 21.2 yardımıyla birinci grup test problemlerini çözmede yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada ortaya konulan amaç fonksiyonu kullanılarak, uygulamada veya teoride, daha büyük boyutlu problemlerde de kabul edilebilir sürelerde sonuç elde edilebilmesi amacıyla bir meta-sezgisel önerilmiştir.

Bu çalışmada öne sürülen problemin, SA algoritması kullanılarak çözülmesi süreci adım adım incelenmiştir. Öncelikle SA yöntemi ve bu yöntemin en küçükleme

problemlerinin çözümünde kullanılma şekli tanımlanmıştır. Sonrasında, bu tez çalışmasında öne sürülen örnek problemlerin çözümünde kullanılacak olan çözüm gösterimi yapısı tespit edilmiştir. Komşu çözümler içinde yeni çözümler aranırken başvurulan hareket mekanizması belirlenmiş ve problemlerin başlangıç çözümlerinin belirlenmesi için sistematik bir yöntem geliştirilmiştir. Visual Basic ile oluşturulan SA'nın ara yüzünün ilk sayfası Şekil 4.9'da verilmiştir.

The image shows a screenshot of a Visual Basic form titled 'Form1'. The form has a tabbed interface with four tabs: 'Sayfa 1', 'Sayfa 2', 'Sayfa 3', and 'Sayfa 4'. The 'Sayfa 1' tab is currently selected. Inside the form, there are four input fields with labels to their left: 'Araç Sayısı' (value: 6), 'Düğüm Sayısı' (value: 13), 'Araç Kapasitesi' (value: 29000), and 'Araç Darası' (value: 13000). Below these fields is a single button labeled 'Tamam'.

Şekil 4.9. Serim ve araçla ilgili verilerin girildiği sayfa

Şekil 4.9'da verilen programın görsel ara yüzünün birinci sayfasında araç sayısı, düğüm sayısı, araç kapasitesi ve araç ağırlığı karar verici tarafından programa girilmektedir. Bu girilen veriler doğrultusunda, diğer sayfalar şekillenmektedir. Düğüm sayısının 13 girildiği bir problem için 12 müşterinin toplama ve dağıtım taleplerinin girileceği 2. Arayüz sayfası oluşmaktadır. Üçüncü ara yüz sayfasında, girilen düğüm sayısına bağlı olarak kullanıcının uzaklık matrisini girebileceği bir matris oluşmaktadır. Son sayfada, gösterim uzunluğu da girilen müşteri ve araç sayısına bağlı olarak ilgili yerde oluşmaktadır. Kullanıcının ilk üç sayfayı oluşturduktan sonra SA ile ilgili parametreleri de dördüncü sayfaya girmesi ile program çalıştırılmaya hazır hale gelir. Programın ikinci ve üçüncü ara yüz sayfaları sırası ile Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir.

	Müşteri No	Müşteri Talebi	Toplama Miktarı
1. Müşteri	14455		10196
2. Müşteri	10096		11867
3. Müşteri	14802		15421
4. Müşteri	10564		11091
5. Müşteri	11858		10072
6. Müşteri	13049		16604
7. Müşteri	16582		14844
8. Müşteri	10974		11939
9. Müşteri	13000		10430
10. Müşteri	14035		13623
11. Müşteri	12521		15635
12. Müşteri	14296		11681
*			

Şekil 4.10. Müşteri toplama ve dağıtım miktarlarının girildiği sayfa

Şekil 4.10'daki sayfa, taleplerin ve toplama miktarlarının ara yüze girildiği sayfadır. Örneğin; bir önceki sayfaya 13 düğümün olduğu bir problem girildiği takdirde, 12 müşterinin olduğu bir problem için talep ve toplama miktarlarının girileceği bir matris oluşmaktadır. Birinci sütunda müşteri sıraları kendiliğinden oluşturulurken, kullanıcı ikinci ve üçüncü sütunlara sırasıyla müşteri taleplerini ve toplama miktarlarını girmektedir.

	Column4	0. MÜŞTERİ	1. MÜŞTERİ	2. MÜŞTERİ	3. MÜŞTERİ	4. MÜŞTERİ	5. MÜŞTERİ	6. MÜŞTERİ
0. Müşteri	0	18393	18658	3627	9016	6793	21864	
1. Müşteri	18358	0	15995	18497	25460	23263	31380	
2. Müşteri	18838	15733	0	24808	25123	26283	15369	
3. Müşteri	3719	18674	24720	0	9482	7285	22887	
4. Müşteri	9171	25703	25101	9548	0	4100	23202	
5. Müşteri	6863	23422	26178	7267	4016	0	24978	
6. Müşteri	21931	31533	15257	22863	23111	24972	0	
7. Müşteri	13189	26780	10435	18041	16609	23017	6225	
8. Müşteri	10536	26295	14989	13009	15354	17215	10359	
9. Müşteri	39515	40510	24682	44384	45050	49289	35926	
10. Müşteri	18400	34230	23127	20873	17970	19831	10036	
11. Müşteri	7593	15237	21073	7757	15000	12732	20360	
12. Müşteri	9407	19218	25125	7190	14293	12025	28260	
*								

Şekil 4.11. Uzaklık matrisinin girildiği sayfa

Düğüm sayısının belirlenmesi ile oluşan sayfada, revize edilmiş uzaklık matrisinin girileceği bir ara yüz yer alır. Burada önemli olan bir husus, bir önceki sayfada girilen müşteri sayıları dikkat edilerek oluşturulması gereken uzaklık matrisinde 0. Müşteri olarak tabir edilen düğüm depoyu temsil etmektedir.

Son olarak Şekil 4.12’de yer alan ve en iyi sonucunda verildiği ara yüz sayfası mevcuttur. Bu ara yüz sayfasına kullanıcı tarafından başlangıç sıcaklığı, sıcaklık düşürme oranı ve iterasyon sayısı girilmektedir. Çözümün verildiği ayrıca bir sayfanın oluşturulmadığı programda, problemi çöz butonuna basılması ile bulunabilen en iyi rota ve amaç fonksiyonu değeri kullanıcıya sunulmuştur. Bu çalışmada, daha önceden deney tasarımı ile belirlenen parametreler girilmektedir. Böylelikle daha kısa sürede daha iyi sonuçları elde etmek mümkündür.

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with four tabs: 'Sayfa 1', 'Sayfa 2', 'Sayfa 3', and 'Sayfa 4'. The 'Sayfa 4' tab is active. On the left side, there are three input fields: 'Başlangıç Sıcaklığı' (500), 'Sıcaklık Düşürme Oranı' (0.01), and 'İterasyon Sayısı' (10000). Below these is a 'Problemi Çöz' button. At the bottom left, there is an 'En İyi Sonuç' label with a text box containing '7265,889503396'. On the right side, there is a list titled 'Bulunan En İyi Rota' with a scroll bar. The list contains the following values: 0, 5, 3, 0, 1, 2, 0, 7, 8, 0, 12, 11, 0, 10, 4, 0, 9, 6, 0.

Şekil 4.12. SA parametre girişi ve sonuç sayfası

Bu sayfada başlangıç sıcaklığı (T), sıcaklık düşürme oranı (t), iterasyon sayısı (M) belirlendikten sonra problemi çöz butonuna tıklanır. Programın çalışması ile bulunan en iyi sonuç butonunun altında verilir. Ayrıca rota da, bulunan en iyi rota başlığı altında yukarıdan aşağıya doğru ara yüze yansıtılır. Oluşturulan program için Visual Basic 13’te yazılan kodlar Ek Açıklamalar-A’da verilmiştir.

