

**BÖLÜNMÜŞ DAĞITIMA SAHİP
ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN
ÇÖZÜM YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA**

Zeynep İdil ERZURUM

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos – 2015

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Zeynep İdil ERZURUM'un "**Bölünmüş Dağıtım Sahip Araç Rotalama Problemleri İçin Çözüm Yaklaşımı Ve Bir Uygulama**" başlıklı Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 31.07.2015 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yard. Doç. Dr. Iğın POYRAZ ACAR	
Üye	: Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU	
Üye	: Yard. Doç. Dr. Sinan AYDIN	

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BÖLÜN MÜŞ DAĞITIMA SAHİP ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN ÇÖZÜM YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA

Zeynep İdil ERZURUM

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Iğın POYRAZ ACAR

2015, 51 sayfa

Bu tez çalışmasında ele alınan bir gerçek hayat dağıtım problemine çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Müşteri taleplerinin araç kapasitesinden fazla olduğu problem, çok ürünlü bölünmüş dağıtımlı araç rotalama problemi olarak formüle edilmiş ve literatürdeki modellerden faydalanılarak matematiksel modeli kurulmuştur. Bir sonraki aşamada problem heterojen filolu hale getirilmiştir. Çok ürünlü bölünmüş dağıtımlı araç rotalama problemi çözümü için yasaklı arama metasezgiseli geliştirilmiştir. Yasaklı arama algoritması geliştirme aşamasında rassal aday liste stratejisi uygulanmış, aday liste varlığının çözüm üzerindeki etkisi literatür problemleri aracılığıyla incelenmiştir. Ayrıca üç farklı arama hareketi ile problem yapısına uyabilecek arama hareketi türü belirlenmiştir. Geliştirilen metasezgisel ile literatürde bulunan test problemleri çözülmüş ve elde edilen sonuçlar problemlere ait en iyi amaç fonksiyonu değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bölünmüş dağıtımlı araç rotalama problemleri, Yasaklı arama, Aday liste, Çok ürünlü

ABSTRACT

Master of Science Thesis

SOLUTION APPROACH FOR THE SPLIT DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM AND AN APPLICATION

Zeynep İdil ERZURUM

Anadolu University

Graduate School of Science

Industrial Engineering Program

Supervisor: Asst.Prof. İlgin POYRAZ ACAR

2015, 51 pages

In this thesis, a solution approach is proposed for a real-life distribution problem. The problem that the customer demands are greater than the vehicle capacity, formulated as a multiproduct split delivery vehicle routing problem and its mathematical model established using models in literature. At a later stage, the problem model has become a heterogeneous fleet type. For the solution for multiproduct split delivery vehicle routing problem, a tabu search metaheuristic is developed. In the stage of the algorithm development, a randomized candidate list strategy is applied and the impact on the solution of the presence of the candidate list examined through literature problems. It is also determined the type of the move that can fit the structure of the problem through three different search moves. The problems in literature solved using developed tabu search metaheuristic and the obtained solutions compared with the optimal solution values of the problems.

Keywords: Split delivery vehicle routing problem, Tabu search, Candidate list,
Multiproduct

TEŐEKKÖR

Tez alıőmam boyunca bilgi ve deneyimlerini benimle paylaőan, her zaman bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen danıőmanım **Yard. Doç Dr. Ilgın POYRAZ ACAR**'a teőekkÖrlerimi sunarım.

TÖm hayatım boyunca en bÖyÖk desteğim olan ve desteklerini esirgemeyen canım annem **Aysun ERZURUM**'a; bu zorlu sÖrete yanımda olan, sÖrekli beni destekleyen ve motive eden **LÖtfÖ ÇİÇEK**'e ve her konuda yanımda olan arkadaşlarıma teőekkÖr ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ	3
2.1. Araç Rotalama Probleminin Tarihçesi	5
2.2. ARP çeşitleri	6
2.2.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	6
2.2.2. Çoklu Depoya Sahip Araç Rotalama Problemi.....	6
2.2.3. Periyodik Araç Rotalama Problemi	6
2.2.4. Bölünmüş Dağıtım Sahip Araç Rotalama Problemi.....	7
2.2.5. Stokastik Araç Rotalama Problemi	7
2.2.6. Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi.....	7
2.2.7. Uydu Tesisli Araç Rotalama Problemleri	7
2.2.8. Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi	8
2.2.9. Heterojen Filolu Araç Rotalama Problemi.....	8
2.3. ARP Çözüm Yöntemleri	8
2.3.1. Kesin Yöntemler	8
2.3.2. Sezgisel Yöntemler	9
2.3.3. Metasezgisel Yöntemler.....	11
3. YASAKLI ARAMA ALGORİTMASI	13
3.1. Yasaklı Arama Algoritmasının İşleyişi.....	14
4. BÖLÜNÜMÜŞ DAĞITIMA SAHİP ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ	16

4.1.	Literatürdeki BDARP Modelleri.....	16
4.2.	BDARP'nin Tarihçesi	19
4.3.	Örnek Problem	23
5.	YASAKLI ARAMA YÖNTEMİ İLE BDARP'NİN ÇÖZÜMÜ	25
5.1	Problemin Tanıtımı	25
5.2	Problem Varsayımları ve Matematiksel Modeller	26
5.2.1	Kümeler, Parametreler ve Karar Değişkenleri.....	27
5.2.2	Çok Ürünlü BDARP Modeli.....	27
5.2.3	Heterojen Filolu Model	29
5.3	BDARP'nin YA Algoritması ile Çözümü.....	30
5.3.1.	Başlangıç çözümü aşaması.....	30
5.3.2.	Yasaklı Arama Aşaması.....	32
5.3.3.	Geliştirme Aşaması	37
5.4	Uygulama	39
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	44
	KAYNAKLAR.....	45
	Ek.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tasarruf Algoritmasının Temel Konsepti.....	9
Şekil 3.1. YA Algoritmasının İşleyişi.....	15
Şekil 4.1. Örnek probleme ait serim	23
Şekil 4.2. Talep bölünmeden ve bölünerek elde edilmiş çözüm.....	24
Şekil 5.1. Müşterilerin Türkiye'ye Dağılımı	25
Şekil 5.2. Relocate Hareketi.....	33
Şekil 5.3. Swap Hareketi.....	34
Şekil 5.4. 2-Opt Hareketi	34
Şekil 5.5. Rassal Aday Çözüm Listesi Stratejisi.....	35
Şekil 5.6. Bütün YA Algoritması.....	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. ARP'nin Tarihçesi(1950-1990).....	5
Çizelge 4.1. Örnek probleme ait uzaklık matrisi	24
Çizelge 5.1. Dağıtım Dönemleri Bazında Talep Noktaları ve Ürün Çeşidi Bilgisi.....	26
Çizelge 5.2. Bölme Katsayısı ve Aday Liste Büyüklüğünün Çözümüne Etkisi.....	39
Çizelge 5.3. Relocate Operatörü ile Elde Edilen Sonuçlar	40
Çizelge 5.4. Swap Operatörü ile Elde Edilen Sonuçlar	41
Çizelge 5.5. 2-Opt Operatörü ile Elde Edilen Sonuçlar.....	42

KISALTMALAR DİZİNİ

- BDARP : Bölünmüş Dağıtımli Araç Rotalama Problemi
ÇDARP : Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
EYK : En Yakın Komşuluk
GA : Genetik Algoritma
GAP : Genel Atama Problemi
GSP : Gezgin Satıcı Problemi
HFARP Heterojen Filolu Araç Rotalama Problemi
KKARP : Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KKE : Karınca Kolonisi Eniyilemesi
PARP : Periyodik Araç Rotalama Problemi
SARP : Stokastik Araç Rotalama Problemi
TB : Tavlama Benzetimi
TDARP : Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
YA : Yasaklı Arama
ZPARP : Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi

1. GİRİŞ

Ürünlerin müşterilere fiziksel olarak dağıtımını işletme başarısını etkileyen faktörlerden biridir. Ürün özellikleri, kalitesi ne kadar iyi olursa olsun; vaktinde yapılmayan bir dağıtım müşteri memnuniyetinin ve işletme itibarının çok düşük seviyelere gerilemesine sebep olabilir.

Gerçek hayatta etkin ve dinamik dağıtım sistemleri oluşturmak oldukça zordur. En kısa sürede, en az mesafe kat edilerek ve en az sayıda araçla müşteri talebini karşılamak bir eniyileme problemi olarak ele alınabilir.

Araç Rotalama Problemleri (ARP), coğrafi olarak belirli bir alana yayılmış müşterilere ürünlerin eniyi şekilde dağıtımını ele alan bir kombinatoryal eniyileme problemidir. ARP gerçek hayat dağıtım problemlerine oldukça uyum gösterir; birçok gerçek hayat kısıntını ve koşullarını içeren daha karmaşık problemlere dönüşebilir.

ARP gerçek hayatta uygulama alanı çok geniş olan NP-zor bir problemidir. ARP genel olarak bir ağ içerisindeki belirli noktalar arasında mal ve hizmet dağıtımını ile ilgilenmektedir. Günümüzde ürün dağıtımında, mal ve insan taşımadaki problemler artmaktadır [1]. Örneğin, ürün ve hizmetlerin bir veya daha fazla sayıdaki depodan çeşitli müşterilere dağıtımını, üretim planlaması ve hammadde, yarı mamul ve mamullerin fabrikalar arası taşınması, stok planlaması ve ürünlerin satış yerlerine sevkiyatı, havayolu şirketleri ile yolcu ve ürün taşınması, içecek, para, benzin ve mazot dağıtımını, süt dağıtımını ve toplanması, atık maddelerin toplanması gibi faaliyetler ARP olarak tanımlanabilir.

Bu tez kapsamında, müşteri talebinin araç kapasitesinden fazla olduğu birden fazla çeşit ürün dağıtımını içeren bir gerçek hayat problemi ele alınmış ve problem ARP çeşitlerinden biri olan Bölünmüş Dağıtıma Sahip Araç Rotalama Problemi (BDARP) olarak formüle edilmiştir. Çalışmada literatürdeki klasik BDARP modeline ağırlıkları birbirinden farklı birden fazla ürünün matematiksel modele yansımaları için ürün indisi; bir sonraki aşamada ise kurum isteği üzerine farklı türde araçların talep noktası isteklerine göre kullanılabilmesini sağlamak amacıyla matematiksel model heterojen filolu ARP modeli olarak yeniden

düzenlenmiştir. BDARP probleminin çözümü için Yasaklı Arama (YA) algoritması ile en iyi çözüme yaklaşılmaya çalışılmıştır ve farklı çözüm stratejileri uygulanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümde ARP hakkında genel bilgiler ve ARP literatüründen örnekler, üçüncü bölümde YA algoritması ve işleyişi, dördüncü bölümde BDARP hakkında detaylı bilgi ve literatürdeki çalışmalar sunulacaktır. Beşinci bölümde, üzerinde çalışılan gerçek hayat problemi ile ilgili mevcut durum analizi ve yapılan çalışma anlatılacaktır. Altıncı bölümde ise sonuçlar tartışılacak ve çalışmanın geliştirilmesi için öneriler verilecektir.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

ARP, bir merkez depodan coğrafi olarak yayılmış müşteri kümesine araç kapasitesi, rota uzunluğu, zaman penceresi, müşteriler arası öncelik ilişkileri vs. gibi çeşitli kısıtlamalara bağlı olan en iyi dağıtım veya toplama rotaları tasarımından meydana gelmektedir [2].

Danzig ve Ramser tarafından 1959 yılında tanımlanan ARP, dağıtım yönetiminde merkezi bir yer tutmaktadır ve kombinatoriyal eniyileme problemlerinde en yaygın çalışılan problemlerden biri haline gelmiştir [3].

ARP temelde n adet müşterinin tüm talebini karşılayacak ve müşterileri bir kere ziyaret edecek m adet en kısa mesafeyi katedecek araç rotalarının oluşturulmasıdır.

ARP'nin gerçek hayat uygulamaları birçok kısıtı beraberinde getirmektedir. Bu kısıtlar üç ana grupta toplanabilmektedir [4]:

1. Araçlarla ilgili kısıtlar
 - Araç kapasite kısıtı (ağırlık veya hacim olarak)
 - Toplam zaman kısıtı
 - Sürücünün çalışma saatleri için yasal sınırlamalar
2. Müşteriler ile ilgili kısıtlar
 - Her bir müşterinin bir tür ürün talep etmesi veya belirli çeşitte ürün dağıtılması
 - Dağıtımın yapılabilmesi için belirli zaman aralıklarının bulunması
3. Diğer kısıtlar
 - Aynı araç ile aynı günde, aracın depoya dönerek tekrar yola çıkmasıyla, birden fazla tur yapılması
 - Bir turun bir günden uzun olması
 - Birden fazla depo olması

ARP formülasyonu için literatürde çok sayıda matematiksel model sunulmuştur. ARP'nin genel matematiksel modeli aşağıda verilmektedir [5]:

$$\min Z = \sum_{i,j} c_{ij} \sum_k x_{ijk} \quad (2.1)$$

$$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} 1, & i = 2, \dots, n \\ m, & i = 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\sum_j x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (2.3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \text{tüm } S \subseteq \{2, \dots, n\} \quad k = 1, \dots, m \quad (2.4)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (2.5)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (2.6)$$

Burada;

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & k \text{ aracı } i \text{ düğümünden hemen sonra } j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & k \text{ aracı } i \text{ düğümünü ziyaret ederse} \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$$

m = araç sayısı

n = düğüm sayısı

S = Düğümler setinin alt seti,

|S| = S alt setindeki düğüm sayısı,

Toplam katedilen mesafeyi enküçükleme amacına (2.1) sahip bu modelde; kısıt (2.2) her müşterinin bir araca atanması gerekliliğini ve her rotanın depodan başlamasını ifade eder. Kısıt (2.3), bir müşteriye gelen aracın müşteriye hizmet verip gitmesini sağlar. Kısıt (2.4) ise alt tur engelleme kısıtıdır.