Tavlama benzetiminin kabul koşulu ve durdurma kriterleri genellikle kodlama aşamasında belirlenmektedir. Kullanılan programın mekanizmasının gösterilmesi için sözde kod gösterimi verilmiştir. Genel olarak SA'nın çalışma esası şu şekildedir;

$$\text{Bir başlangıç çözümünü seç } S_0 \in S \text{ ve amaç fonksiyonu } f(S_0) \text{ hesapla;} \quad (4.23)$$

$$\text{Bir sıcaklığı belirle: } T > 0; \quad (4.24)$$

$$\text{Sıcaklık değişim sayacını sıfırla: } t \leftarrow 0; \quad (4.25)$$

$$S \leftarrow S_0; f(S) \leftarrow f(S_0); \quad (4.26)$$

$$S_{iyi} \leftarrow S_0; f(S_{iyi}) \leftarrow f(S_0); \quad (4.27)$$

$$\text{Devam Et;} \quad (4.28)$$

$$n \leftarrow 0; \quad (4.29)$$

$$\text{Devam Et;} \quad (4.30)$$

$$S' \text{nin bir komşusu olan } S' \text{ çözümünü rassal olarak } S' \in N(S) \text{ rassal olarak üret;} \quad (4.31)$$

$$\Delta \leftarrow f(S') - f(S); \quad (4.32)$$

$$\Delta \leq 0 \text{ ise } S \leftarrow S'; \quad (4.33)$$

$$\text{Değilse } (0,1) \text{ aralığında düzgün dağılımdan bir rassal sayı üret (u) ve;} \quad (4.34)$$

$$u < \exp\left(-\frac{\Delta}{T}\right) \text{ ise } S \leftarrow S'; \quad (4.35)$$

$$f(S') < f(S_{iyi}) \text{ ise } S \leftarrow S' \text{ ve } S_{iyi} \leftarrow S'; \quad (4.36)$$

$$n \leftarrow n + 1; \quad (4.37)$$

$$\text{Koşul sağlanana kadar } n > M; \quad (4.38)$$

$$t \leftarrow t + 1; \quad (4.39)$$

$$T = T(t); \quad (4.40)$$

$$\text{Durdurma Koşulu Sağlanana Kadar;} \quad (4.41)$$

$$\text{Problem için bulunan uygun çözüm } \leftarrow S_{iyi} \quad (4.42)$$

Bir SA çözümü, öncelikle SA'nın temel parametreleri olan başlangıç sıcaklığı (T), soğutma planı (t), iterasyon sayısı (M), kabul koşulu ve durdurma koşulu belirlenerek başlar. Bunun yanı sıra, ilgili problemin karar değişkenlerinin nasıl kodlanacağı, komşu çözümler içinde nasıl bir hareket mekanizması kullanılarak yeni çözümlere ulaşılabileceği ve başlangıç çözümünün nasıl belirleneceği de algoritmanın oluşturulması aşamasında uygulayıcının aldığı kararlardandır.

Bu çalışmada ele alınan problem ve bu problemin çözülmesi amacıyla geliştirilmiş olan matematiksel modelin karar değişkenleri incelendiğinde, permütasyon gösterimi problemin yapısına daha uygun olduğu düşünülmüştür. Permütasyon gösterimi, gezgin satıcı problemi veya görev sıralama gibi sıralama problemlerinde kullanılabilir. Permütasyon gösterimi, her kromozom sırada konum belirten numara karakter dizisinden oluşur. Çözüm gösteriminde depo sıfır ile belirtilmiştir. Ayrıca çözüm gösteriminin uzunluğu serimdeki düğüm sayısı ($n+1$) ile araç sayısının (m) toplanması ($n+m+1$) ile belirlenir. Araçların depodan servise başlayıp depoda servisini bitirdiği kapalı uçlu problem için, çözüm gösteriminin başında ve sonunda sıfır rakamı bulunur. Diğer rakamların müşterileri temsil ettiği çözüm gösterimi için her iki sıfırın arasında kalan rakamlar bir aracın hizmet verdiği müşterileri sırasıyla soldan sağa doğru temsil eder. Beş adet müşterinin ve iki adet aracın olduğu örnek bir çözüm gösterimi Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Bir çözüm gösterimi

0	1	5	3	0	4	2	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Çizelge 4.8'de verilen çözüm gösterimi depodan başlayan homojen araçlardan birincisinin sırasıyla 1, 5 ve 3 numaralı müşterilere hizmet verdikten sonra depoya dönerek hizmetini tamamladığını ve diğer aracın da sırasıyla 4 ve 2 numaralı müşterilere hizmet verdikten sonra depoya döndüğünü ifade etmektedir.

Bir meta-sezgisel yaklaşımda, başlangıç çözümünün iyi seçilmesi, çözüm uzayında daha iyi sonuçlara daha kısa zamanlarda ulaşabilmesi açısından önemlidir. Literatürde, bazı problemlere başlangıç çözümünün bulunması için ayrıca bir sezgisel yönteme başvurulsa bile, bazı çalışmalarda da rastgele başlangıç çözümleri üretilerek SA çözülmüştür.

Bu çalışmada öne sürülen problemin yapısı incelendiğinde, herhangi bir çözümden yeni bir çözüm üretildiğinde, mümkün olmayan bir sonuçla karşılaşma şansının çok fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle, rastgele bir başlangıç çözümü ile başlayan bir SA'nın uzun süre mümkün olmayan çözümler uzayından çıkamayacağı düşünülmektedir.

Başlangıç çözümü oluşturulurken çözüm gösteriminin ilk rakamı 0'dır. 1 ile müşteri sayısı (n) arasında bir sayı rastgele belirlendikten sonra gösterimin ikinci sırasına bu müşteri yazılmıştır. Daha sonra 1 ile n arasında daha önce belirlenenden farklı bir sayı yine rastgele olarak belirlenmiştir. Araç için rota boyunca yük kontrolü yapıldıktan sonra şayet kapasite rota boyunca aşılmıyorsa müşteri bir sonraki sıraya yazılmıştır. Üretilen sayı rotanın sonuna eklendiğinde rotanın herhangi bir noktasında kapasite aşıyor ise bu müşteri ilgili sıraya yazılmayarak, üretilen sayının yerine 0 yazılmıştır. İlgili sıraya sıfır yazılması da, aracın depoya geri döndüğünü göstermektedir. Çözüm gösteriminin bir sonraki sırasında da benzer adımlar uygulanarak diğer müşteriler de rotalara atanmıştır.

Başlangıç çözümü oluşturulurken karşılaşılan sorunlardan biri, çözüm gösteriminin tamamının doldurulmamış olmasına rağmen bütün müşterilerin rotalara atanmış olmasıdır. Bunun önüne geçebilmek için bir sayaç yardımıyla müşterilerin tamamının atanması durumu kontrol edilmiştir. Bütün müşteriler rotalara atandıysa gösterimdeki diğer sıralar sıfır olarak belirlenmiştir. Bu durum için dört müşterili ve dört araçlı bir başlangıç çözümü belirleme örneği Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Başlangıç çözüm örneği

0	4	2	0	3	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Örnekte görüleceği gibi iki araçtan biri 4 ve 2 numaralı müşterilere ve diğeri de 3 ve 1 numaralı müşterilere hizmet vermektedir. Fakat gösterimin 7., 8. ve 9. sıralarına henüz müşteri atanmamış olmasına rağmen bütün müşteriler atanmıştır. Bu durumda devam eden bütün sıralara 0 yazılır. Yan yana gelmiş olan iki 0, bir aracın depodan çıkmadığını gösterir. Bu örnekte oluşturulan başlangıç çözümü için iki araç depodan çıkmamaktadır.

Başlangıç çözümü oluşturulurken karşılaşılan sorunlardan biri de gösterimdeki sıralar bitmesine rağmen bazı müşterilerin sıralara atanamamış olmasıdır. Böyle bir durumda da başlangıç çözümü sıfırlanarak, yeniden başlangıç çözümü oluşturulmaya başlanır. 1000 deneme sonucunda başlangıç çözümü bulunamazsa “başlangıç çözümü bulunamadı” sonucu ekrana yansıtılmıştır.

Müşteri talep veya toplama miktarlarından biri araç kapasitesinden fazlaysa veya müşteri taleplerinin toplamı veya toplama miktarlarının toplamı toplam kapasiteden büyükse “uygun rota yoktur” sonucu ekrana yansıtılmıştır.

SA'nın mevcut bir çözümden yeni bir çözüm üretmesi için izleyeceği yola hareket mekanizması denir. Literatürde, SA kullanılarak çözülen problemler incelendiğinde, en sık kullanılan hareket mekanizmalarının değiştirme (swap) veya ekleme (insert) olduğu görülmektedir. Uygulanan SA'da hareket mekanizması olarak değiştirme kullanılmıştır. Araçların depodan çıkması ve depoya geri dönmesi gerektiği için çözüm gösteriminin ilk ve son sırasında 0 rakamı yer almalıdır. Buna göre $m+n+1$ çözüm gösteriminin uzunluğuna sahip bir problem için; rastgele birbirinden farklı 2 ile $m+n$ arasında iki farklı sayı üretilir. Üretilen sayılara gösterimde denk gelen sıralardaki rakamların yerleri değiştirilmiştir.

Mevcut çözümlerden komşu çözümlerin elde edilişi bir örnek üzerinde gösterilmek istenmiştir. 2 araç ve 13 düğüm içeren bir serim için mevcut çözüm Çizelge 4.10'da verilmiş olsun.

Çizelge 4.10. Mevcut çözüm gösterimi

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

2 ile 15 ($m+n$) arasında rassal olarak üretilen birbirinden farklı iki sayı 4 ve 10 olsun. Çözüm gösteriminde bu sıralara denk gelen sırasıyla 6 ve 11'in yerleri değiştirilir. Komşu çözüm Çizelge 4.11'deki gibi olmaktadır.

Çizelge 4.11. Komşu çözüm gösterimi

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

Öncelikle komşu çözümde iki araçtan en az birinde yeni oluşan rotalarda kapasite aşımı varsa, komşu çözüm olarak atanmadan mevcut çözüm üzerinden yeniden komşu çözüm aranmıştır. Çizelge 4.11’de kapasite aşımının olmadığı varsayılmıştır. Bu durumda komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri ile en iyi amaç fonksiyonu değeri karşılaştırılmıştır. Eğer komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri en iyi çözümden daha küçük ise, gösterim en iyi rota ve mevcut çözüm olarak atanmıştır. Ayrıca, amaç fonksiyonu değeri en iyi sonuç olarak saklanmıştır.

Elde edilen komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri en iyi çözümden daha küçük değilse, mevcut çözüm ile karşılaştırılmıştır. Komşu çözüm değeri, mevcut çözüm değerinden küçükse komşu çözüm mevcut çözüm olarak atanmıştır. Tersi bir durum söz konusu olursa ve mevcut çözüm daha iyiyse, komşu çözüme bir şans tanınmıştır. Eşitlik (4.35) sağlanmışsa komşu çözüm mevcut çözüm olarak atanmıştır. Eğer ilgili eşitlik sağlanmamışsa mevcut çözüm değiştirilmeden aynı işlemler tekrar uygulanır.

Ele alınan problemi diğer araç rotalama problemlerinden daha zor kılan hususlardan biri, diğer problemlerde sadece araç hizmete başlamadan önce kapasite kontrolü yapılırken, VRPSPD’de her müşteriye hizmet verdikten sonra kapasite kontrolü yapılmalıdır. Çözüm gösterimi yapılırken kapasitenin aşıldığı uygun olmayan çözümlere ceza fonksiyonu uygulanabileceği gibi, bu tezde olduğu gibi uygun olmayan çözümler hiç değerlendirilmeden mevcut çözüm üzerinden yeniden uygun çözüm aranabilir.

SA’yı, tepe tırmanma ve rassal arama gibi temel sezgisellerden ayıran en önemli özelliği, belli bir kabul koşuluyla mevcut kötü çözümlerin kabul edilmesidir. Bu özellik, SA’yı yerel en iyi çözümlerden kurtararak arama uzayında farklı çözüm bölgelerinin de aranmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada ele alınan problemin SA ile çözümü sırasında, literatürde sık kullanılan ve Eşitlik (4.35)’te matematiksel olarak gösterilen kabul koşulu kullanılmıştır.

Bu tezde ele alınan problemin yapısına en uygun SA temel parametrelerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle farklı boyuttaki daha ufak problemler üzerinde denenen algoritmanın parametreleri için üçer farklı değer belirlenmiştir. Belirlenen parametrelerin varyasyonlarıyla elde edilen 27 (3^3) farklı parametre seti için **1A/1Ö** test problemi üçer defa çözdürülmüştür. Parametreler; sıcaklık düşürme oranı (t), başlangıç sıcaklığı (T) ve iterasyon sayısından (M) oluşmaktadır. Her bir parametre için belirlenen değerler Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Tavlama benzetimi parametreleri

	T	t	M
1. Seviye	100	0,01	1000
2. Seviye	250	0,05	5000
3. Seviye	500	0,1	10000

Çizelge 4.12’de yer alan parametrelerin varyasyonlarıyla elde edilen 27 (3^3) farklı parametre seti için üçer kez olacak şekilde **1A/1Ö** test probleminin çözdürülmesiyle elde edilen sonuçlar %5 anlamlılık düzeyinde, parametrelerin amaç fonksiyonu üzerinde etkili olup olmadığı SPSS 15.0’da varyans analizi ile incelenmiştir. Varyans analizi sonucuna göre belirlenen değerler için parametrelerin her üçünün de amaç fonksiyonu üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Hangi parametrelerin seçileceği yine SPSS 15.0’te Duncan testi uygulanarak belirlenmiştir. Yapılan bu istatistiki testlerin sonuçları Ek Açıklamalar-B’de verilmiştir. Yapılan testler sonucunda ele alınan problem için en iyi parametre değerleri $T=500$, $t=0,01$ ve $M=10000$ olarak belirlenmiştir.

4.9. Test Problemlerinin Sonuçları

Eğimlerin dikkate alınarak CFP’nin enküçüklenmeye çalışıldığı VRPSPD’nin incelendiği bu tez çalışmasında, öne sürülen matematiksel modelin çözüm süreleri üzerinde yapılan boyut analizi ve deneysel çalışma sonucu, üretilen problemlerin önemli bir kısmının kabul edilebilir zaman sınırları içinde çözülemediği görülmüştür. Bu nedenle, önerilen modelin kontrolü ve daha büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılacak olan SA’nın performansının görülebilmesi için ikinci grup test problemlerine ihtiyaç doğmuştur. SA yaklaşımı kullanılarak, daha kısa sürelerde problemlere uygun sonuçlar

bulmak amacıyla, öncelikle en uygun SA parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak test problemleri-2'nin SA sonuçlarının ve matematiksel modelin Gams 21.2'nin CPLEX çözücüsünden elde edilen en iyi sonuçlarının karşılaştırması Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. SA ve en iyi çözüm karşılaştırmalı sonuçları

	Eniyi çözüm değeri	SA sonucu	% sapma
7D/1A	2289,21	2314,88	1,12
7D/2A	2654,47	2654,47	0
7D/3A	3067,36	3067,36	0
8D/1A	2203,9	2219,29	0,7
8D/2A	2564,18	2564,53	0,01
8D/3A	2636,53	2636,53	0
9D/1A	2691,77	2691,77	0
9D/2A	3119,28	3139,54	0,65
9D/3A	2894,84	2894,84	0
10D/1A	3873,92	3881,7	0,20
10D/2A	4349,65	4359,8	0,23
10D/3A	4562,18	4562,18	0
Ortalama sapma (%)'si			0,24

Çizelge 4.12'de SA ile bir çalıştırma sonucunda elde edilen sonuçların en iyi sonuçlardan farklılıkları gösterilmiştir. Test problemlerinin altısında en iyi sonuç elde edilirken, SA ile elde edilen sonuçların en iyi sonuçlardan % 0,24 sapma gösterdiği görülmüştür. Gams 21.2 elde edilen en iyi sonuçlar ve SA ile elde edilen sonuçlar Ek Açıklamalar-C'de verilmiştir.

Klasik VRPSPD ile çalışmada önerilen eğimlerin dikkate alınarak CFP'nin enküçüklenmeye çalışıldığı VRPSPD modelinin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, Visual Basic 13'te oluşturulan programda amaç fonksiyonu kısmı değiştirilerek mesafe çözümünü veren SA sonuçları da elde edilmiştir. Dethloff'un (2001) önerdiği Klasik VRPSPD modelinin çözümleri elde edilirken Çizelge 4.4'teki uzaklık matrisi

kullanılmıştır. SA kullanılarak elde edilen çözümler ve Klasik VRPSPD çözümlerinin farklılıkları Çizelge 4.14’te verilmiştir. Bulunan sonuçlar Ek Açıklamalar-D’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Amaç fonksiyonlarının karşılaştırmalı sonuçları

	Klasik VRPSPD		Eğimlerin Dikkate Alındığı VRPSPD		CFP Azalma (%)	Mesafe Artışı (%)
	CFP (kg)	Mesafe (m)	CFP (kg)	Mesafe (m)		
1A/1Ö	4315,19	220740	4315,19	220740	0,00	0,00
1A/2Ö	4325,54	220740	4325,54	220740	0,00	0,00
1A/3Ö	4330,91	220740	4307,57	220740	0,54	0,00
2A/1Ö	5108,56	256580	5005,72	263680	2,01	2,77
2A/2Ö	4970,19	249440	4776,48	249440	3,90	0,00
2A/3Ö	5083,33	255180	4954,28	256580	2,54	0,55
3A/1Ö	5058,77	268250	5048,56	268310	0,20	0,02
3A/2Ö	5248,04	270280	5230,07	270340	0,34	0,02
3A/3Ö	6533,69	310360	6187,12	312760	5,30	0,77
4A/1Ö	6492,38	323240	6386,31	325780	1,63	0,79
4A/2Ö	6255,49	295340	5886,52	295340	5,90	0,00
4A/3Ö	7201,38	347910	7057,92	347910	1,99	0,00
5A/1Ö	6196,5	295340	5279,65	328240	14,80	11,14
5A/2Ö	6598,18	322890	5603,93	329240	15,07	1,97
5A/3Ö	7030,82	319840	5994,3	319840	14,74	0,00
6A/1Ö	7365,11	380840	7265,89	380940	1,35	0,03
6A/2Ö	7601,56	361110	6990,48	361110	8,04	0,00
6A/3Ö	8049,83	408010	7951,06	408010	1,23	0,00
Ortalama Değişim %'si					4,42	1,00