2.1. Araç Rotalama Probleminin Tarihçesi

Araç rotalama problemi literatürde ilk kez Danzig ve Ramser'in 1959'da geliştirilmiş bir gezgin satıcı problemi olarak formüle ettikleri kamyon sevkiyat problemi ile ortaya çıkmıştır. ARP literatüründeki en önemli çalışmalardan biri de Clarke ve Wright'ın (1964) Tasarruf yöntemini sundukları "Araç Çizelgeleme" olarak adlandırdıkları çalışmadır [6]. Çizelge 2.1'de ARP'nin yıllar boyu süregelen gelişimi özetlenmiştir [7]:

Çizelge 2.1. ARP'nin Tarihçesi(1950-1990)

Yıllar	Olaylar
1950'ler	ARP tamsayı program olarak formüle edilmiştir. Küçük problemler (10-20 müşterili) çözülmüştür.
1960'lar	İlk rota oluşturma sezgiselleri önerilmiştir. 2-opt ve 3-opt ARP'ye uygulanmıştır. 30-100 müşterili bazı problemler çözülmüştür.
1970'ler	Birtakım iki aşamalı sezgiseller sunulmuştur Hesaba dayalı etkinlik bir konu haline gelmiştir. Bazı büyük problemler (100-1000 müşterili) çözülmüştür. 25-30 müşterili bazı problemler eniyi yöntemler kullanılarak çözülebilmıştır.
1980'ler	Matematiksel programlama tabanlı prosedürler önerilmiştir. Etkileşimli (insan-makine) sezgiseller geliştirilmiştir. Yaklaşık 50 müşteriye sahip bazı problemler eniyi yöntemler kullanılarak çözülebilmıştır.
1990'lar	Metasezgiseller ARP'ye uygulanmıştır. 50-100 müşterili bazı problemler eniyi olarak çözülebilmıştır.

2.2. ARP çeşitleri

Aşağıda ARP literatürde sıkça rastlanan ARP çeşitlerinden bir kısmından kısaca bahsedilmiştir.

2.2.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP), ARP'nin en temel hali olarak ifade edilebilir. KKARP'ta tüm müşteriler teslimatlara karşılık gelir ve talepler belirlidir, önceden bilinir ve bölünemez. Araçlar özdeştir, tek bir merkez depoya bağlıdır ve araçlar için sadece kapasite kısıtlamaları uygulanır. Amaç, tüm müşterilere hizmet vermek için toplam maliyeti enküçükmektir [8].

2.2.2. Çoklu Depoya Sahip Araç Rotalama Problemi

Birden fazla depoya sahip firmalardan müşterilere dağıtım söz konusu olduğunda çok depolu ARP ortaya çıkar. Çok depolu araç rotalama probleminde (ÇDARP) her bir depodan çıkan araç müşterilere bir kere hizmet verir ve çıktıkları depoya tekrar geri döner.

Eğer müşteriler depoların etrafında kümelenmiş ise, dağıtım problemi ayrı birer ARP olarak modellenebilir. Ama müşteriler ve depoların yerleri birbirlerine karışmış ise, çoklu depoya sahip araç rotalama probleminin çözülmesi gerekmektedir. Bu problemde araçlar depolara atanır ve her bir araç ait olduğu depodan çıkarak müşteriye hizmet verir ve yine aynı depoya geri döner [1].

2.2.3. Periyodik Araç Rotalama Problemi

Standart bir periyodik araç rotalama probleminde (PARP), müşterilerin bir planlama periyodu dahilinde bir veya daha fazla gün ziyarete ihtiyacı vardır ve her müşteri için makul bir ziyaret seçenekleri kümesi vardır [9]. PARP, dağıtımın dışında toplama rotalarının belirlenmesi için de kullanılmıştır. Periyodik ARP'de 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 [10].

2.2.4. Bölünmüş Dağıtım Sahip Araç Rotalama Problemi

Bölünmüş talebe sahip araç rotalama problemleri (BDARP), KKARP'tan farklı olarak müşteri talebinin birden fazla araç aracılığıyla karşılanmasını sağlarlar. BDARP çalışmanın temel konusu olduğundan dolayı 4. Bölümde konu hakkında detaylı bilgi verilecektir.

2.2.5. Stokastik Araç Rotalama Problemi

Stokastik araç rotalama problemi (SARP), problemin bazı özelliklerinin rasgele olması durumunda ortaya çıkar. Stokastik talep ve stokastik zaman genel örnekleridir. Bazen hizmet verilecek müşterilerin de kesin bilinmediği olabilir. Bu gibi bir durumda, her müşterinin varlığı bir olasılığa sahiptir.

2.2.6. Topla Dağıtım Araç Rotalama Problemi

Topla Dağıtım Araç Rotalama Problemi (TDARP) müşterilere dağıtım yapılmasına ek olarak müşterilerden ürün toplanmasını da içerir. Aynı araç hem müşterinin talebini karşılarken hem de müşteriden ürün toplamaktadır. Bu da NP-zor olan ARP'nin çözümünü daha karmaşık bir hale getirmektedir. Her müşteri konumunda teslimatın toplamadan önce yapıldığı varsayılır; bu nedenle bir aracın verilen bir konuma varmadan önceki güncel yükü, başlangıçtaki yükten daha önce teslim edilen tüm taleplerin çıkarılması ve daha önce toplanılan tüm taleplerin toplanması olarak ifade edilir [8].

2.2.7. Uydu Tesisli Araç Rotalama Problemleri

Bir rota boyunca araçları yeniden dolduracak uydu tesislerin kullanımı ARP'nin büyük ölçüde göz ardı edilen bir yönüdür. Mümkün olduğunda yeniden doldurma şoförlerin vardiya sonuna kadar merkez depoya geri dönmeden teslimat yapmalarını sağlar. Bu durum en çok yakıt ve perakende satış dağıtımında meydana çıkar [11]. Talebin belirsiz olduğu durumlarda uydu tesislerin kullanımı faydalı olabilir.

2.2.8. Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi

Zaman pencerele araç rotalama problemi (ZPARP), her müşteriye hizmetin bağlantılı bir zaman penceresinde başladığı ve aracın hizmet sürecince müşterinin konumunda beklediği bir KKARP uzantısıdır [8].

2.2.9. Heterojen Filolu Araç Rotalama Problemi

Heterojen filolu araç rotalama problemi (HFARP), kullanılan araçların homojen olmadığı durumda ortaya çıkar. Bu durumla daha çok gerçek hayat uygulamalarında karşılaşılır. HFARP’de kullanılan araç türlerine ait kapasiteler, sabit ve değişken maliyetler göz önüne alınır.

2.3. ARP Çözüm Yöntemleri

NP-zor problem olan ARP’ler için literatürdeki çözüm yöntemleri kesin yöntemler, sezgisel yöntemler ve metasezgisel yöntemler olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir.

2.3.1. Kesin Yöntemler

Kesin yöntemlerle problemin en iyi sonucuna ulaşılabilir. Ancak kesin yöntemlerle makul sürede çözüme ulaşmak bir NP-zor problem için problem boyutu büyüdükçe zorlaşmaktadır.

ARP için kullanılan kesin çözüm yöntemleri üç genel kategoride sınıflandırılabilir [12]:

- Doğrudan ağaç arama yöntemleri
- Dinamik programlama
- Tamsayılı doğrusal programlama

2.3.2. Sezgisel Yöntemler

Klasik sezgisel yöntemler sınırlı bir çözüm uzayını araştırarak makul bir süre içinde kabul edilebilir, kaliteli sonuçlar üretebilir. Klasik sezgisel yöntemler kendi içinde Tur Kurucu Sezgiseller, İki Aşamalı Yöntemler ve Tur Geliştirici Yöntemler olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir [8]:

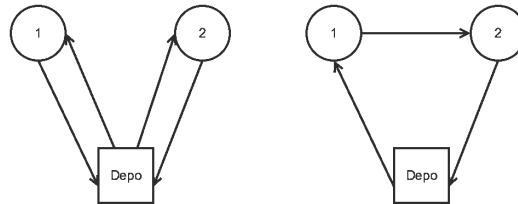
2.3.2.1. Tur Kurucu Sezgiseller

Düğümleri bir tasarruf kriterine göre birleştirmek ve düğümleri araç rotalarına ekleme maliyetine göre atamak olmak üzere iki ana yöntem tur kurucu sezgiseller için kullanılır [8]. Tasarruf Yöntemi ve Sıralı Ekleme Sezgiseli tur kurucu sezgisellere örnek verilebilir.

2.3.2.2. Tasarruf Yöntemi

Clarke ve Wright tarafından 1964 yılında geliştirilen Tasarruf Yöntemi en bilinen tur oluşturma yöntemlerindedir. Uygulaması oldukça kolay olan bu yöntem farklı düğümler arasındaki maliyet tasarruflarını hesaplanmasına dayanır. Tasarruf Yöntemi üzerine birçok çalışma yapılmıştır, bu sebeple yöntemin literatürde farklı çeşitleri mevcuttur.

İşlem bir noktanın başlangıç noktası (depo) olarak alınmasıyla başlar. Başlangıçta bütün müşterilerin depodan ziyaret edildiği varsayılır. Sonra iki alt turun birleştirilmesiyle elde edilen tasarruflar hesaplanır. En büyük tasarruf değerinden başlanarak rotalar birleştirilir. Birleştirilen müşteriler bir tek büyük müşteri olarak kabul edilir. Algoritmanın temel fikri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [5].



Şekil 2.1. Tasarruf Algoritmasının Temel Konsepti

2.3.2.3. İki Aşamalı Yöntemler

İki aşamalı yöntemler “önce kümele - sonra rotala” veya “önce rotala - sonra kümele” şeklinde gerçekleşir. Süpürme yöntemi, Fisher ve Jaikumar algoritması, Bramel ve Simchi-Levi algoritması iki aşamalı önce kümele - sonra rotala sezgisellerindendir.

2.3.2.3.1. Süpürme Yöntemi

Süpürme yöntemi Gillet ve Miller tarafından 1974 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntem düğümlerin depoya olan polar koordinatlarının hesaplanmasıyla başlar. Açısı en düşük müşteriden başlanarak araç kapasitesi dolana kadar ya da enbüyük rota uzunluğuna ulaşılan kadar süpürme işlemi devam eder. Rotalanmamış düğüm kalmayana kadar devam eder.

2.3.2.3.2. Fisher ve Jaikumar Algoritması

Fisher ve Jaikumar algoritması 1981 yılında sunulmuştur. Küme oluşturmak için geometrik bir yöntemin kullanımının yerine, Genel Atama Problemi (GAP) çözümü önerilmiştir. Bu sezgiselde başlangıçta K araç rotası sayısı sabit olarak verilmelidir. Bu sayıya göre kümeler oluşturulduktan sonra düğümlere ait talepler, düğüm ağırlıkları ve araç kapasitesi göz önüne alınarak GAP çözülür. Çözümünden elde edilen kümeler göz önüne alınarak her bir küme için GSP çözülür [8].

2.3.2.3.3. Petal Sezgiseli

Petal sezgiseli ARP için ilk olarak Foster ve Ryan tarafından 1976’da geliştirilmiştir. Yöntem Renaud ve ark. tarafından 1996’da Geliştirilmiş Petal sezgiseli adıyla önerilmiştir. Petal sezgiseli, petal yöntemi ile turların oluşturulması ve küme ayrıştırma yöntemi ile ne iyi seçimin yapılması ile çalışır.

2.3.3. Metasezgisel Yöntemler

Gendreau ve ark. [13] ARP çözümü için geliştirilen meta sezgisel yöntemler aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

1. Karınca Kolonisi Eniyilemesi
2. Genetik Algoritmalar
3. GRASP
4. Tavlama Benzetimi
5. Yasaklı Arama
6. Değişken Komşuluk Arama
7. Hibrid Yöntemler

Bu yöntemlerin bazıları hakkında kısa bilgi verilecek; YA tez kapsamında kullanılacağı için bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanacaktır.