Çizelge 4.14’te klasik VRPSPD model sonuçları ile çalışmada önerilen eğimlerin dikkate alındığı VRPSPD model sonuçları toplam mesafe ve karbon salınım miktarları açısından karşılaştırılmıştır. Klasik VRPSPD modelinde Dethloff’un önerdiği mesafe çözümü için SA ile elde edilen en iyi sonuçların sırasıyla mesafeleri ve sera gazı salınım miktarı ilgili sütunlarda verilmiştir. Önerilen yaklaşımın SA kullanılarak elde edilen en iyi sonuçlar için sırasıyla sera gazı salınım miktarı ve mesafeler ilgili sütunlarda verilmiştir. Sonuçta, Dethloff’un modeli ile önerilen model mesafe ve CFP miktarı açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen yaklaşım ile CFP miktarında %4 iyileştirme sağlanırken, mesafe miktarında %1 artış olmuştur. Mesafe miktarında küçük bir değişime karşın CFP miktarında önemli kazanımlar elde etmenin mümkün olduğu açıktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Faydalı ömürlerini tamamlamış ürünlerin müşterilerden geri alınıp, uygun geri kazanım seçenekleri kullanılarak bu ürünlerdeki değer kazanılması süreci olarak ifade edilebilecek tersine lojistik açısından önemli bir yere sahip VRPSPD, maliyet avantajları nedeniyle işletmelerin ve araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Etkin bir tersine lojistik sisteminde ulaştırma maliyetlerinin enküçüklenmeye çalışılırken ürünlerin müşterilerden nasıl geri toplanacağı çok kritik bir rol oynar. Çalışmada yeşil lojistik kapsamında ilgili problem ele alınmıştır.

Günümüzde karbon ayak izi kavramı önem kazanmış ve farklı alanlarda uygulamaları ön plana çıkmıştır. Çalışmada tersine lojistik açısından önemli bir yere sahip VRPSPD probleminin karbon emisyonu açısından da ele alınması amaçlanmıştır. Daha önceki çalışmalarda ele alınmayan yol eğimleri göz önüne alınarak ilgili problem modellenmiştir. Yakıt tüketimini temsil etmesi açısından mesafe ve yükün yanında çalışmada yakıtı doğrudan etkileyen yolların eğimi, sürtünme katsayıları, yerçekimi ivmesi gibi birçok faktörü dikkate alarak yakıtın ve yakıtı paralel olarak çevreye salınan zararlı gazların miktarının hesaplandığı bir amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Eğimler Google Earth kullanılarak, serimdeki bütün yollar belirli varsayımlar çerçevesinde parçalara ayrılarak tek tek hesaplanmıştır. Bütün yollar için yuvarlanma sürtünme katsayısı, eğimler ve parça uzunlukları kullanılarak eğime göre revize edilmiş parça uzunlukları hesaplanmıştır. Her bir yol için bütün eğime göre revize edilmiş parça uzunlukları toplanarak oluşturulan revize edilmiş uzaklık matrisi problemin çözümünde kullanılmıştır.

Çalışmada, eğimlerin dikkate alınarak sera gazı salınımının enküçüklenmeye çalışıldığı VRPSPD tanımlanmış ve çözümü için bir matematiksel model önerilmiştir. Matematiksel modelde problemin boyutu arttıkça çözüm süresinin de üstel olarak artmasından dolayı en iyi sonucu garanti etmeyen fakat daha kısa sürede sonuç elde edilebilen bir meta sezgisel algoritma önerilmiştir. Matematiksel modelin doğruluğunu ve SA'nın performansını görülebilmesi için daha küçük boyutlu ikinci test problemlerine ihtiyaç doğmuştur. Modelin test edilebilmesi için önerilen yaklaşımın yapısı gereği test problemleri türetilmiştir. SA'nın performansının küçük problemler üzerinde gösterilmiştir.

Model; homojen filolu, eşzamanlı dağıtım ve toplamanın söz konusu olduğu aynı serim ve aynı araç ile oluşturulmuş 18 ayrı test probleminde denenmiş ve kat edilen mesafede ortalama % 1 artış olurken sera gazı salınımı miktarında % 4 azalma görülmüştür. Özellikle malzeme taşınmasında kirliliğin az olması, harcanan enerjinin az olması anlamına geldiği için elde edilen sonuçlar çevre duyarlılığı ve enerji korunumu açısından önemlidir. Mesafe çözümlerinin önceki çalışmalarda kullanılma amacı, tüketilen enerji ile ilişkili olmasıdır. Fakat sonuçlarda görüldüğü gibi, tek başına mesafe tam anlamıyla tüketilen enerjiyi temsil etmemektedir. Eğimlerin dikkate alınarak karbon ayak izinin enküçüklendiği VRPSPD çözümlerinde, mesafelerde artış olmasına rağmen tüketilen enerji ile orantılı olan sera gazı salınımı miktarında azalma olmuştur. Çevre kirliliğindeki artış göz önüne alındığında karbon salınımını dikkate alan modelin kullanımı mesafedeki küçük artışa rağmen uygun görülmektedir.

Önerilen model, gerçek yol eğimlerinin kullanımını gerektiren diğer problem türleri açısından önemli bir yere sahiptir. Ayrıca karayolu yük taşımacılığı için önerilen eğimlerin kullanımı, elektrikli araçların rotalanması ve demiryolu taşımacılığı için de uyarlanabilir.

Revize edilmiş uzaklıkların hesaplanması için önerilen yaklaşımın en büyük eksikliği parabolik yolların tam anlamıyla modele yansıtılamamış olmasıdır. Bu eksikliği giderecek eklemeler ileriki çalışmalarda yapılabilir. Ayrıca VRPSPD probleminin yapısı gereği her müşteriden sonra kapasite aşılabileceği için uygun olmayan çözüm sayısı diğer araç rotalama problemlerine göre daha çok olabilmektedir. En iyi çözümü ararken, bir ceza fonksiyonu ile çözüm uzayında uygun olmayan çözümlerin de kullanıldığı bir meta-sezgisel kullanılabilir.