2.3.3.1. Karınca Kolonisi Eniyilemesi

Dorigo ve arkadaşları tarafından 1991 yılında ortaya atılan Karınca Kolonisi Eniyilemesi (KKE), karıncaların beslenme davranışlarından ilham alır. KKE’de bir yapay karınca kümesi incelenmekte olan eniyileme problemine uygun çözüm arar. Her bir karınca yere bıraktıkları feromon salgısı bilgisine bağlı olan kararlar vererek çözüm oluşturur. Bir grup karınca çözüm oluşturduktan sonra, içlerinde en iyi çözüme sahip olan karıncanın takip ettiği yol üzerindeki feromonun artırılması sağlanır. Diğerlerinin yolları üzerindeki feromon belirli bir oranda azaltılır. Durma koşulu sağlanana kadar işlem döngüsel olarak devam eder [14].

2.3.3.2. Genetik Algoritmalar

Birçok alanda uygulaması bulunan Genetik Algoritma (GA) fikri 1960’larda John Holland tarafından ortaya çıkmıştır. GA, evrimsel bir algoritmadır.

GA genel anlamda, dizilerden oluşan bir popülasyona çoğalma, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasını içerir. Bu operatörlerin

uygulanmasından sonra yeni bir popülasyon (yavru popülasyon) oluşur. Yeni popülasyon eski (ebeveyn) popülasyon ile yer değiştirir. Her dizinin bir uyum değeri mevcuttur. Diziler uyum değerlerine göre seçilirler. Ortalama uyum değerinin üzerinde uyuma sahip dizilerin gelecek kuşaklarda temsil edilme olasılığı daha yüksektir. Evrim süreci, popülasyonunun ortalama uyumunu giderek artırır ve ilerleyen kuşaklarda daha iyi uyum değerlerinin elde edilmesini sağlar [15].

2.3.3.3. Tavlama Benzetimi

Adından da anlaşıldığı gibi “Tavlama Benzetimi” (TB) bir metalin soğuyarak ve donarak enküçük enerjili kristal yapısına dönüşmesi (tavlama süreci) ile daha genel bir sistemde enküçüğün araştırılması arasındaki benzerlikten yararlanır.

Herhangi bir katı madde erime noktasını aşınca kadar ısıtılır ve ardından katılaşıncaya kadar soğutulursa, bu katı maddenin yapısal özellikleri soğuma hızına bağlı olarak değişir. Örneğin büyük kristaller çok yavaş soğutulacak olursa gelişmeler gözlenebilirken; hızlı soğutulma neticesinde yapılarında birçok bozulmaları barındırır. Görüldüğü gibi ısıtılan ve ardından belli bir hızla soğutulmuş en iyi biçime ulaştırılmaya çalışılan bir madde, bir sistemdeki parçacık gibi algılanırsa bu tavlama sürecinden TB elde edilmiş olur [14].

3. YASAKLI ARAMA ALGORİTMASI

Yasaklı Arama (YA) algoritması, F. Glover tarafından 1986 yılında ortaya konulmuş bir yerel arama algoritmasıdır, bir üst sezgisel olarak da tanımlanabilir. Temel yaklaşım, son çözüme götüren adımın, dairesel hareketler yaratmasını engellemek için bir sonraki döngüde tekrarların yasaklanması veya cezalandırılmasıdır [14].

Algoritmanın temeli iterasyonun her adımının yasaklı belleği denilen hafıza mekanizmasında tutulması ve bu hafızaya bakılarak önceki çözümlerin yasaklanmasına dayanır.

Çözüm uzayı basit anlamda, arama boyunca düşünülebilecek tüm çözümlerin uzayıdır [16]. Çözüm uzayı olası çözümlerle sınırlandırılabilir. Ancak sadece olası çözümleri ortaya çıkaracak hareketlere izin vermek bazen iyi sonuçlar vermeyebilir. Bu sebeple çözüm uzayını sınırlandırmaktansa mümkün olmayan çözümlerin oluşturulmasına izin vermek daha iyi sonuçlara ulaşmak için gerekli olabilir.

Bir çözümün komşuluğu güncel çözümün basit bir değişikliğinden elde edilen diğer çözümlerin kümesidir [17]. Bir güncel çözümden bir komşu çözüme geçmek için yapılan değişikliğe “hareket” adı verilir. YA algoritmasının her iterasyonunda çözüm uzayında yapılan her hareket o S çözüme ait N(S) komşuluğunu oluşturur.

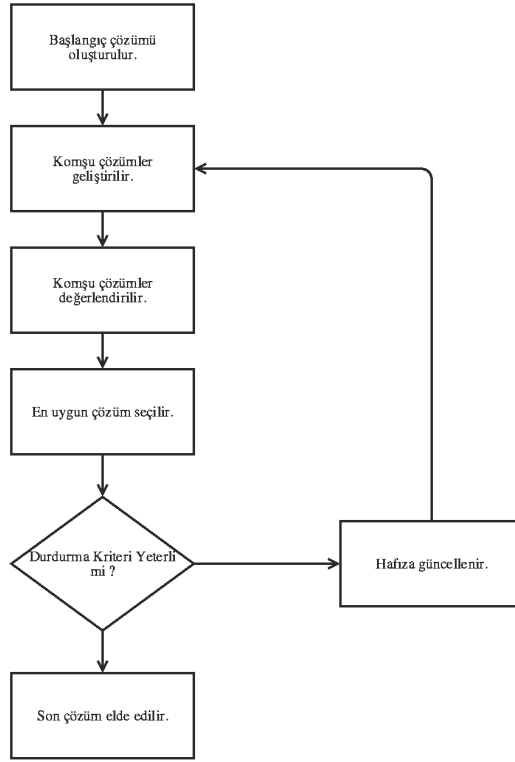
YA, çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Glover 1990 yılında yapmış olduğu çalışmada YA uygulamalarının bir kısmını aşağıdaki gibi sıralamıştır [18]:

- Çalışan/İşçi çizelgeleme
- Enbüyük tatmin edilebilirlik problemleri
- Karakter tanıma
- Mekan planlama ve mimari tasarım
- Telekomünikasyon yolu atama
- Olasılıksal mantık problemleri
- Atölye çizelgeleme
- Sinir ağı desen tanıma

- Makine çizelgeleme
- Konvoy çizelgeleme
- Karesel atama problemleri
- Ağ topolojisi tasarımı
- Bilgisayar kanal dengeleme
- Gezgin satıcı problemleri
- Grafik renklendirme
- Grafik bölme
- Doğrusal olmayan kapsama
- Enbüyük kararlı küme problemleri
- Akış tipi sıralama

3.1. Yasaklı Arama Algoritmasının İşleyişi

YA algoritması, başlangıç çözümünün oluşturulması ile başlar. Problemin çeşidine göre başlangıç çözümü oluşturma yöntemi değişkenlik gösterir. Aday çözüm olarak adlandırılan komşu çözümler belirlenir. Her iterasyonda yasaklı olarak olmayan hareketler yapılarak komşu çözümler değerlendirilir. Eğer elde edilen komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri eldeki çözümden daha iyi bir sonuç sağlıyorsa, komşu çözüm en iyi çözüm olarak alınır. Arama bitirme koşulunun sağlanana ya da belirlenmiş iterasyon sayısı tamamlanana kadar devam eder. Algoritmanın genel akış şeması aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.1. YA Algoritmasının İşleyişi

Teoride arama, en iyi değer önceden bilinmezse sonsuza kadar devam eder. Uygulamada, aramanın bir noktada durdurulması gerekir. YA’da en yaygın kullanılan durdurma kriterleri aşağıdaki gibidir [19]:

- Sabit sayıda iterasyon (ya da sabit CPU zamanı miktarı)
- Amaç fonksiyonu değerinde gelişme gösterilmeyen iterasyon sayısı
- Amaç daha önceden belirlenmiş eşik değerine ulaşma

YA, ARP için en iyi sezgisellerden biri olarak öne çıkmaktadır [16]. Literatürde ARP çözümü için çok sayıda YA algoritması geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlileri Gendreau ve ark. geliştirdiği Taburoute; Osman, Taillard, Xu ve Kelly, Rego ve Roucairol, Barbarasoglu ve Ozgur, Rochat ve Taillard, Toth ve Vigo tarafından geliştirilmiş YA algoritmalarıdır [59].

4. BÖLÜNMÜŞ DAĞITIMA SAHİP ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

Bölünmüş dağıtıma sahip araç rotalama problemi (BDARP), bir müşteriye birden fazla aracın servis verebilmesine olanak sağlayan özel bir araç rotalama problemi çeşididir. BDARP, klasik ARP'nin müşteri ziyaret kısıtının esnetilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Bu esnetilmeye rağmen problem, hesaplama açısından zor olmaya devam etmektedir. Bölünmüş dağıtıma imkan vermek, hem seyahat edilen toplam mesafede hem de gerekli araç sayısında anlamlı bir tasarruf sağlayabilir [20].

Müşteri talebinin araç kapasitesini aştığı ve müşterinin birden fazla kez ziyaret edilmesi gerektiği problemler BDARP olarak tanımlanabilir. NP-zor olarak tanımlanan BDARP, birçok gerçek hayat probleminin tanımlanmasında kullanılmıştır. Archetti ve Speranza [21] BDARP'nin zaman pencere, topladağıt, kar enbüyüklemesi, heterojen filolu, stokastik, kesikli talep gibi çeşitleri olabileceğini de belirtmişlerdir.

4.1. Literatürdeki BDARP Modelleri

BDARP sıfırın depoyu ifade ettiği $V = \{0,1,2,\dots,n\}$ olan düğümler kümesi ve E ayrıtlar kümesinden oluşan $G = (V,E)$ serimi olarak tanımlanır. Düğümler arasındaki maliyet ya da mesafe olarak tanımlanan c_{ij} pozitif tamsayıdır. Depo harici her i müşterisinin talebi d_i olarak gösterilir. Q kapasitesine sahip araçlar sınırsız sayıdadır. Ancak araçların sayısı m değeri için alt sınır tüm müşterilere ait taleplerin toplamının araç kapasitesine oranı olarak belirlenebilir.

$$m = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{Q} \quad (4.1)$$

Çalışma kapsamında Archetti ve ark. [22] ve Jin ve ark.'ın [23] sunduğu iki model incelenmiştir.

Archetti ve ark. sunduğu tamsayı BDARP modeli aşağıdaki gibidir [22]:

$$x_{ijv} = \begin{cases} 1, & v \text{ aracı } i. \text{ düğümünden } j. \text{ düğüme gidiyorsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

$y_{iv} = i. \text{ düğümün } v \text{ aracıyla karşılanan talep miktarı}$

$$\text{Min} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m c_{ij} x_{ijv} \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^m x_{ijv} \geq 1 \quad j = 0, \dots, n \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ipv} - \sum_{j=0}^n x_{p jv} = 0 \quad p = 0, \dots, n; \quad v = 1, \dots, m \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijv} \leq |S| - 1 \quad v = 1, \dots, m; \quad S \subseteq V - \{0\} \quad (4.5)$$

$$y_{iv} \leq d_i \sum_{j=0}^n x_{ijv} \quad i = 1, \dots, n; \quad v = 1, \dots, m \quad (4.6)$$

$$\sum_{v=1}^m y_{iv} = d_i \quad i = 1, \dots, n \quad (4.7)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{iv} \leq Q \quad v = 1, \dots, m \quad (4.8)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\} \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 0, \dots, n; \quad v = 1, \dots, m \quad (4.9)$$

$$y_{iv} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n; \quad v = 1, \dots, m \quad (4.10)$$

Amaç fonksiyonu olan eşitsizlik (4.2), toplam seyahat edilen mesafeyi enküçükleme demektir. Kısıt (4.3), (4.4) ve (4.5) kısıtlar klasik rotalama

kısıtlarıdır. Kısıt (4.3) her bir düğümün en az bir kere ziyaret edilmesini sağlar. Kısıt (4.4) akış koruma kısıtı, kısıt (4.5) ise alt tur engelleme kısıtıdır.

Kısıt (4.6), (4.7) ve (4.8) müşteri taleplerinin araçlar arasında tahsisini sağlar. Kısıt (4.6), bir i müşterisinin v araçından hizmet alabilmesi için v aracının i müşterisinden geçmesi gerektiğini belirtir. Kısıt (4.7) her müşterinin talebinin tam olarak karşılanmasını sağlarken, Kısıt (4.8) her araç tarafından taşınan miktarın araç kapasitesini aşmasını engeller.