Revize edilmiş uzaklık matrisinin elde edilmesi çok zaman alan bir süreçtir. Dolayısıyla, coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla bu işlemi çok kısa sürede gerçekleştirmeyi mümkün kılacak bir bilgisayar yazılımı geliştirilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ai, T. J., Kachitvichyanukul, V., 2009, Particle Swarm optimization and two solution representations for solving the capacitated vehicle routing problem, *Computers & Industrial Engineering*, 56, 1, p.380-387.
- Alaykırın K., 2011, Çok Ürünlü Tersine Lojistik Ağ Tasarımı: Matematiksel Model Ve Tavlama Benzetimi Temelli Çözüm Yaklaşımı, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 116s.
- Altıparmak, F., Dengiz, B., Kara, İ., Karaoglan İ., 2008, Eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi için yeni matematiksel formülasyonlar, YA/EM 2008-Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVIII. Ulusal Kongresi Bildiri Özetleri Kitabı, s.130
- Arimura, T. H., Darnall, N., Katayama, H., 2011, Is ISO14001 a gateway to more advanced voluntary action? The case of green supply chain management, *Journal of Environmental Economics and Management*, No.61, p.170-182.
- Atav A., 2012, Ağır Malzeme Taşımacılığında Enerji Enküçüklemeli Araç Rotalama Problemi, Yüksek lisans tezi, KHO, Savunma Bilimleri Enstitüsü, 86s.
- Avcı, M., Topaloglu, S., 2015, An adaptive local search algorithm for vehicle routing problem with simultaneous and mixed pickups and deliveries, *Computers & Industrial Engineering*, 83, p.15-29
- Bauer, J., Bektas_, T., Crainic, T.G., 2010, Minimizing greenhouse gas emissions in intermodal freight transport: an application to rail service design, *Journal of the Operational Research Society*, 61(3), p.530-542.
- Bianchessi, N., Righini, G., 2007, Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery, *Computers & Operations Research*, p.34, 578–594.
- Bektaş, T., Laporte, G., 2011, The pollution-routing problem, *Transportation Research Part B* 45, p.1232-1250.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Brandao, Jose., 2004, A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, 157, p.552-564.
- Catay, B., 2010, A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, *Expert Systems with Applications*, 37(10), p.6809-6817.
- Chen, J. F., Wu, T. H., 2006, Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups, *Journal of the Operational Research Society*, 57, p.579–587.
- Crispim, J., Brandao, J., 2005, Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls, *Journal of the Operational Research Society*, 56, p.1296-1302.
- Coe, E., 2005, Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel, Technical Report.
- Crotty, J., 2006, Greening the supply chain? The impact of take-back regulation on UK automotive sector, *Journal of Environmental Policy and Planning*, Vol.8, No.3, p.219-234.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H., 1959, The truck dispatching problem, *Management Science*, 6(1), p.80-91.
- DEFRA., The Social Cost of Carbon and The Shadow Price of Carbon: What They Are, and How to Use Them in Economic Appraisal in the Uk, 2007.
- Dell'Amico, M., Righini, G., Salani, M., 2006, A branch-and-price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection, *Transportation Science*, 40, p.235-247.
- Demir, E., Bektaş, T., Laporte, G., 2014, A review of recent research on green road freight transportation, *European Journal of Operational Research*, 237, p.775-793.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Dethloff, J., 2001, vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up, OR Spektrum, 23, p.79-96.
- Dursun P., 2009, Zaman pencereli araç rotalama probleminin genetik algoritma ile modellenmesi , Yüksek lisans tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 95s.
- Emgin, Ö., Türk, Z. (2004), Yeşil Pazarlama (Green Marketing), <http://www.mevzuatdergisi.com.htm>.
- Erel R., 1995, Taşıt Rotalaması Ve Çizelgelemesi: Otobüsle Kentler Arası Yolcu Taşımacılığı İçin Bir Model, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 105s.
- 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, 161s.
- Fagerholt, K., Laporte, G., Norstad, I., 2010, Reducing fuel emissions by optimizing speed on shipping routes, Journal of the Operational Research Society, 61(3), p.523-529.
- Forkenbrock, David, J., 2001, Comparison of external costs of rail and truck freight transportation, Transportation Research Part A, 35 (4), p.321-337.
- Gajpal, Y., Abad, P., 2009, An ant colony system (acs) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup, Computers and Operations Research, 36(12), p.3215-3223.
- Gökçe E. İ., 2004, Araç rotalama Problemleri İçin Yeni Bir Karınca Kolonisi Sistemi Yaklaşımı, Yüksek lisans tezi, Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 100s.
- Göksal, F. P., 2010, Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi İçin Sezgisel Yaklaşımlar: Genetik Algoritma Ve Kuş Sürüsü Eniyileme, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 89s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Guide Jr., V. R., Jayaraman, V., Linton, J. D., 2003, Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery, *Journal of Operations Management*, No.21, p.259-279.
- Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F., Hartl R. F., 2007, A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems, *European Journal of Operational Research*, 195(3), p.791-802.
- Hezer, S., 2010, Eş Zamanlı Dağıtım Ve Toplamalı Araç Rotalama Problemlerinin Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması İle Çözümü, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 52s.
- Ho, W., Ho, H. T. S., Ji, P., Lau, H. C. W., 2008, A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21, 4, p.548-557.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*; Intergovernmental Panel on Climate Change: Geneva, Switzerland, p. 45-54.
- Jin Ai, T., Kachitvichyanukul, V., 2009, A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, *Computers and Operations Research*, 36, p.1693-1702.
- Jabali, O., Van Woensel, T., de Kok, A.G., 2009, Analysis of travel times and CO₂ emissions in time-dependent vehicle routing, *Tech. rep.*, Eindhoven University of Technology.
- Kara, I., Kara, B.Y., Yetis, M.K., 2007, Energy minimizing vehicle routing problem, In:Dress, A., Xu, Y., Zhu, B. (Eds.), *Combinatorial Optimization and Applications*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 4616. Springer, Berlin/Heidelberg, p.62-71.
- Karahan A., 2003, Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Faaliyetlerinin Optimize Edilmesine Yönelik Bir Model Tasarımı, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 105s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Karaoğlan İ., 2009, Dağıtım Ağları Tasarımında Yer Seçimi ve Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 130s.
- Kasap, G. C., ve Peker, D., 2011, Çevreci Bir Yaklaşım: Yeşil Tasarım, Business and Economics Research Journal, Vol.2, No.2, p.101-116.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., Veechi, M.P., 1983, Optimization by simulated annealing, Science, 220, p.671-679.
- Koç Ç., 2012, Çelik Zaman Bağımlı Araç Rotalama Problemi, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 90s.
- Korkankorkmaz N., 2012, Yalın ve Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimine İlişkin Bir Araştırma, Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 91s.
- Li J., Pardalos P. M., Sun, H., Pei, J., Zhang, Y., 2015, Iterated local search embedded adaptive neighborhood selection approach for the multi-depot vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups, Expert Systems with Applications, 42, 7, p.3551-3561.
- Li, Y., 2011, Research on the performance measurement of green supply chain management in china, Journal of Sustainable Development, Vol.4, No.3, p.101-107.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., Chung, S. H., Lam H. Y., 2014, Survey of green vehicle routing problem: past and future trends, Expert Systems with Applications, 1, p.1118-1138.
- Liu, W. Y., Lin, C. C., Chiu, C. R., Tsao, Y. S, Wang, Q., 2014, Minimizing the carbon footprint for the time-dependent heterogeneous-fleet vehicle routing problem with alternative paths, Sustainability, 6, p.4658-4684.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Maden, W., Eglese, R.W., Black, D., 2010, Vehicle routing and scheduling with time varying data: a case study, *Journal of the Operational Research Society*, 61(3), p.515-522.
- Min, H., 1989, The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup points, *Transportation Research A*, 23, p.377-386.
- Montane, F. A. T., Galvão, R. D., 2006, A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service, *Computers & Operations Research*, 33(3), p.595-619.
- Nagy, G., Salhi, S., 2005, Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries, *European Journal of Operational Research*, 162(1), p.126-141.
- Nakıboğlu M. A., 2003, Çevreci Pazarlama Anlayışı ve Tüketicilerin Çevre Tutumlarının Tüketici Davranışları Üzerindeki Etkisi ile ilgili Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 126s.
- Neto, J. F., Walther, G., Bloemhof, J., Nunen, J. V., Spengler, T., 2010, From closed-loop to sustainable supply chains :the WEEE case, *International Journal of Production Research*, Vol.48, No.15, p.4463-4481.
- Ozsoydan, F., B., Sipahioglu, A., 2013, Heuristic solution approaches for the cumulative capacitated vehicle routing problem, *Optimization: A Journal of Mathematical Programming and Operations Research*, 62:10, p.1321-1340.
- Özsoydan F. B., 2011, Birikimli Açık Araç Rotalama Problemi İçin Sezgisel Çözüm Yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, OGU, Fen Bilimleri Enstitüsü, 139s.
- Paksoy, T., Bektaş, T., Özceylan, E., 2011, Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain, *Transportation Research Part E*, p. 532-546.
- Potvin, J.Y., Duhamel, C., Guertin, F., 1996, A genetic algorithm for vehicle routing with backhauling, *Intelligence*, 6, p.345-355.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Ropke, S., Pisinger, D., 2004, A unified heuristic for large class vehicle routing problems with backhauls, *European Journal of Operational Research*, 171(3), p.750-775.
- Sarkis, J., 1998, Evaluating environmentally conscious business practices, *European Journal Research*. 107, p.159-174.
- Schneider, J. J., Kirkpatrick., S., 2006 , *Stochastic optimization*, Springer, p.79-88.
- Schultmann, F., Engels, B., Otto, R., 2003, Closed-loop supply chains for spent batteries, *Interfaces*, Vol.33,No.6, p.57-71.
- Subramanian, A., Drummond, L. M. A., Bentes, C., Ochi, L. S., Farias, R., 2009, A parallel heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery, *Computers and Operations Research*, 37(11), p.1899–1911.
- Tang, F. A., Galvao, R. D., 2006, Vehicle routing problems with simultaneous pickup and delivery service, *Journal of the Operational Research Society of India*, 39, p.19-33.
- Tasan, A. S., Gen, M., 2012, A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries, *Computer & Industrial Engineering*, 62, p.755–761.
- Tang, F.A., Galvao, R.D., 2002, Vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service, *Journal of the Operational Research Society of India*, 39, p.19-33.
- Tol, Richard, S. J., 2005, The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties, *Energy Policy*, 33 (16), p. 2064-2074.
- Van Laarhoven, P. J. M., Aarts, E. H. L., 2010, *Simulated annealing: theory and applications*, Kluwer Academic Publishers, p.7-157.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Wang, C., Mu, D., Zhao, F., Sutherland, J., W., 2015, A parallel simulated annealing method for the vehicle routing problem with simultaneous pickup–delivery and time Windows, *Computers & Industrial Engineering*, 83, p.111-122.
- Wassan, N. A., Wassan, A. H., Nagy, G., 2008, A reactive tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries, *Journal of Combinatorial Optimization*, 15, p.368-386.
- Webster, S. A., 2012, Lean manufacturing is green manufacturing, *Manufacturing Engineering*, No.148, p.18.
- Yüksel, H., 2003, Çevreye duyarlı üretim faaliyetlerinin ampirik bir çalışma ile değerlendirilmesi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, C.14, S.2, s.21-32.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., 2009a, A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup service, *Expert Systems with Applications*, 36(2), p.1070–1080.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., 2009b, The load-dependent vehicle routing problem and its pick-up and delivery extension, *Transportation Research Part B*, 71, p.158–181.
- Zhang, S., Lee, C. K. M., Chan, H., K., Choy, K. L., Wu, Zhang, 2015, Swarm intelligence applied in green logistics: A literature review, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 37, p.154-169.
- Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K.-h., 2008, Green supply chain management implications for closing the loop, *Transportation Research Part E*, 44, p.1-18.