Jin ve ark. oluşturduğu tamsayıli matematiksel model aşağıdaki gibidir [23]:

$$x_{ijv} = \begin{cases} 1, v \text{ aracı } i. \text{ düğümünden } j. \text{ düğüme giderse} \\ 0, \text{ dd.} \end{cases}$$

$$y_{iv} = \begin{cases} 1, v \text{ aracı } i. \text{ düğümü ziyaret ederse } (y_{ov} = 1) \\ 0, \text{ dd.} \end{cases}$$

$w_{iv} = i. \text{ düğümünün } v \text{ aracı tarafından karşılanan talep miktarı}$

$$Enk \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N c_{ij} \sum_{v=1}^M x_{ijv} \quad (4.11)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{ijv} = \sum_{j=0}^N x_{jiv} = y_{iv} \quad i = 0,1, \dots, N, v = 1,2, \dots, M \quad (4.12)$$

$$u_{iv} - u_{jv} + (N + 1)x_{ijv} \leq N \quad i, j = 1,2, \dots, N, v = 1,2, \dots, M \quad (4.13)$$

$$w_{iv} \leq d_i y_{iv} \quad i = 0,1,2, \dots, N, v = 1,2, \dots, M \quad (4.14)$$

$$\sum_{v=1}^M w_{iv} = d_i \quad i = 0,1,2, \dots, N \quad (4.15)$$

$$\sum_{i=1}^N w_{iv} \leq Q \quad v = 1, 2, \dots, M \quad (4.16)$$

$$y_{iv}, x_{ijv} \in \{0, 1\}, \quad w_{iv}, u_{iv} \geq 0 \quad (4.17)$$

Amaç fonksiyonu (4.11) toplam katedilen mesafeyi enküçükler. Kısıt (4.12) akış kısıtı, kısıt (4.13) alt tur engelleme kısıtıdır. Kısıt (4.14) bir aracın bir talep noktasına hizmet verebilmesi için talep noktasının araç tarafından ziyaret edilmesi gerektiğini ifade eder. Kısıt (4.15) her talep noktasının talebinin tamamen karşılanmasını garanti ederken, kısıt (4.16) araç kapasitesinin korunumunu sağlar.

4.2. BDARP'nin Tarihçesi

Bölünmüş dağıtıma sahip araç rotalama problemi yakın bir tarihte literatüre girmiştir. BDARP ilk kez 1989 yılında Dror ve Tredau'nun [20] yapmış olduğu çalışma ile ortaya çıkmıştır ve bu çalışmada bölünmüş dağıtıma izin vermenin toplam katedilen mesafede ve gerekli araç sayısında önemli tasarruflar ile sonuçlanacağı öne sürülmüştür. Aynı çalışmada BDARP çözümü için iki aşamalı bir çözüm sezgiseli ortaya konulmuştur. Dror ve ark. [24] 1990 yılında yapmış olduğu bir başka çalışmada BDARP tamsayı doğrusal model ile formüle etmiş ve dal sınır yönteminin üzerine çalışılmıştır.

Mullaseril ark. [25] yaptığı çalışmada, bir gerçek hayat hayvan yemi dağıtım problemi Dror ve Tredau'nun önerdiği sezgiselin bir adaptasyonu ile çözüme ulaştırılmıştır.

2000'li yılların başlarında Beleunger ve ark. [26] küçük çaplı BDARP çözümleri için kesme algoritması, daha büyük BDARP çözümleri için ise dal-sınır algoritması önerirken; Ho ve Haugland [27] tarafından çalışılan zaman pencereci BDARP'ye YA algoritması ile çözüm getirilmiştir.

2000'li yılların ortasında doğru literatürdeki BDARP çalışmaları artış göstermiştir. Bu yıllarda Lee ve ark. [28] ise müşterilerden bölünmüş toplama üzerine çalışmışlardır ve problem için deterministik bir dinamik programlama

modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada bu formülasyon ile en kısa yol arama algoritması temelli bir çözüm önerilmiştir.

BDARP konusunda birçok çalışmaya sahip olan Cladua Archetti ve ark. [22] BDARP için bir YA sezgiseli ile yaklaşım geliştirmişlerdir. Archetti ve ark. [29] 2006'da yapmış oldukları başka bir çalışmada BDARP için en kötü durum analizi ile bölünmüş dağıtım izin vermenin maliyette azami %50 tasarruf sağlayacağını göstermişlerdir. Yine aynı yıllarda Archetti ve Speranza [30] BDARP ile ilgili tanıtıcı bilgiler, BDARP'nin ARP ile karşılaştırması, BDARP çözümünde kullanılan sezgiselleri yaptıkları çalışma ile sunmuşlardır.

2000'li yılların sonlarına doğru, Nakao ve Nagamochi [31] çok ürünlü ve her ürünün yalnız bir rotada taşınacağı kesikli bir BDARP üzerinde çalışmışlardır. Çözüm için dinamik programlama temelli hızlı bir sezgisel önermişlerdir.

Jin ve ark. [23] ise BDARP çözümü için valid inequalities (geçerli eşitsizlikler) ile iki aşamalı bir algoritma önermişlerdir. BDARP, kümeleme ve rotalama olmak üzere iki alt kümeye bölünmüştür. Birinci aşamada tüm talebi içeren ve bir alt sınır belirleyen kümeleme yöntemi kullanılırken, ikinci aşamada her küme için gezgin satıcı problemi (GSP) çözülerek seyahat edilen toplam enküçük mesafe elde edilmiştir.

Bir genetik algoritma ve bir yerel arama prosedürünü içeren Popülasyon Yönetimi ile Memetik Algoritma adını verdikleri metasezgisel çözüm yaklaşımını öne süren Boudia ve ark. [32] Archetti'nin YA ve Beleunger'in alt sınır çalışmalarından üstün sonuçlar elde etmişlerdir.

Zaman pencereli, bölünmüş dağıtım ve toplama özelliklerine sahip bir gerçek hayat probleminin çözümü için Thangiah ve ark. [33] dağıtım aşaması için çoklu ekleme sezgiseli önermişlerdir.

Kuzey Denizi'nde helikopterlerin rotalanmasını içeren çalışmalarında Chen ve ark. [34] karma tamsayı programlama ve kayıttan kayıta seyahat (record-to-record travel) algoritmasını birleştiren yeni bir sezgisel önermişlerdir. Jin ve ark. [23] BDARP'ye bir sütun türetme yaklaşımı geliştirmişlerdir. Mitra'nın [35] yapmış olduğu çalışmada toplamalı bir BDARP çeşidi incelenmiştir. Problem karma tamsayı model ile tanımlanmış ve çözümü için kümelemeye dayanan bir sezgisel geliştirilmiştir.

Campos ve ark. ise [36] BDARP'ye dağılım arama (scatter search) yöntemi temelli bir algoritma önermişlerdir. Dağılım arama yöntemi ile heterojen filolu, zaman pencereli ve bölünmüş dağıtımlı bir gerçek hayat araç rotalama problemine çözüm getiren Belfiore ve ark. [37] firmanın oluşturduğu rotalara göre toplam dağıtım maliyetini önemli ölçüde düşürdüklerini öne sürmüşlerdir.

Archetti ve ark. [38] rota oluşturma, rota sıralama ve rota eniyileme olmak üzere üç aşamadan oluşan eniyileme tabanlı bir yöntem önerirken, aynı çalışma grubu yapmış olduğu bir başka çalışmada [39] dağıtım bölmenin fayda sağlayacağı dağıtım çevreleri karakterize edilmiştir. Ortalama müşteri talebi araç kapasitesinin yarısından biraz fazla olduğunda ve müşteri talebi varyansı kısmen düşük olduğunda en büyük fayda elde edileceği ortaya çıkmıştır. ARP ve BDARP'nin sayısal karmaşıklığını ortaya koyan çalışmanın sonucunda BDARP'yi çözmenin ARP'yi çözmekten daha zor olmayabileceğini ortaya koymuşlardır.

Archetti ve ark. [40] tarafından sunulmuş bir başka çalışmada sütun türetme yönteminin avantajlarını alan dal-fiyat ve kesme algoritması ile BDARP'ye sezgisel bir çözüm geliştirilmiştir.

Gulczynski ve ark. [41] müşteri talebinin asgari kısmının karşılandığı durumda talebin bölünmesine izin verilen enküçük dağıtım miktarlı BDARP'yi karma tamsayı program ile formüle etmiş ve modele gelişmiş kayıttan kayıda seyahat (record-to-record travel) algoritması ile kaliteli sonuçlar elde etmişlerdir.

2010'lu yıllarda da BDARP gerçek hayat durumlarına uygunluk gösterdiğinden literatürde popülaritesini korumuştur. Bölünmüş dağıtımlı heterojen ARP üzerine bir çalışma yapan Özfirat ve Özkarahan [42] bir perakende zincirinin taze ürün dağıtımını ele almışlardır. Problemin çözümü için önce kümeleme sonra rotalama şeklinde iki aşamalı bir sezgisel sunmuşlardır.

Bolduc ve ark. [43] üretim ve talep takvimine sahip bir BDARP modeli çözümüne YA sezgiseli geliştirmişlerdir.

BDARP'ye rota açılı kontrol mekanizması adını verdikleri ve uyarlamalı hafıza yaklaşımının birleşimini içeren bir çözüm öneren Aleman ve ark. [44] yaptıkları çalışmada BDARP literatürüne yönelik detaylı bilgi paylaşmışlardır.

Önce kümele sonra rotala yöntemi ile başlangıç çözümü oluşturan Derigs ve ark. [45] iyileştirme aşaması için özellik tabanlı tepe tırmanma sezgiseli oluşturmuşlardır ve [30] çalışmasının sonuçları ile karşılaştırma yapmışlardır.

Suarez ve Anticona [46] BDARP çözümü için bir GRASP sezgiseli önerirken; Moreno ve diğerleri [47] ise BDARP için alt sınır belirleyen sütun ve kesme türetme yöntemlerinin birleşimi olan bir algoritma üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmayla, literatür problemleri için en iyi alt sınır değerleri elde edilmiştir.

Çok depolu BDARP üzerine bir çalışma yapan Gulczynski ve ark. [48] çalışmalarında tamsayı programlama temelli bir sezgisel sunmuşlardır.

Vacca ve Salani [49] zaman pencereli kesikli BDARP modelini Danzig-Wolfe ayrıştırması ile problemi ana ve alt problem olmak üzere ikiye böldükten sonra ana problemi sütun türetme yöntemiyle, alt problemi ise dal ve kesme algoritması ile çözmeye çalışmışlardır.

Wilck ve Cavalier [50] BDARP'yi kendileri geliştirdiği iki aşamalı bir sezgisel ile çözmeye çalışmışlardır. Başka bir çalışmalarında Wilck ve Cavalier [51] BDARP çözümü için genetik algoritmalarından faydalanmışlardır. İki hibrid genetik algoritma kullanan yazarlar, [52] çalışmasında geliştirilen sütun türetme yaklaşımı ve [34] çalışmasında geliştirilen iki aşamalı yöntemle karşılaştırma yapmıştır.

Archetti ve Speranza'nın [21] yaptığı bir başka çalışma BDARP ve çeşitleri hakkında detaylı bilgiye yer veren bir araştırmadır.

Bir geçek hayat kargo taşımacılığı problemi üzerinde çalışan Tang ve ark. [53] kargo ağırlıklarını göz önüne alan bir enbüyük enküçük karınca sistemi algoritması geliştirmişlerdir.

Heterojen araç filosuna sahip ve bölünmüş dağıtımına izin verilen müşteri talebinin çok çeşitli olduğu bir enküçük-enbüyük araç rotalama problemi üzerinde çalışan Yakıcı ve Karasakal [54] ilk aşamasında sütun türetme tabanlı bir başlangıç çözümü oluşturan ve geliştirme aşamasında enbüyük süreye sahip rotaların talebini bölen bir sezgisel önermişlerdir. Berbetto ve ark. [17] ise, klasik BDARP çözümü için rassal tanecikli YA yöntemi üzerinde çalışmışlardır.

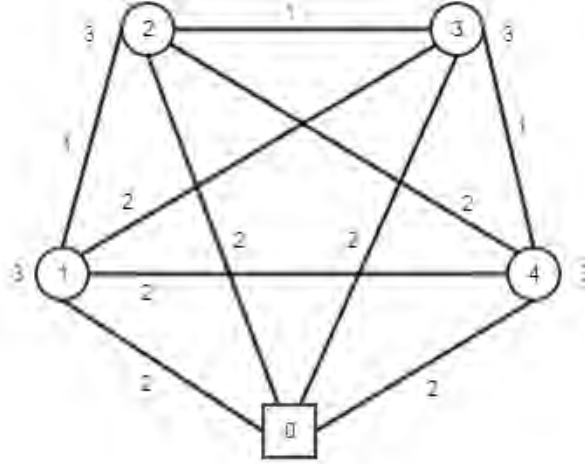
Xiong ve ark. [55] farklı bir BDARP çeşidi olan BDARP-Enküçük Dağıtım Miktarları üzerine çalışmışlardır. Problem, bir müşteriye her araçta en az

müşteri talebinin enküçük ölçeği dağıtıldığında bölünmüş dağıtıma izin verir. Çalışmada BDARP-Enküçük Dağıtım Miktarları için en kötü durum analizi yapılmış ve tasarruf elde edilebilecek bir ölçek aralığı belirlenmiştir.

Nishi ve Izuno [56] ise ham petrol taşımacılığı için ele aldıkları bölünmüş talepli gemi rotalama ve çizelgeleme problemleri için sütun türetme yöntemi kullanmışlardır.

4.3. Örnek Problem

Depo dahil beş şehir bulunan bir araç rotalama problemine ait serim aşağıda verilmiştir [22]:



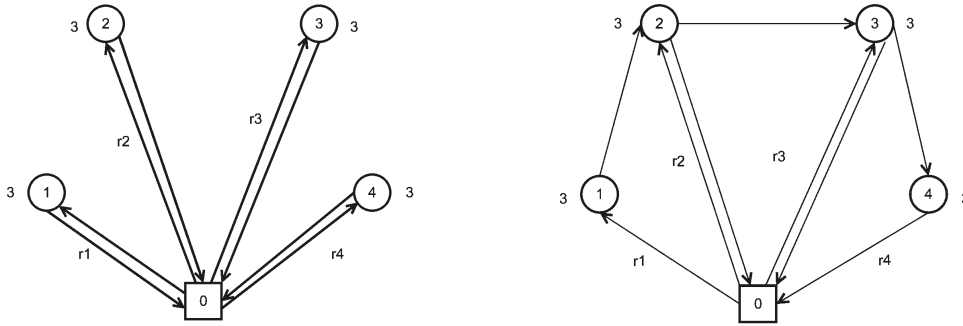
Şekil 4.1. Örnek probleme ait serim

Depo (0) hariç tüm şehirler (1, 2, 3, 4) 3 birim talebe sahiptir ve araç kapasitesi 4 birimdir. Problem 4-BDARP olarak adlandırabilir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi simetrik uzaklıklar üçgen eşitsizliğini sağlamaktadır. Uzaklık matrisi aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4.1. Örnek probleme ait uzaklık matrisi

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

Problem talebin rotalar arasında bölünmemesi ve bölünmesi durumlarının her ikisi için de çözülmüştür. Talebin bölünmediği durumda geliştirilen ilk uygun çözüm her rotada bir talep noktasının ziyaret edilmesi şeklinde elde edilmiştir. Bu durumda amaç fonksiyonun 16 birim olarak elde edilir. Talep bölünebilirliğine izin verildiğinde her rotada bir talep noktası tüm talebi karşılanacak ve bu talep noktasından sonraki bir talep noktasının 1 birim talebi karşılanacak şekilde rotaya dahil edilmeleri sağlanırsa en iyi amaç fonksiyonu değeri 15 birime ulaşılabilir.



Şekil 4.2. Talep bölünmeden ve bölünerek elde edilmiş çözüm

5. YASAKLI ARAMA YÖNTEMİ İLE BDARP’NİN ÇÖZÜMÜ

5.1 Problemin Tanıtımı

Uygulama yeri olan kurum Türkiye’nin her ilinde bir veya birden fazla talep noktası bulunan bir dağıtım ağına sahiptir. Eskişehir’de bulunan ana depodan talep noktalarına yılda iki kez ürünler sevk edilir.



Şekil 5.1. Müşterilerin Türkiye'ye Dağılımı

Ürünler ağırlıkları bakımından birbirinden farklılık göstermektedir. Dağıtım duruma göre kuruma ait 15 ton kapasiteli 4 özdeş araçla ya da kurum dışı araçlarla yapılmaktadır. Aşağıdaki çizelgede 2012 yılından itibaren talep noktaları ve ürün çeşidi sayısı özetlenmektedir:

Çizelge 5.1. Dağıtım Dönemleri Bazında Talep Noktaları ve Ürün Çeşidi Bilgisi

Dağıtım Dönemi	Talep Noktası Sayısı	Ürün Çeşidi Sayısı
2012 Ağustos	102	553
2013 Ağustos	104	391
2013 Ocak	106	582
2014 Ağustos	106	377
2014 Ocak	103	405
2015 Ocak	106	390

Müşteri talepleri araç kapasitesinden oldukça fazladır. Bir müşteri birden fazla kez hizmet alabilmektedir. Mevcut sistemde, talep noktalarına dağıtım için rota kurucu bir algoritma kullanılmamaktadır.

5.2 Problem Varsayımları ve Matematiksel Modeller

Ele alınan gerçek hayat probleminde bazı müşterilerin talepleri araç kapasitesini aşmaktadır. Bir müşteriye birden fazla servis yapılması gerektiğinden problem BDARP olarak formüle edilmiştir.

Problemin matematiksel modelini oluşturmak için kabul edilen varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Uzaklık matrisi simetriktir.
- Talep noktalarından dönüşte ürün toplama yapılmamaktadır.

Problemin tanımlanmasında Archetti ve ark. [22] çalışmasında yer alan tamsayı model temel alınmıştır. Birden fazla ürünün dağıtımı söz konusu olduğundan araç kapasitesi kısıtı güncellenmiş ve modele ürün indisi eklenmiştir.

5.2.1 Kümeler, Parametreler ve Karar Değişkenleri

Modelde kullanılan kümeler aşağıdaki gibidir:

$i = 0,1,2, \dots, N$; Müşteriler

$j = 0,1,2, \dots, N$; Müşteriler

$v = 1,2, \dots, m$; Araçlar

$k = 1,2, \dots, q$; Ürünler

Parametreler;

c_{ij} = i . müşteri ile j . müşteri arasındaki mesafe (maliyet)

d_{ik} = i . müşterinin k . üründen talep miktarı

g_k = k . ürünün ağırlığı

Q = Araç kapasitesi

Modelde kullanılan karar değişkenleri ise aşağıdaki gibidir:

$$x_{ijv} = \begin{cases} 1, v. araç i. müşteriden j. müşteriye gidiyorsa \\ 0, dd \end{cases}$$

y_{ikv} = v . aracın i . müşterinin k . ürün talebini karşıladığı miktar

u_{ik} = alt tur engelleme kısıtı için sürekli reel değişken

5.2.2 Çok Ürünlü BDARP Modeli

$$Enk \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m c_{ij} \times x_{ijv} \quad (5.1)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^m x_{ijv} \geq 1, \quad j = 0, \dots, n \quad (5.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ojv} = 1, \quad v = 1, \dots, m \quad (5.3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ipv} - \sum_{j=0}^n x_{p jv} = 0, \quad p = 0, \dots, n; \quad v = 1, \dots, m \quad (5.4)$$

$$u_{iv} - u_{jv} + (N + 1)x_{ijv} \leq N \quad i, j = 1, 2, \dots, N; \quad v = 1, 2, \dots, m \quad (5.5)$$

$$y_{ikv} \leq d_{ik} \sum_{j=0}^n x_{ijv} \quad k = 1, \dots, q; \quad i = 1, \dots, n; \quad v = 1, \dots, m \quad (5.6)$$

$$\sum_{v=1}^m y_{ikv} = d_{ik} \quad k = 1, \dots, q; \quad i = 1, \dots, n \quad (5.7)$$

$$\sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n y_{ikv} \times g_k \leq Q \quad v = 1, \dots, m \quad (5.8)$$

Amaç fonksiyonu (5.1) toplam katedilen mesafeyi en küçükler. Kısıt (5.2) her bir müşterinin en az bir kere ziyaret edilmesini sağlar. Kısıt (5.3) her aracın tura depodan başlamasını ifade eder. Kısıt (5.4) her aracın hizmet verdiği düğümü terk etmesini sağlayan ARP'nin klasik akış kısıtı iken; Kısıt (5.5) ise alt tur engelleme kısıtıdır. Kısıt (5.6) her bir müşterinin talebi araç ilgili şehirden geçerse karşılanabilir anlamına gelir. Her bir müşterinin talebinin tamamen karşılanmasını kısıt (5.7) sağlar. Kısıt (5.8) ise her bir rotada araç kapasitesinin aşılması gerektiğini ifade eder.

Üzerinde çalışılan problem, literatürdeki birçok BDARP'den ürün çeşitliliği açısından farklıdır. Ürünlerin ağırlıkları dışında aralarında hiçbir fark ya da öncelik durumu yoktur. Ürün ağırlıkları araç kapasitesinin korunumu ve müşteri taleplerinin tam olarak karşılanması kısıtlarına etki etmiştir.

Talep noktaları arası mesafe gerçeğe en yakın olması amacıyla Google Haritalar'dan elde edilmiştir. Google Haritalar API aracılığıyla koordinatlar girilerek gerçek uzaklıklara ulaşılmıştır.

2012 Ağustos dönemine ait 102 müşteri ile bu müşterilere ait 550 ürün talep verileri yukarıda bahsedilen matematiksel model aracılığıyla GAMS'de çözülmeye çalışılmış ancak istenilen süre içerisinde sonuç alınamadığından metasezgisel çözüm yöntemlere başvurulmuştur. Metasezgisel çözüm yöntemi olarak seçilen Yasaklı Arama aşamaları ayrıntılı olarak Bölüm 5.3'te anlatılacaktır.

5.2.3 Heterojen Filolu Model

Kurum, son iki dönemde dağıtım işlemleri için bir dağıtım firmasından destek almıştır. Firmanın kamyon ve tır olmak üzere iki tür araç kullanması üzerine problem heterojen filolu bölünmüş dağıtımlı araç rotalama problemine dönüşmüştür.

Talep noktalarının buldukları konuma göre kabul edebildikleri araçlar farklılık gösterebilmektedir. Heterojen filolu model sayesinde talep noktalarının araç istekleri de göz önüne alınabilecektir.

Bu dönüşüm için firmanın her iki türden limitsiz sayıda aracı olduğu varsayılmıştır. Araç sayısı olarak tanımlanan “v” kümesi araç türü kümesi olarak güncellenmiştir. Araç türlerine ait sabit maliyet f_v , araç kapasitesi Q_v olarak tanımlanmıştır ve x_{ijv} ve y_{iv} karar değişkeninin tanımları aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir:

$$x_{ijv} = \begin{cases} 1, v. \text{ tür araç } i. \text{ düğümden } j. \text{ düğüme gidiyorsa} \\ 0, \text{ dd.} \end{cases}$$

$y_{iv} = v. \text{ tür aracın } i. \text{ müşterinin talebini karşıladığı miktar}$

Heterojen filolu BDARP genel modeli aşağıdaki gibidir:

$$Enk \sum_{v=1}^m f_v \sum_{j=0}^n x_{0jv} + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m c_{ij} x_{ijv} \quad (5.9)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^m x_{ijv} \geq 1, \quad j = 0, \dots, n \quad (5.10)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ipv} - \sum_{j=0}^n x_{p jv} = 0, \quad p = 0, \dots, n; \quad v = 1, \dots, m \quad (5.11)$$

$$u_{iv} - u_{jv} + (N + 1)x_{ijv} \leq N \quad i, j = 1, 2, \dots, N; \quad v = 1, 2, \dots, m \quad (5.12)$$

$$y_{ikv} \leq d_{ik} \sum_{j=0}^n x_{ijv} \quad k = 1, \dots, q; \quad i = 1, \dots, n; \quad v = 1, \dots, m \quad (5.13)$$

$$\sum_{v=1}^m y_{ikv} = d_{ik} \quad k = 1, \dots, q; \quad i = 1, \dots, n \quad (5.14)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q y_{ikv} \times g_k \leq Q_v \quad v = 1, \dots, m \quad (5.15)$$

BDARP modelinden farklı olarak amaç fonksiyonu (5.9) araç maliyeti ve katedilen mesafe maliyetinin toplamını enküçükler. Kısıt (5.16) ise her rotada kullanılan araç türünün kapasitesinin aşılmaması gerektiğini ifade eder.

5.3 BDARP'nin YA Algoritması ile Çözümü

BDARP için de YA algoritmaları uygulamaları yapılmıştır. Ho ve Haugland [27], Archetti ve ark. [22], Berbetto ve ark. [17] BDARP için farklı YA uygulamaları sunmuşlardır. Bolduc ve ark. [43] ise üretim ve talep takvimleri içeren bir BDARP için YA uygulaması önermiştir. Yapılan çalışmada yukarıda bahsedilen dört çalışmadan faydalanılmıştır. Önerilen sezgisel üç aşama içerir:

- Başlangıç çözümü aşaması
- Yasaklı Arama aşaması
- Geliştirme aşaması

5.3.1. Başlangıç çözümü aşaması

Müşteri talebinin araç kapasitesinden fazla olduğu durumlarda başlangıç çözümü oluşturmak için, ilk olarak her bir düğüme mümkün olduğunca çok direktur düzenlenerek problem indirgenmelidir [22]. Müşteri talebinin araç kapasitesini aşmadığı durumlarda direktur rota oluşturma adımına geçilir. Talep indirgemesi aşaması adımları aşağıdaki gibidir:

1. Her bir talep noktasının toplam talebi araç kapasitesine bölünerek direk tur sayısı belirlenir.
2. Birden çok ürünün söz konusu ise;
 - a. Direk tur düzenlenecek her müşterinin ürün talepleri küçükten büyüğe sıralanır.
 - b. En düşük talep miktarından başlanarak araç kapasitesi aşılmadan belirlenmiş direk tur sayısı kadar ilgili müşteriye direk tur oluşturulur ve sevkedilen miktarlar müşteri talebinden düşürülür.
3. Tek çeşit ürün varsa;
 - a. Müşteriye direk tur düzenlenir.
 - b. Müşteriye ait talep miktarı sevkedilen miktar olan araç kapasitesi kadar düşürülür.

Ürün çeşitliliğini azaltmak için öncelikle direk turların, daha sonra rotaların oluşturulmasında müşterinin en küçük talebe sahip ürününden başlanarak araçlar doldurulmuştur. Böylece rotaların oluşturulması aşamasında daha az türde ürün ile işlem yapılabilecektir.