Ek Açıklamalar-A

```
Public Class Form1
```

```
    Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button1.Click
```

```
        Dim aracsayisi As Integer
        aracsayisi = TextBox1.Text
        Dim dsayisi As Integer
        dsayisi = TextBox2.Text
        Dim arack As Integer
        arack = TextBox3.Text
        Dim aracd As Integer
        aracd = TextBox6.Text
        Dim kuzunluğu As Integer
        kuzunluğu = aracsayisi + dsayisi + 1
        Dim a As Integer
        For a = 1 To kuzunluğu
            Me.DataGridView3.Rows.Add("")
        Next
        For a = 1 To dsayisi - 1
            Me.DataGridView1.Rows.Add(a & ". Müşteri", " ", " ")
        Next
        For a = 0 To dsayisi - 1
            With Me.DataGridView2
                .Columns.Add(a & ". müşteri", a & ". MÜŞTERİ")
            End With
        Next
        For a = 0 To dsayisi - 1
            Me.DataGridView2.Rows.Add(a & ". Müşteri", " ", " ")
        Next
        Sayfa4.SelectedTab = TabPage2
    End Sub
```

```
    Private Sub Button2_Click_1(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button2.Click
```

```
        Dim bçözümarama As Integer
        bçözümarama = 0
enbaş:
        If bçözümarama = 10000 Then
            MsgBox("Uygun Rota Yok")
        End If
        bçözümarama = bçözümarama + 1
        Dim kuzunluğu, u, SDO, delta, T, esonuç, ksonuç, aracsayisi, dsayisi, arack,
araç, araçd, müşteris, üretilens, say, dsonrasıyük, Toplamam, dağıtımm, sonuç, ark
As Double
        Dim r, d1, d2, d3, d4, sayaç As Integer
        Dim komşurota() As Double
        Dim eniyirota() As Double
        Dim yole() As Double
        Dim araçbaşlangıçd() As Double
        Dim araçbaşlangıçy() As Double
        Dim rota() As Double
        Dim araçbitişd() As Double
        T = TextBox4.Text
        SDO = 1 - TextBox5.Text
        aracsayisi = TextBox1.Text
        dsayisi = TextBox2.Text
        kuzunluğu = aracsayisi + dsayisi - 1
```

```

arack = TextBox3.Text
müşteris = dsayisi - 1
araçd = TextBox6.Text
say = 0
araç = 0
dağıtımm = 0
Toplamam = 0
ReDim komşurota(0 To kuzunluğu)
ReDim araçbaşlangıçd(0 To aracsayisi - 1)
ReDim araçbaşlangıçy(0 To aracsayisi - 1)
ReDim rota(0 To kuzunluğu)
ReDim araçbitişd(0 To aracsayisi - 1)
ReDim eniyirota(0 To kuzunluğu)
For i = 0 To aracsayisi - 1
    araçbaşlangıçd(i) = 0
    araçbaşlangıçy(i) = 0
    araçbitişd(i) = 0
Next
For i = 0 To kuzunluğu
    rota(i) = 0
    eniyirota(i) = 0
    komşurota(i) = 0
Next
sonuç = 0
ksonuç = 0
esonuç = 0
For i = 0 To müşteris - 1
    Toplamam = Toplamam + DataGridView1.Rows(i).Cells(2).Value
    dağıtımm = dağıtımm + DataGridView1.Rows(i).Cells(1).Value
Next
If Toplamam > (aracsayisi * arack) Then
    MsgBox("Toplam Kapasite, Toplam Toplama Miktarından Fazla Olmalı")
    GoTo bitir
End If
If dağıtımm > (aracsayisi * arack) Then
    MsgBox("Toplam Kapasite, Toplam Dağıtım Miktarından Fazla Olmalı")
    GoTo bitir
End If
For i = 0 To müşteris - 1
    If DataGridView1.Rows(i).Cells(1).Value > arack Then
        MsgBox("Düğümlerin Toplama Miktarı Araç Kapasitesin Büyük Olamaz")
        GoTo bitir
    End If
    If DataGridView1.Rows(i).Cells(2).Value > arack Then
        MsgBox("Düğümlerin Toplama Miktarı Araç Kapasitesin Büyük Olamaz")
        GoTo bitir
    End If
Next
baş:
For i = 1 To kuzunluğu
    Randomize()
    üretilens = Int(Rnd() * müşteris) + 1
    If i = 1 Then
        rota(i) = üretilens
        araçbaşlangıçy(araç) = DataGridView1.Rows(üretilens -
1).Cells(1).Value
        say = say + 1
        GoTo son
    End If
    For j = 1 To i - 1
        If üretilens = rota(j) Then

```



```

        GoTo baş
    End If
Next
    araçbaşlangıçy(araç) = araçbaşlangıçy(araç) +
DataGridView1.Rows(üretilems - 1).Cells(1).Value
    If araçbaşlangıçy(araç) > arack Then
        araçbaşlangıçy(araç) = araçbaşlangıçy(araç) -
DataGridView1.Rows(üretilems - 1).Cells(1).Value
        rota(i) = 0
        araçbitişd(araç) = i - 1
        araç = araç + 1
        If araç = aracsayisi Then
            GoTo enbaş
        End If
        araçbaşlangıçd(araç) = i + 1
    Else
        rota(i) = üretilems
        say = say + 1
    End If
    If rota(i) = 0 Then
        GoTo son
    End If
    dsonrasıyük = araçbaşlangıçy(araç)
    If araç = 0 Then
        For j = 1 To i
            dsonrasıyük = dsonrasıyük - DataGridView1.Rows(rota(j) -
1).Cells(1).Value + DataGridView1.Rows(rota(j) - 1).Cells(2).Value
            If dsonrasıyük > arack Then
                araçbaşlangıçy(araç) = araçbaşlangıçy(araç) -
DataGridView1.Rows(rota(i) - 1).Cells(1).Value
                rota(i) = 0
                araçbitişd(araç) = i - 1
                araç = araç + 1
                If araç = aracsayisi Then
                    GoTo enbaş
                End If
                araçbaşlangıçd(araç) = i + 1
                say = say - 1
                If rota(i) = 0 Then
                    GoTo son
                End If
            End If
        End If
    Next
End If
If rota(i) = 0 Then
    GoTo son
End If
If araç > 0 Then
    For j = araçbaşlangıçd(araç) To i
        dsonrasıyük = dsonrasıyük - DataGridView1.Rows(rota(j) -
1).Cells(1).Value + DataGridView1.Rows(rota(j) - 1).Cells(2).Value
        If dsonrasıyük > arack Then
            araçbaşlangıçy(araç) = araçbaşlangıçy(araç) -
DataGridView1.Rows(rota(i) - 1).Cells(1).Value
            rota(i) = 0
            araçbitişd(araç) = i - 1
            araç = araç + 1
            If araç = aracsayisi Then
                GoTo enbaş
            End If
            araçbaşlangıçd(araç) = i + 1
        End If
    Next
End If