4. Kalan müşteri talebi sıfıra eşit olan müşteriler dağıtım yapılacak müşteri listeden çıkarılır.

Müşteri talepleri indirgendikten sonra kalan müşteriler arasında rotaların oluşturulması aşamasına geçilir. Rotaların oluşturulması aşamasında rassal ve en yakın komşuluk (EYK) sezgiseli olmak üzere iki şekilde oluşturulmuştur.

Rassal ve en yakın komşuluk sezgiseli rota oluşturma aşamasında belirlenen talep bölme katsayısı aracılığıyla bölünmüş dağıtımın başlangıç çözümüne yansması sağlanmıştır. Müşteri talebinin araç kapasitesinden daha az ve fazla olduğu durumlar için talep bölme katsayısı kullanılmıştır ve bu katsayı 0.5 ya da 0.75 olarak ayarlanmıştır.

Başlangıç çözümü EYK sezgiseline göre aşağıdaki adımlar ile oluşturulmuştur:

1. Tüm müşteriler rotalanana kadar aşağıdaki adımlar gerçekleştirilir:

- a. Rotaya depodan başlanır ve araç kapasitesi dolana kadar;
 - i. Rotalanan mevcut müşteriye en yakın mesafedeki düğüm rotaya eklenir.
- b. Araç kapasitesi doluysa yeni bir rota açılır ve “a” adımına devam edilir.

5.3.2. Yasaklı Arama Aşaması

Başlangıç çözümü ile elde edilen rotalar kümesi ve müşterilerin rotalarda karşılanan talep miktarları girdi olarak kullanılmıştır. Kullanılan YA bileşenleri detaylı olarak açıklanacaktır.

5.3.2.1. Amaç fonksiyonu

Tamsayılı modelde kullanılan aşağıdaki amaç fonksiyonu aday çözümlerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=0}^m c_{ij} x_{ijv} \quad (5.16)$$

Komşuluklar oluşturulurken araç kapasitesi aşımına izin verilmiştir ancak bu istenmeyen bir durum olduğundan aşılın kapasite miktarı ile ceza katsayısı çarpılarak ceza maliyeti olarak amaç fonksiyonuna eklenmiştir. s çözümünde aşılın toplam kapasite miktarı Ov ve ceza katsayısı α olmak üzere amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde güncellenmiştir:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=0}^m c_{ij} x_{ijv} + \alpha Ov \quad (5.17)$$

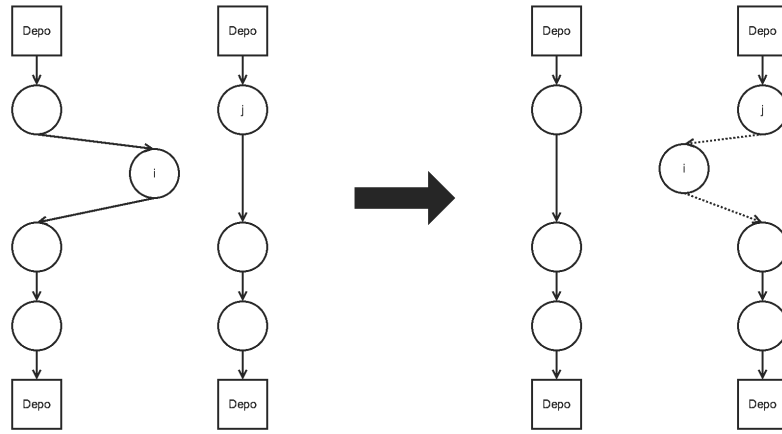
α parametresi problemdeki uzaklık matrisine göre olabildiğince büyük bir değer olarak belirlenmiştir.

5.3.2.2. Komşuluk Yapısı

Arama aşamasında yerini değiştirme (relocate), yer değiştirme (swap) ve 2-Opt olmak üzere üç tür hareket mekanizması kullanarak komşuluklar oluşturulmuştur. Komşuluklar oluşturulurken ele alınan iki rotada, başlangıç çözümü esnasında talebin bölünebilmesine izin verildiğinden ortak müşteriler bulunabilir. Bu durumda ortak müşterilere ait bölünmüş talepler birleştirilir ve müşterinin yer aldığı rotaya göre güncellenir.

5.3.2.2.1. Yerini Değiştirme (Relocate)

Bu hareket tüm rotalarda yer alan tüm müşteriler için yapılır. Herhangi bir R_K rotasındaki i . müşteri bulunduğu rotadan alınarak diğer bir rota olan R_L 'deki j . müşterinin arkasına eklenir. Başka rotaya taşınan i . müşterinin birinci rotada karşılanan talep miktarı taşındığı rotaya kaydırılır. Taşınan i müşterisinin tekrar R_K rotasına eklenmesi yasaklı olarak tanımlanır. Yer değiştirme operatörüne ait yasaklı listesi Y_Y olarak tanımlanırsa $Y_Y(i, R_K) > 0$ olarak tanımlanır [27].

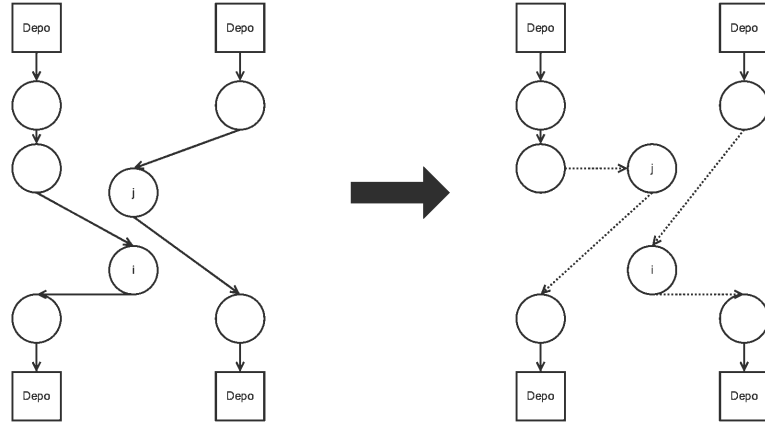


Şekil 5.2. Relocate Hareketi

5.3.2.2.2. Yer değiştirme (Swap)

Yer değiştirme operatörü bir R_K rotasında yer alan i . müşteri ile başka bir R_L rotasında yer alan j . müşterinin yerini değiştirilmesini sağlar. Bu hareket ile

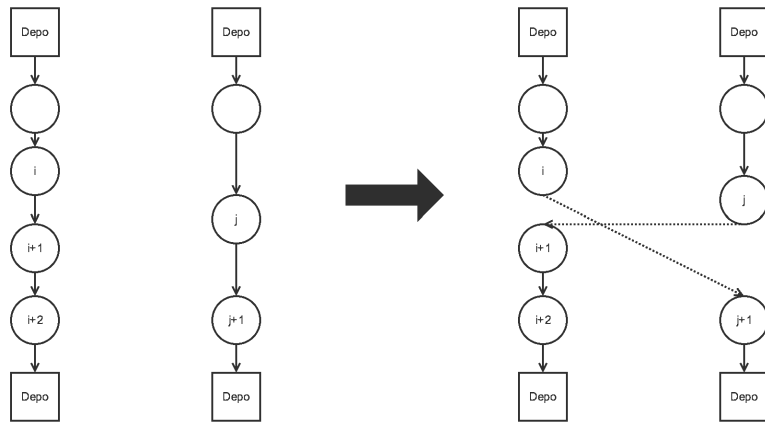
İlgili müşterilerin ilk rotalarında karşılanan talep miktarları taşıdıkları yeni rotalara kaydırılır. Birbirinin yerine taşınan i . ve j . müşterilerin tekrar ilk yerlerine taşınmaları yasaklı olarak tanımlanır. Yer değiştirme operatörüne ait yasaklı listesi Y_T olarak tanımlanırsa $Y_T(i, R_K) > 0$ ve $Y_T(j, R_L) > 0$ olarak tanımlanır [27].



Şekil 5.3. Swap Hareketi

5.3.2.2.3. 2-Opt operatörü

2-Opt operatörü ele aldığı iki rotadan birincisi R_K 'yi i . müşteriden sonra, ikinci rota olan R_L 'yi ise j . müşteriden sonra bölerek oluşan yeni parçalar eski rotalardan kalan parçalarla aşağıdaki şekilde birleştirir.



Şekil 5.4. 2-Opt Hareketi

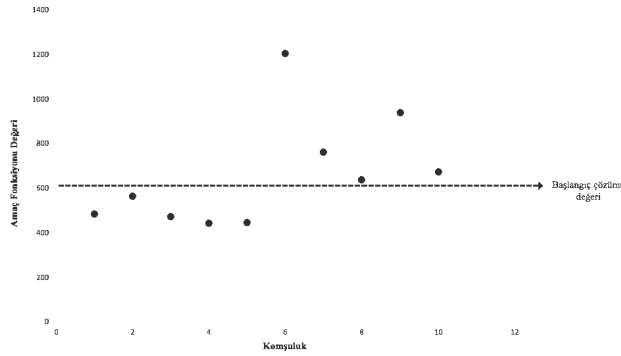
2-Opt operatörü swap operatöründen farklı olarak müşterilerle değil, müşteriler arasındaki ayrıtlar ile ilgili işlem yapar. Operatör, rotaları iki müşteri arasındaki ayrıtlardan bölerek çapraz olarak birbiri ardına ekler.

Bu operatöre ait yasaklı tanımlaması ilk iki operatöre göre farklılık gösterir. R_K rotasını i ve $i+1$ müşterileri arasından bölmek ve R_L rotasını j ve $j+1$ müşterileri arasından bölmek yasaklı olarak tanımlanır. 2-Opt operatörüne ait yasaklı listesi Y_{2Opt} olarak tanımlanırsa $Y_{2Opt}(i, i+1) > 0$ ve $Y_{2Opt}(j, j+1) > 0$ olarak tanımlanır [27].

5.3.2.3. Çeşitlendirme

Uygulanan YA algoritmasında çeşitlendirme yapmak amacıyla rassal aday liste stratejisi uygulanmıştır. Her iterasyonda en iyi güncel çözüme geçmek daha iyi bir nihai sonuca ulaşmak için gerekli değildir. Bu sebeple algoritma her operatör için aday hareketlerin seçiminde rassallık kullanır [17]. Bu stratejiyi algoritmaya yansıtmak için büyüklüğü 5 veya 10 olan aday çözüm listeleri kullanılmıştır. Komşu çözümler amaç fonksiyonu değerlerine göre küçükten büyüğe sıralanmış ve belirtilen aday liste boyutlarına göre komşu çözümlerden ilk 5 veya 10 adedi alınarak aday çözüm listeleri oluşturulmuştur.

Aday listeler oluşturulurken başlangıç çözümü değerinden daha kötü olmayan sonuçların aday listesine alınması sağlanmıştır. Her iterasyonda oluşturulan aday liste içinden rassal olarak seçilen bir çözüm değeri güncel çözüm olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.5. Rassal Aday Çözüm Listesi Stratejisi

5.3.2.4. Komşuluk Azaltma Stratejisi

YA aşamasında oluşturulan çok sayıdaki komşuluk sebebiyle hesaplamalar fazla zaman alıcı olabilir. Bu yüzden mesafeye bağlı komşuluk azaltma stratejisi uygulanmıştır.

Mesafeye bağlı komşuluk azaltma stratejisine göre bir müşteri, ekleneceği rotadaki en yakın müşteriye sabit bir uzaklıktaysa değerlendirilir. Bu strateji uzakta bulunan bir müşterinin rotaya eklenmemesini sağlar [43]. Çalışmada sabit uzaklık değeri uzaklık matrisinin ortalama değeri olarak alınmıştır; 70 ve daha fazla müşteri içeren problemlere uygulanmıştır.

5.3.2.5. Bütün YA Algoritması

YA sürecinde durdurma kriteri, yasaklı listesi boyutu, yasaklı süresi parametreleri kullanılmıştır. YA sürecinde durdurma kriteri birbiri ardına iyileşme elde edilemeyen iterasyon sayısı olarak seçilmiş ve bu sayı 100 olarak belirlenmiştir. Yasaklı süresi 15, yasak listesi boyutu ise 7 olarak uygulanmıştır. Yasak yıkma için kullanılan aspirasyon kriteri genelde kullanıldığı üzere en iyi çözüm değeri olarak belirlenmiştir. Bütün YA algoritması adımları aşağıdaki gibidir:

1. Başlangıç çözümü ile rotalar ve rotalarda müşterilerin karşılanan talep miktarları elde edilir.
2. Başlangıç çözümüne ait amaç fonksiyonu değeri en iyi çözüm değeri olarak belirlenir.
3. Durdurma kriteri sağlanana kadar her YA iterasyonu için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir:
 - a. Boş yasaklı listesi, aday çözüm listesi oluşturulur.
 - b. Olası tüm komşu çözümler yer değiştirme, takas ya da 2-Opt operatörleri ile oluşturulur.
 - i. Oluşturulan her komşu çözüm için alt tur kontrolü yapılı ve amaç fonksiyonu değeri hesaplanır.
 - ii. Komşu çözümü oluşturmak için yapılan hareketin tersi yasaklı listesine eklenir. Eğer yapılan hareket daha

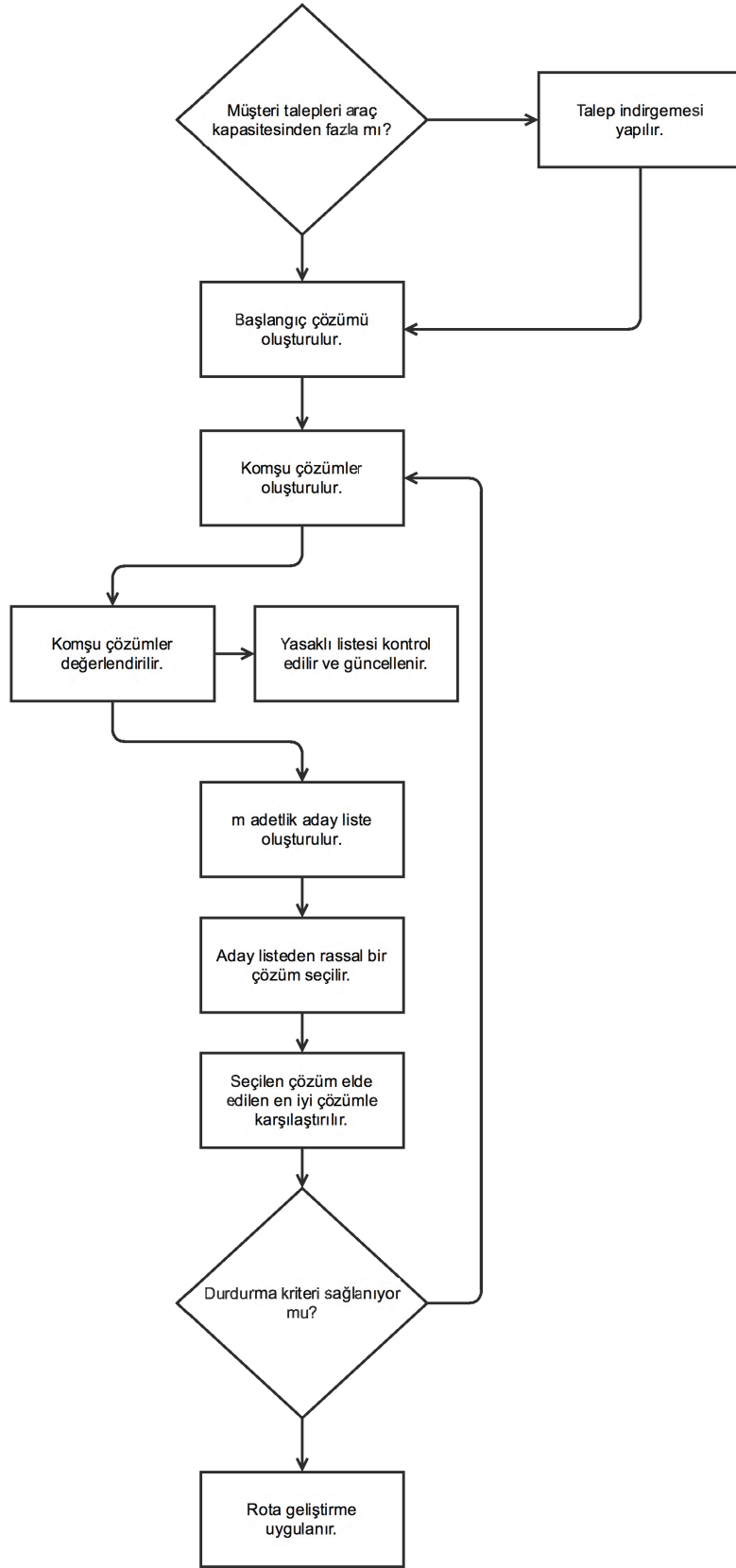
önceden yasaklı listesinde ise hareketin amaç fonksiyonu değerlendirilir. Eğer amaç fonksiyonu değeri en iyi çözüm değerinden daha iyi ise; hareket yasaklı listesinden çıkarılır. Eğer amaç fonksiyonu değeri en iyi çözüm değerinden daha iyi değil ise; hareket yasaklı olarak kalır ve oluşan çözüm komşu çözümlere eklenmez.

- c. Tüm komşu çözümlerin amaç fonksiyonu değerleri küçükten büyüğe sıralanır.
- d. Belirlenen aday liste boyutu m değerine göre, ilk m komşu aday listesine aktarılır.
- e. Aday listesinden rassal bir komşu çözüm seçilir.
- f. Seçilen komşu çözüme ait amaç fonksiyonu değeri en iyi çözüm değeri ile karşılaştırılır.
 - i. En iyi çözüm değerinden daha iyi bir çözüm değeri elde edildi ise; komşu çözüm en iyi çözüm ve komşu çözüme ait amaç fonksiyonu değeri en iyi çözüm değeri olarak kaydedilir ve durdurma kriterine sıfır değeri atanır.
 - ii. En iyi çözüm değerinden daha iyi bir çözüm değeri elde edilemediyse; durdurma kriteri bir artırılır.

5.3.3. Geliştirme Aşaması

YA ile elde edilen rotalar son aşamada tekrar iyileştirilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan rotalar tek tek ele alınmış, her rotaya ait şehir sıralamaları EYK sezgiseline göre en baştan yapılmıştır. Amaç fonksiyonunda iyileşme sağlanan durumlarda çözüme ait amaç fonksiyonu değeri ve rotalar güncellenerek kaydedilmiştir.

Önerilen algoritmaya ait genel akış şeması Şekil 5.6'daki gibidir:



Şekil 5.6. Bütün YA Algoritması

5.4 Uygulama

Yasaklı arama algoritması Python 2.7’de kodlanmış ve Intel Core i7 2,8 GHz işlemcili, 4GB RAM’a ve OSX işletim sistemine sahip bir dizüstü bilgisayarda çalıştırılmıştır.

BDARP için literatürde test problemi bulunmamaktadır. Bu sebeple Belenguer ve ark. [26], Jin ve ark. [52], Bodia ve ark. [32], Archetti ve ark. [40], Gulczynski ve ark. [48], Aleman ve ark. [44], Moreno ve ark. [47], Wilck ve Cavalier [50] ve [51] ile Berbetto ve ark. [17] çalışmalarında da kullanılan ARP için oluşturulmuş test problemleri üzerinde çalışılmıştır.

Özellikle Berbetto ve ark. [17] bölünmüş dağıtım için yöntem geliştirmiş olmalarına rağmen karşılaştırmaları klasik ARP test problemleri üzerinde yapmışlardır. Benzer şekilde bu çalışmada da karşılaştırmalar ARP test problemleri ile yapılmıştır.

Rassal başlangıç çözümü ile başlayan YA algoritması 5 adet test problemi beşer kere farklı bölme katsayıları ve aday liste büyüklükleri için çalıştırılmıştır.

Çizelge 5.2. Bölme Katsayısı ve Aday Liste Büyüklüğünün Çözümüne Etkisi

Problem	Bölme Katsayısı	Aday Liste Büyüklüğü		
		10	5	0
Eil22	0.5	484.842	487.102	485.38
	0.75	469.512	523.756	530.56
Eil23	0.5	850.932	848.9	868.22
	0.75	862.224	844.144	868.22
Eil30	0.5	611.202	656.798	685.19
	0.75	598.348	640.904	618.23
Eil33	0.5	926.124	917.372	899
	0.75	924.238	905.712	901.64
Eil51	0.5	858	904	816
	0.75	880	884	849

Bölme katsayısının 0.75 olduğu başlangıç çözümleri ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Aday listesinin varlığı çoğunlukla çözümü daha iyi noktalara götürmüştür. Aday liste ve bölme katsayısı ile ilgili yapılan çalışmaya ait detaylı çizelge ektedir.

Buradan yola çıkılarak genellikle ortalama değeri veren aday listesi boyutu olan 5 ve bölme katsayısı 0.75 olarak alınarak test problemleri üzerinde çalışma yapılmıştır. Rassal ve EYK sezgiseli ile oluşturulan başlangıç çözümleri kullanılmıştır.

Relocate operatörü ile elde edilen sonuçlar ve en iyi çözümlerden uzaklıkları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 5.3. Relocate Operatörü ile Elde Edilen Sonuçlar

	EYK- RELOCATE	En yakın çözüm uzaklık	RASSAL- RELOCATE	En yakın çözüm uzaklık	En iyi çözüm değeri z*
eil22	451.92	0.205	441.55	0.177	375
eil23	829.700	0.458	829.67	0.458	569
eil30	574.71	0.127	590.35	0.158	510
eil33	849.33	0.017	887.55	0.063	835
eil51	660	0.267	800.000	0.536	521
eilA76	965.14	0.160	989.28	0.189	832
eilA101	1001.67	0.226	1042.04	0.275	817
S51D1	520.59	0.137	546.97	0.194	458
S51D2	761	0.048	825.000	0.136	726
S51D3	1028.9	0.059	1088.340	0.120	972

Relocate operatörü ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilebilmiştir. Test problemi eil33'in en iyi çözümüne %1,7 uzaklıkta çözüm değeri elde edilmiştir. EYK sezgiseli ile başlangıç çözümü elde edilen çözümlerde en iyi çözüm değerine %1,7 ile %46 civarında yaklaşılabilmektedir, rassal başlangıç çözümü ile %6 ile %54 civarında yaklaşılabilmektedir.

Swap operatörü ile elde edilen sonuçlar ve en iyi çözümlerden uzaklıkları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 5.4. Swap Operatörü ile Elde Edilen Sonuçlar

	EYK-SWAP	En yakın çözümden uzaklık	RASSAL-SWAP	En yakın çözümden uzaklık	En iyi çözüm değeri z*
eil22	508.94	0.36	572.33	0.53	375
eil23	834.23	0.47	863.28	0.52	569
eil30	579.68	0.14	655.27	0.28	510
eil33	896.86	0.07	1026.26	0.23	835
eil51	720	0.38	869	0.67	521
eilA76	1001	0.20	1565	0.88	832
eilA101	1105.28	0.35	1573.51	0.93	817
S51D1	592.92	0.29	681.37	0.49	458
S51D2	863	0.19	1145	0.58	726
S51D3	1189.88	0.22	1521.6	0.57	972

Swap operatörüyle elde edilen çözümlerin performansı oldukça düşüktür. Relocate operatörüyle elde edilen çözümlerden daha uzak çözümler elde edilmiştir. Yine relocate operatöründe de görüldüğü üzere, EYK sezgiseli ile elde edilen çözümler en iyi çözüme %6 ile %47 civarında yaklaşabilmiştir. Ancak rassal başlangıç çözümü ile elde edilen çözümler başarısızdır.

2-Opt operatörü ile elde edilen sonuçlar ve en iyi çözümlerden uzaklıkları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 5.5. 2-Opt Operatörü ile Elde Edilen Sonuçlar

	EYK- 2- Opt	En yakın çözümünden uzaklık	RASSAL- 2-Opt	En yakın çözümünden uzaklık	En iyi çözüm değeri z*
eil22	420.12	0.12	528.53	0.41	375
eil23	776.36	0.36	857.34	0.51	569
eil30	540.75	0.06	607.73	0.19	510
eil33	944.52	0.13	867.52	0.04	835
eil51	720	0.38	739	0.42	521
eilA76	1064	0.28	1192.41	0.43	832
eilA101	1105.28	0.35	1305.74	0.60	817
S51D1	643.09	0.40	590.16	0.29	458
S51D2	874	0.20	842	0.16	726
S51D3	1189.88	0.22	1219.63	0.25	972

2-Opt operatörü ortalama bir performans göstermiştir. EYK sezgiseli ile elde edilen çözümler en iyi çözüme %6 ile %40 civarında yaklaşabilirken; rassal başlangıç çözümü ile elde edilen çözümler en iyi çözüme %4 ile %60 arasında sonuç vermektedir.

Yukarıda görüldüğü üzere EYK sezgiseli ile elde edilen sonuçlar rassal başlangıç çözümü ile elde edilen sonuçlara göre daha iyi performans göstermektedir. Ancak EYK sezgiseli uygulama esnasında yerel en iyiye takılma sorunu yaratmıştır. Relocate operatörü ile diğer operatörlere göre genel anlamda daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Kuruma sunmak amacıyla önerilen algorithmada rassal başlangıç çözümü önerilmektedir. Kurumun ürün sayısı hesaplama yükü getirdiğinden ürün ağırlıkları çok yakın olan ürünlere ait talepler gruplanarak birleştirilmiştir. Yeni ürün grupları ile hesaplama yükü oldukça azalacaktır.