```

```

        say = say - 1
        If rota(i) = 0 Then
            GoTo son
        End If
    End If
Next
End If
son:
    If say = müşteris Then
        For j = i + 1 To kuzunluğu
            rota(j) = 0
            If j = kuzunluğu Then
                GoTo bitir
            End If
        Next
    End If
Next
bitir:
    ark = 0
    dsonrasıyük = 0
    araç = 0
    sonuç = 0
    ReDim araçbaşlangıçd(0 To aracsayisi - 1)
    ReDim araçbitişd(0 To aracsayisi - 1)
    ReDim araçbaşlangıçy(0 To aracsayisi - 1)
    ReDim yole(0 To kuzunluğu - 1)
    For i = 0 To TextBox1.Text - 1
        araçbaşlangıçd(i) = 0
        araçbaşlangıçy(i) = 0
        araçbitişd(i) = 0
    Next
    For i = 0 To kuzunluğu - 1
        yole(i) = 0
    Next
    araç = 0
    For i = 0 To kuzunluğu
        If rota(i) = 0 Then
            If i = 0 Then
                araçbaşlangıçd(araç) = 0
                GoTo s
            End If
            If i = kuzunluğu Then
                araçbitişd(TextBox1.Text - 1) = kuzunluğu
                GoTo s
            End If
            araçbitişd(araç) = i
            araç = araç + 1
            araçbaşlangıçd(araç) = i
        End If
    Next
    s:
    For i = 0 To TextBox1.Text - 1
        For j = araçbaşlangıçd(i) + 1 To araçbitişd(i) - 1
            araçbaşlangıçy(i) = araçbaşlangıçy(i) + DataGridView1.Rows(rota(j) -
1).Cells(1).Value
        Next
    Next
    For i = 0 To TextBox1.Text - 1
        dsonrasıyük = araçbaşlangıçy(i) + araçd
        For j = araçbaşlangıçd(i) To araçbitişd(i) - 1

```

```

        r = rota(j + 1) + 1
        yole(ark) = dsonrasıyük * DataGridView2.Rows(rota(j)).Cells(r).Value
        ark = ark + 1
        If j = araçbitişd(i) - 1 Then
            GoTo yeni
        End If
        dsonrasıyük = dsonrasıyük - DataGridView1.Rows((rota(j + 1)) -
1).Cells(1).Value + DataGridView1.Rows((rota(j + 1)) - 1).Cells(2).Value
yeni:
        Next
    Next
    sonuç = 0
    For i = 0 To kuzunluğu - 1
        sonuç = sonuç + yole(i)
    Next

    sonuç = (sonuç * 9.81) * ((2.32 / 8.8) / (3600000))
    For i = 0 To kuzunluğu
        eniyirota(i) = rota(i)
    Next
    esonuç = sonuç
yeniden:
    For i = 0 To kuzunluğu
        komşurota(i) = rota(i)
    Next
    Randomize()
    d1 = Int(Rnd() * (kuzunluğu - 1)) + 1
    d2 = Int(Rnd() * (kuzunluğu - 1)) + 1
    If d1 = d2 Then
        GoTo yeniden
    End If
    d3 = komşurota(d1)
    d4 = komşurota(d2)
    If d3 = d4 Then
        GoTo yeniden
    End If
    komşurota(d1) = d4
    komşurota(d2) = d3
    ark = 0
    dsonrasıyük = 0
    araç = 0
    ReDim araçbaşlangıçd(0 To aracsayisi - 1)
    ReDim araçbitişd(0 To aracsayisi - 1)
    ReDim araçbaşlangıçy(0 To aracsayisi - 1)
    ReDim yole(0 To kuzunluğu - 1)
    For i = 0 To TextBox1.Text - 1
        araçbaşlangıçd(i) = 0
        araçbaşlangıçy(i) = 0
        araçbitişd(i) = 0
    Next
    For i = 0 To kuzunluğu - 1
        yole(i) = 0
    Next
    For i = 0 To kuzunluğu
        If komşurota(i) = 0 Then
            If i = 0 Then
                araçbaşlangıçd(araç) = 0
                GoTo yine
            End If
            If i = kuzunluğu Then
                araçbitişd(aracsayisi - 1) = kuzunluğu
            End If
        End If
    Next
    yine:

```

```

        GoTo yine
    End If
    araçbitişd(araç) = i
    araç = araç + 1
    araçbaşlangıçd(araç) = i
End If
yine:
Next
For i = 0 To TextBox1.Text - 1
    For j = araçbaşlangıçd(i) + 1 To araçbitişd(i) - 1
        araçbaşlangıçy(i) = araçbaşlangıçy(i) +
DataGridView1.Rows(komşurota(j) - 1).Cells(1).Value
    Next
Next
For i = 0 To TextBox1.Text - 1
    dsonrasıyük = araçbaşlangıçy(i) + araçd
    For j = araçbaşlangıçd(i) To araçbitişd(i) - 1
        If dsonrasıyük > (arack + araçd) Then
            GoTo yeniden
        End If
        r = komşurota(j + 1) + 1
        yole(ark) = dsonrasıyük *
DataGridView2.Rows(komşurota(j)).Cells(r).Value
        ark = ark + 1
        If j = araçbitişd(i) - 1 Then
            GoTo ss
        End If
        dsonrasıyük = dsonrasıyük - DataGridView1.Rows((komşurota(j + 1)) -
1).Cells(1).Value + DataGridView1.Rows((komşurota(j + 1)) - 1).Cells(2).Value
    ss:
        Next
    Next
    ksonuç = 0
    For i = 0 To kuzunluğu - 1
        ksonuç = ksonuç + yole(i)
    Next
    ksonuç = (ksonuç * 9.81) * ((2.32 / 8.8) / (3600000))
    If ksonuç <= sonuç Then
        For i = 0 To kuzunluğu

            rota(i) = komşurota(i)
        Next
        sonuç = ksonuç
    End If
    delta = 0
    If ksonuç > sonuç Then
        delta = ksonuç - sonuç
        Randomize()
        u = Rnd()
        If u < 1 / (Math.Exp(delta / T)) Then
            For i = 0 To kuzunluğu
                rota(i) = komşurota(i)
            Next
            sonuç = ksonuç
        End If
    End If
    If ksonuç < esonuç Then
        esonuç = ksonuç
        For i = 0 To kuzunluğu
            eniyirota(i) = komşurota(i)
        Next
    End If

```

```
End If
T = T * SDO
sayaç = sayaç + 1
If sayaç <= TextBox10.Text Then
    GoTo yeniden
End If
For i = 0 To kuzunluğu
    DataGridView3.Rows(i).Cells(0).Value = eniyirotai(i)
Next
TextBox11.Text = esonuç
End Sub
Private Sub Button4_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button4.Click
    Sayfa4.SelectedTab = TabPage4
End Sub
Private Sub Button5_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button5.Click
    Sayfa4.SelectedTab = TabPage3
End Sub
End Class
```

Ek Açıklamalar-B

```

UNIANOVA
  SONUC BY IS BS SDO
  /METHOD = SSTYPE(3)
  /INTERCEPT = INCLUDE
  /POSTHOC = SDO BS IS ( DUNCAN )
  /PRINT = DESCRIPTIVE HOMOGENEITY
  /CRITERIA = ALPHA(.05)
  /DESIGN = IS BS SDO IS*BS IS*SDO BS*SDO IS*BS*SDO .

```

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
IS	1000,00	27
	5000,00	27
	10000,00	27
BS	100,00	27
	250,00	27
	500,00	27
SDO	,01	27
	,05	27
	,10	27

Descriptive Statistics

Dependent Variable: SONUC

IS	BS	SDO	Mean	Std. Deviation	N
1000,00	100,00	,01	4693,8328	195,44033	3
		,05	5624,9580	346,90978	3
		,10	4749,1466	264,99493	3
		Total	5022,6458	511,69214	9
	250,00	,01	5061,9245	75,35476	3
		,05	5588,2231	60,48140	3
		,10	4915,4043	360,04254	3
		Total	5188,5173	358,65677	9
	500,00	,01	4669,7934	415,33421	3
,05		5596,6468	256,47765	3	
,10		5045,0137	186,63326	3	
	Total	5103,8180	480,93362	9	
Total		,01	4808,5169	300,53945	9
		,05	5603,2760	218,45832	9
		,10	4903,1882	274,16861	9