Kuruma ait dağıtım d6nemi için yapılan çalışmada 6nerilen algoritmanın kullanılmasıyla gerekli araç sayısında ciddi şekilde azalma sağlanmıştır. Gerçek durumda kullanılan araç sayısı 150 iken; dağıtımın b6l6nmesine izin verilerek 122 araç kullanılmasının sağlanabileceği g6r6lm6řt6r.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada bir gerçek hayat probleminin çözümü için YA algoritması önerilmiştir. Geliştirilen algoritmanın performansı literatür problemleri ile test edilmiş; eniyi çözümlere yakın, uygun çözümler elde edilmiştir. YA'nın performansını artırmak amacıyla rassal aday liste stratejisi uygulanmıştır ve aday liste boyutunun çözüm performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. YA geliştirme aşamasında birden fazla hareket uygulaması yapılarak daha iyi performans gösterebilecek bir yapının seçilmesi sağlanmıştır.

Yapılan çalışma ile uygulama çalışması yapılan kuruma bir rota kurucu algoritma önerilmiştir. Gelecek çalışmalarda önerilen YA algoritmasının performansını ve hızını artıracak geliştirmeler yapılarak ve farklı sezgisel algoritmalarla hibrid algoritmalar geliştirerek ya da popülasyon temelli bir metasezgisel kullanılarak daha iyi sonuçlara ulaşılmalıdır. Ayrıca Bölüm 5.2'de bahsedilen heterojen filolu matematiksel modelin geliştirilmesi ve çözüm yönteminin önerilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Düzakın ve M. Demircioğlu, Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri, Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi, 1, 13, 68-87, 2009.
- [2] G. Laporte, What You Should Know about the Vehicle Routing Problem, Naval Research Logistics, 54, 811-819, 2007.
- [3] J.-F. Cordeau, M. Gendreau, G. Laporte, J.-Y. Potvin ve F. Semet, A guide to vehicle routing heuristics, Journal of the Operational Research Society, 53, 512-522, 2002.
- [4] E. Düzakın ve M. Demircioğlu, Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım ile Çözümlemesi Üzerine Bir Uygulama, Adana, 2009.
- [5] M. Eryavuz ve C. Gencer, Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi , 6, 139-155, 2001.
- [6] G. Clarke ve J. Wright, Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, Operations Research, 12, 4, 568-581, 1964.
- [7] B. L. Golden, E. A. Wasil, J. P. Kelly ve I.-M. Chao, The Impact of Metaheuristics on Solving The Vehicle Routing Problem: Algorithms, Problem Sets, and Computational Results, Fleet Management and Logistics, 1998, 33-56.
- [8] P. Toth ve D. Vigo, An Overview of Vehicle Routing Problems, The Vehicle Routing Problem, P. Toth ve D. Vigo, , Philadelphia, SIAM, 2002, 1-23.
- [9] A. M. Campbell ve J. H. Wilson, Forty Years of Periodic Vehicle Routing, Networks, 63, 3, 2-15, 2014.
- [10] P. Dursun, Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi'nin Genetik Algoritma ile Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [11] NEO, <http://neo.lcc.uma.es/>, 12 November 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://neo.lcc.uma.es/vrp/vrp-flavors/>. [Erişildi: 2014].
- [12] G. Laporte, The Vehicle Routing Problem: An overview, European Journal

- of Operational Research, 59, 345-358, 1992.
- [13] M. Gendreau, J.-Y. Potvin, O. Braysy, G. Hasle ve A. Lokketangen, Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem and its Extensions: A Categorized Bibliography, CIRRELT, 2007.
- [14] T. Cura, Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları, 2008.
- [15] G. Gökay Emel ve Ç. Taşkın, Araç Rotalama Problemlerinin İki Aşamalı Çözümünde Genetik Algoritma Kullanımı, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7, 1-17, 2005.
- [16] M. Gendreau ve J.-Y. Potvin, Tabu Search, Search Methodologies Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques, , Springer, 2005, 165-186.
- [17] L. Berbetto, S. Garcia ve J. F. Nogales, A Randomized Granular Tabu Search Heuristic for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, Annals of Operation Research, 222, 1, 153-173, 2014.
- [18] F. Glover, Tabu Search: A Tutorial, Interfaces, 74-94, 1990.
- [19] M. Gendreau ve J.-Y. Potvin, Tabu Search, Handbook of Metaheuristics, 2010, 41-59.
- [20] M. Dror ve P. Trudeau, Savings by Split Delivery Routing, Transportation Science ", 23, 2, 141-145, 1989.
- [21] C. Archetti ve M. Speranza , Vehicle routing problems with split deliveries, International Transactions in Operations Research, 19, 3-22, 2012.
- [22] C. Archetti, M. Speranza ve A. Hertz, A Tabu Search Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, Transportation Science, 40, 1, 64-73, 2006.
- [23] M. Jin, K. Liu ve R. O. Bowden, A two-stage algorithm with valid inequalities for the split delivery vehicle routing problem, International Journal of Production Economics, 105, 1, 228-242, 2007.
- [24] M. Dror, G. Laporte ve P. Trudeau, Vehicle routing with split deliveries, Discrete Applied Mathematics, 50, 3, 239-254, 1994.
- [25] P. Mullaseril, M. Dror ve J. Leung, Split-delivery routing heuristics in

- livestock feed distribution, *Journal of the Operational Research Society*, 48, 2, 107-116, 1997.
- [26] J. Belenguer, M. Martinez ve E. Mota, A Lower Bound for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *Operations Research* , 48, 5, 801-810, 1998.
- [27] S. Ho ve D. Haugland, A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries, *Computers & Operations Research*, 31, 1947-1964, 2004.
- [28] C.-G. Lee, M. A. Epelman, C. C. White III ve Y. A. Bozer, A shortest path approach to the multiple-vehicle routing problem with split pick-ups, *Transportation Research Part B* , 40, 265-284, 2006.
- [29] C. Archetti , M. W. Savelsbergh ve M. G. Speranza, Worst-Case Analysis for Split Delivery Vehicle Routing Problems, *Transportation Science*, 40, 2, 226-234, 2006.
- [30] C. Archetti ve M. G. Speranza , An Overview on the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *Operations Research Proceedings*, Karlsruhe, 2006.
- [31] Y. Nakao ve H. Nagamochi, A DP-based Heuristic Algorithm for the Discrete Split Delivery Vehicle Routing Problem, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 1, 2, 217-226, 2006.
- [32] M. Boudia, C. Prins ve M. Rehjoui, An Effective Memetic Algorithm with Population Management for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *Hybrid Metaheuristics*, Germany, 2007.
- [33] S. R. T. Thangiah, A. Fergany ve S. Awan, Real-time split-delivery pickup and delivery time window problems with transfers, *Central European Journal of Operations Research*, 15, 329-345, 2007.
- [34] S. Chen, B. Golden ve E. Wasil, The Split Delivery Vehicle Routing Problem: Applications, Algorithms, Test Problems, and Computational Results, *Networks*, 49, 4, 318-329, 2007.
- [35] S. Mitra, A Parallel Clustering Technique for the Vehicle Routing Problem with Split Deliveries and Pickups, *The Journal of the Operational Research Society*, 59, 11, 1532-1546, 2008.

- [36] V. Campos, A. Corberan ve E. Mota, A Scatter Search Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *Advances in Computational Intelligence*, 144, 137-152, 2008.
- [37] P. Belfiore ve H. T. Y. Yoshizaki , Scatter search for a real-life heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and split deliveries in Brazil, *European Journal of Operational Research*, 199, 750-758, 2009.
- [38] C. Archetti, M. W. Savelsbergh ve M. G. Speranza, An Optimization-Based Heuristic for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *Transportation Science*, 42, 1, 22-31, 2008.
- [39] C. Archetti , M. W. Savelsbergh ve M. G. Speranza , To split or not to split: That is the question, *Transportation Research Part E*, 44, 114-123, 2008.
- [40] C. Archetti, N. Bianchessi ve M. Speranza, A Column Generation Approach for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *Networks*, 58, 4, 241-254, 2011.
- [41] D. Gulczynski , B. Golden ve E. Wasil, The split delivery vehicle routing problem with minimum delivery amounts, *Transportation Research Part E*, 46, 612-626, 2010.
- [42] P. Mizrak Ozfirat ve I. Ozkarahan, A constraint programming heuristic for a heterogeneous vehicle routing problem with split deliveries, *Applied Artificial Intelligence: An International Journal*, 24, 277-294, 2010.
- [43] M. C. Bolduc, G. Laporte, J. Renaud ve F. F. Boctor, A tabu search heuristic for the split delivery vehicle routing problem with production and demand calendars, *European Journal of Operational Research* , 202, 122-130, 2009.
- [44] R. E. Aleman, X. Zhang ve R. R. Hill, An adaptive memory algorithm for the split delivery vehicle routing problem, *Journal of Heuristics*, 16, 441-473, 2010.
- [45] U. Derigs, B. Li ve U. Vogel, Local search-based metaheuristics for the split delivery vehicle routing problem, *Journal of the Operational Research Society*, 61, 1356-1364, 2010.

- [46] J. G. Suarez ve M. T. Anticono, Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem and the Split Delivery Using GRASP Metaheuristic, International Federation for Information Processing, 2010.
- [47] L. Moreno, M. P. d. Aragao ve E. Uchoa, Improved lower bounds for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *Operations Research Letters*, 38, 302-306, 2010.
- [48] D. Gulczynski, B. Golden ve E. Wasil, The multi-depot split delivery vehicle routing problem: An integer programming-based heuristic, new test problems, and computational results, *Computers & Industrial Engineering*, 61, 794-804, 2011.
- [49] I. Vacca ve M. Salani, The Vehicle Routing Problem with Discrete Split Delivery and Time Windows, STRC 2009.
- [50] J. H. Wilck ve T. M. Cavalier , A Construction Heuristic for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *American Journal of Operations Research*, 2, 153-162, 2012.
- [51] J. H. Wilck ve T. M. Cavalier, A Genetic Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *American Journal of Operations Research*, 2, 207-216, 2012.
- [52] M. Jin, K. Liu ve B. Eksioglu, A column generation approach for the split delivery vehicle routing problem, *Operations Research Letters*, 36, 2, 265-270, 2008.
- [53] J. Tang, Y. Ma, Y. Guan ve C. Yan, A Max–Min Ant System for the split delivery weighted vehicle routing problem, *Expert Systems with Applications*, 40, 7468-7477, 2013.
- [54] E. Yakıcı ve O. Karasakal , A min–max vehicle routing problem with split delivery and heterogeneous demand, *Optimization Letters*, 7, 1611-1625, 2013.
- [55] Y. Xiong, D. Gulczynski , D. Kleitman , B. Golden ve E. Wasil , A worst-case analysis for the split delivery vehicle routing problem with minimum delivery amounts, *Optimization Letters*, 7, 1597-1609, 2013.

- [56] T. Nishi ve T. Izuno, Column generation heuristics for ship routing and scheduling problems in crude oil transportation with split deliveries, *Computers and Chemical Engineering*, 60, 329-338, 2014.
- [57] C. Archetti, M. Speranza ve A. Hertz, A Tabu Search Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *Transportation Science*, 40, 64-73, 2006.
- [58] C. Archetti , D. Feillet , M. Gendreau ve M. G. Speranza , Complexity of the VRP and SDVRP, *Transportation Research Part C*, 19, 5, 741-750, 2011.
- [59] J.-F. Cordeau ve G. Laporte, Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem, *Metaheuristic Optimization via Memory and Evolution*, 30, 2005, 145-163.

Ek: Bölme Katsayısı ve Aday Liste Büyüklüğünün Değiştirilerek Elde Edilen Sonuçlar

	Bölme Katsayısı	Aday Liste Büyüklüğü	Çalışma No					Ortalama
			1	2	3	4	5	
eil22	0.5	10	482.43	492.6	488.27	499.81	461.1	484.84
		5	454.14	512.21	492	488.27	488.89	487.10
		0	485.38					485.38
	0.75	10	441.55	530.56	441.55	472.47	461.43	469.51
		5	530.56	530.56	519.22	519.22	519.22	523.76
		0	530.56					530.56
eil23	0.5	10	851.58	860.85	863.28	835.43	843.52	850.932
		5	842.69	844.11	853.35	852.9	851.45	848.9
		0	868.22					868.22
	0.75	10	853.71	875.12	857.19	880.58	844.52	862.224
		5	845.78	843.52	855.97	829.67	845.78	844.144
		0	868.22					868.22
eil30	0.5	10	595.42	665.12	609.72	597.86	587.89	611.202
		5	689.84	655	705.65	558.37	675.13	656.798
		0	685.19					685.19
	0.75	10	604.8	617.0	584.37	582.49	603.08	598.348
		5	631.20	729.74	644.67	595.83	603.08	640.904
		0	618.23					618.23
eil33	0.5	10	929.65	929.65	931.07	921.66	918.59	926.124
		5	933.95	919.98	914.36	892.69	925.88	917.372
		0	899					899
	0.75	10	925.8	930.5	927.03	927.62	910.29	924.238
		5	908.88	912.92	904.17	887.55	915.04	905.712
		0	901.64					901.64
eil51	0.5	10	884	827	878	848	853	858
		5	916	892	887	940	885	904
		0	816					816
	0.75	10	905	886.0	843	835	931	880
		5	895	877	891	894	863	884
		0	849					849