		Total	5104,9937	442,80201	27
5000,00	100,00	,01	4914,6418	384,90541	3
		,05	5349,1880	82,36632	3
		,10	4855,0962	322,89448	3
		Total	5039,6420	345,48830	9
	250,00	,01	4584,0808	112,54325	3
		,05	5229,1877	143,12979	3
		,10	4860,2803	112,20388	3
		Total	4891,1829	300,00530	9
	500,00	,01	4709,8412	228,57274	3
		,05	5226,9103	76,06302	3
		,10	4787,8892	196,82909	3
		Total	4908,2136	287,17090	9
	Total	,01	4736,1880	272,29508	9
		,05	5268,4287	109,24111	9
		,10	4834,4219	200,30246	9
		Total	4946,3462	307,18765	27
10000,00	100,00	,01	4515,5354	175,43754	3
		,05	5237,3551	87,92293	3
		,10	4921,5107	33,93201	3
		Total	4891,4671	328,80802	9
	250,00	,01	4960,5430	185,90429	3
		,05	5264,6042	114,08286	3
		,10	4978,7890	89,93046	3
		Total	5067,9787	189,01125	9
	500,00	,01	4385,0936	74,46344	3
		,05	4956,2179	351,03024	3
		,10	4595,8075	264,53154	3
		Total	4645,7063	335,03115	9
	Total	,01	4620,3907	293,24818	9
		,05	5152,7257	240,52490	9
		,10	4832,0357	227,61530	9
		Total	4868,3840	331,56347	27
Total	100,00	,01	4708,0033	290,27733	9
		,05	5403,8337	252,11945	9
		,10	4841,9178	222,65856	9
		Total	4984,5850	393,83731	27
	250,00	,01	4868,8494	246,51217	9
		,05	5360,6717	196,59857	9
		,10	4918,1579	200,53561	9
		Total	5049,2263	306,18539	27
	500,00	,01	4588,2428	284,75965	9
		,05	5259,9250	355,26502	9
		,10	4809,5701	272,00547	9
		Total	4885,9126	409,46463	27
	Total	,01	4721,6985	288,61742	27
		,05	5341,4768	272,14216	27
		,10	4856,5486	229,22758	27
		Total	4973,2413	374,07817	81

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)

Dependent Variable: SONUC

F	df1	df2	Sig.
2,219	26	54	,007

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a Design: Intercept+IS+BS+SDO+IS * BS+IS * SDO+BS * SDO+IS * BS * SDO

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SONUC

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8521505,251(a)	26	327750,202	6,621	,000
Intercept	2003383455,657	1	2003383455,657	40468,559	,000
IS	785081,234	2	392540,617	7,929	,001
BS	365274,792	2	182637,396	3,689	,031
SDO	5737185,464	2	2868592,732	57,946	,000
IS * BS	686970,631	4	171742,658	3,469	,014
IS * SDO	391922,320	4	97980,580	1,979	,111
BS * SDO	145706,034	4	36426,508	,736	,572
IS * BS * SDO	409364,777	8	51170,597	1,034	,423
Error	2673253,224	54	49504,689		
Total	2014578214,132	81			
Corrected Total	11194758,475	80			

a R Squared = ,761 (Adjusted R Squared = ,646)

Post Hoc Tests

SDO

Homogeneous Subsets

SONUC

Duncan

SDO	N	Subset		
	1	2	3	1
,01	27	4721,6985		
,10	27		4856,5486	
,05	27			5341,4768
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 49504,689.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 27,000.

b Alpha = ,05.

BS

Homogeneous Subsets

SONUC

Duncan

BS	N	Subset	
	1	2	1
500,00	27	4885,9126	
100,00	27	4984,5850	4984,5850
250,00	27		5049,2263
Sig.		,109	,291

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 49504,689.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 27,000.

b Alpha = ,05.

IS

Homogeneous Subsets

SONUC

Duncan

IS	N	Subset	
	1	2	1
10000,00	27	4868,3840	
5000,00	27	4946,3462	
1000,00	27		5104,9937
Sig.		,203	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 49504,689.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 27,000.

b Alpha = ,05.

Ek Açıklamalar-C

GAMS 21.2 Çözümlerinin Rotaları

7D/1A	0	5	4	6	2	1	3	0					
7D/2A	0	5	4	3	0	6	2	1	0				
7D/3A	0	4	5	0	6	2	0	3	1	0			
8D/1A	0	5	4	7	6	2	1	3	0				
8D/2A	0	5	4	3	0	7	6	2	1	0			
8D/3A	0	3	5	4	0	2	6	7	0	1	0		
9D/1A	0	5	4	8	6	7	2	1	3	0			
9D/2A	0	3	5	4	8	0	1	2	6	7	0		
9D/3A	0	3	4	5	0	7	6	8	0	2	1	0	
10D/1A	0	3	1	2	9	7	6	8	4	5	0		
10D/2A	0	3	4	5	6	7	0	8	9	2	1	0	
10D/3A	0	3	4	5	0	9	2	1	0	7	6	8	0

SA Çözümlerininin Rotaları

7D/1A	0	1	2	6	4	5	3	0					
7D/2A	0	5	4	3	0	6	2	1	0				
7D/3A	0	4	5	0	6	2	0	3	1	0			
8D/1A	0	3	5	4	7	6	2	1	0				
8D/2A	0	5	4	3	0	1	2	6	7	0			
8D/3A	0	3	5	4	0	2	6	7	0	1	0		
9D/1A	0	5	4	8	6	7	2	1	3	0			
9D/2A	0	8	4	5	3	0	1	2	6	7	0		
9D/3A	0	3	4	5	0	7	6	8	0	2	1	0	
10D/1A	0	1	2	9	7	6	8	4	5	3	0		
10D/2A	0	7	9	6	2	1	0	8	4	5	3	0	
10D/3A	0	3	4	5	0	9	2	1	0	7	6	8	0

Ek Açıklamalar-D

Mesafe En iyi Çözümlerinin Rotaları

1A/1Ö	0	5	4	8	10	6	7	9	2	1	11	12	3	0					
1A/2Ö	0	5	4	8	10	6	7	9	2	1	11	12	3	0					
1A/3Ö	0	5	4	8	10	6	7	9	2	1	11	12	3	0					
2A/1Ö	0	3	12	11	1	2	9	0	5	4	7	6	10	8	0				
2A/2Ö	0	12	11	1	2	9	8	0	7	6	10	4	5	3	0				
2A/3Ö	0	7	6	10	8	4	5	3	0	9	2	1	11	12	0				
3A/1Ö	0	7	6	10	8	0	4	5	12	3	0	11	1	2	9	0			
3A/2Ö	0	9	2	1	3	0	8	10	6	7	0	4	5	12	11	0			
3A/3Ö	0	1	2	6	10	0	12	8	7	9	0	5	3	4	11	0			
4A/1Ö	0	2	6	10	0	5	4	8	0	1	11	7	0	9	12	3	0		
4A/2Ö	0	1	2	9	0	6	7	10	0	5	4	8	0	11	12	3	0		
4A/3Ö	0	9	6	7	0	10	8	12	0	5	1	2	0	4	11	3	0		
5A/1Ö	0	8	4	5	0	9	2	1	0	0	11	12	3	0	6	7	10	0	
5A/2Ö	0	8	6	7	0	10	9	0	5	4	2	0	3	0	12	11	1	0	
5A/3Ö	0	1	6	9	0	3	2	7	0	4	5	0	10	8	0	12	11	0	
6A/1Ö	0	5	3	0	4	7	0	8	10	0	12	11	0	2	1	0	9	6	0
6A/2Ö	0	1	8	0	3	12	0	4	5	0	11	6	0	10	7	0	9	2	0
6A/3Ö	0	1	10	0	8	2	0	6	7	0	9	11	0	12	3	0	5	4	0

CFP Çözümlerinin Rotaları

1A/1Ö	0	5	4	8	10	6	7	9	2	1	11	12	3	0					
1A/2Ö	0	5	4	8	10	6	7	9	2	1	11	12	3	0					
1A/3Ö	0	3	12	11	1	2	9	7	6	10	8	4	5	0					
2A/1Ö	0	11	12	5	4	10	8	0	7	6	9	2	1	3	0				
2A/2Ö	0	8	10	6	7	4	5	0	9	2	1	11	12	3	0				
2A/3Ö	0	12	11	1	2	9	8	0	7	6	10	4	5	3	0				
3A/1Ö	0	3	12	4	5	0	7	6	10	8	0	11	1	2	9	0			
3A/2Ö	0	5	4	12	11	0	8	10	6	7	0	3	1	2	9	0			
3A/3Ö	0	12	1	9	7	0	8	2	6	10	0	5	4	3	11	0			
4A/1Ö	0	2	6	7	0	3	5	4	0	1	11	12	0	9	10	8	0		
4A/2Ö	0	7	6	10	0	11	12	3	0	5	4	8	0	1	2	9	0		
4A/3Ö	0	10	8	11	0	4	12	3	0	5	1	2	0	9	6	7	0		
5A/1Ö	0	3	12	11	0	7	2	1	0	8	6	10	0	5	4	0	9	0	
5A/2Ö	0	1	0	11	12	3	0	9	2	0	8	6	7	0	10	4	5	0	
5A/3Ö	0	3	6	7	0	4	5	0	8	10	0	12	11	0	9	2	1	0	
6A/1Ö	0	10	4	0	1	2	0	5	3	0	7	8	0	9	6	0	12	11	0
6A/2Ö	0	3	12	0	1	11	0	6	8	0	5	4	0	2	9	0	10	7	0
6A/3Ö	0	2	8	0	3	12	0	11	9	0	6	7	0	1	10	0	4	5	0