



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZAMAN KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ
VE
HİZMET SİSTEMİNDE BİR UYGULAMA

İlker KÜÇÜKOĞLU

Doç. Dr. Nursel ÖZTÜRK

(Danışman)

YÜSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZAMAN KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ
VE
HİZMET SİSTEMİNDE BİR UYGULAMA

İlker KÜÇÜKOĞLU

YÜSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 15/07/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/ ~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Nursel ÖZTÜRK
Danışman

Doç. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU

Yrd. Doç. Dr. Ersen YILMAZ

ÖZET

Önce Dağıtım Sonra Toplamalı ve Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi; zaman penceresi ve kapasite kısıtlarını içeren, Araç Rotalama Problemi'nin bir uzantısıdır. Bu problemde yer alan müşteriler, dağıtım ve toplama müşterisi olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Her bir araç depodan hizmete başlar ve malzemeler depodan dağıtım müşterilerine dağıtılır. Dağıtım işleminden sonra araçlar toplama işlemi yaparak depoya geri dönerler. Problemde amaç fonksiyonu ise, bütün kısıtların uygunluğu sağlanacak şekilde en kısa toplam rota uzunluğunun bulunmasıdır.

Bu tez çalışmasında; Önce Dağıtım Sonra Toplamalı ve Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi, dağıtım ve toplama kısıtları değiştirilerek bir catering firmasına uyarlanmıştır. Probleme ait karışık tam sayılı matematiksel model oluşturulmuştur ve problemin çözümü için Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanılmıştır. Diferansiyel Gelişim Algoritması, Visual Studio 2008 programında Visual Basic 9.0 programlama dili ile oluşturulmuştur ve optimum sonucu bilinen 16 müşterilik örnek problem sonuçları ile test edilmiştir. Test edilen algoritma, catering firmasına uygulanarak araç filosu etkin bir şekilde organize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lojistik Yönetimi, Araç Rotalama Problemleri, Diferansiyel Gelişim Algoritması

ABSTRACT

The Vehicle Routing Problem With Backhauls and Time Windows is an extension of the Vehicle Routing Problem which includes capacity and time windows constraints. In this problem, customers are divided into two subsets consisting of linehaul and backhaul customer. Each vehicle starts from depot and goods are delivered from the depot to the linehaul customers. Goods are subsequently brought back to depot from the backhaul customers. The objective is to minimize total distance that satisfy all of the constraints.

In this thesis, the Vehicle Routing Problem With Backhauls and Time Windows is modified for a catering firm by changing linehaul and backhaul constraints. Thus for new problem, a linear mixed integer model is proposed and for solution Differential Evolution Algorithm is used. Differential Evolution Algorithm is developed with Visual Basic 9.0 code in Visual Studio 2008 and is tested with sample problem which occurs 16 customers and optimum solutions. Tested algorithm is applied to catering firm effectively for organizing the fleet.

Keywords: Logistics Management, Vehicle Routing Problems, Differential Evolution Algorithm

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	x
GİRİŞ	1
1. LOJİSTİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ	3
1.1. Lojistik Tanımı.....	3
1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi	5
1.3. Lojistik Faaliyetler	8
1.3.1. Müşteri hizmetleri	8
1.3.2. Taşıma	8
1.3.3. Envanter yönetimi	9
1.3.4. Depolama ve dağıtım merkezleri	10
1.3.5. Yükleme	11
1.3.6. Koruyucu ambalajlama	12
1.3.7. Bilgi iletişimi ve sipariş işleme	13
1.3.8. Talep tahmini	13
1.4. Taşımacılık ve Taşımacılık Türleri	14
1.4.1. Karayolu taşımacılığı	15
1.4.2. Demiryolu taşımacılığı.....	16
1.4.3. Denizyolu taşımacılığı	16
1.4.4. Havayolu taşımacılığı.....	17
1.4.5. Boru hattı taşımacılığı.....	17
1.5. Lojistik Maliyetler.....	18
1.5.1. Taşıma maliyetleri.....	20
1.5.2. Depolama maliyetleri	20
1.5.3. Sipariş işleme ve enformasyon maliyetleri	21
1.5.4. Envanter taşıma maliyetleri.....	21
1.5.5. Parti büyüklüğüne bağlı maliyetler	22
1.6. Lojistik Performans Ölçütleri.....	22
1.6.1. Stok seviyesi	22
1.6.2. Sipariş bilgisi.....	23
1.6.3. Sipariş çevrim süresi	23
1.6.4. Sevkiyat hızı.....	23
1.6.5. Sistem doğruluğu	24
1.6.6. Sipariş kolaylığı	24
1.6.7. Ürün ikamesi	24
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ	25
2.1. Araç Rotalama Probleminin Tanımı	25
2.1.1. Araç rotalama problemlerinin temel bileşenleri.....	26

2.1.2.	Araç rotalama problemleri notasyonları ve genel modeli	28
2.2.	Araç Rotalama Problemlerinin Sınıflandırılması	31
2.2.1.	Kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemi	33
2.2.2.	Zaman pencereli araç rotalama problemi	35
2.2.3.	Dağıtım ve toplamalı araç rotalama problemleri	37
2.2.4.	Geri toplamalı araç rotalama problemi	38
2.3.	Araç Rotalama Problemleri İçin Çözüm Yöntemleri	39
2.3.1.	Kesin sonuç veren yöntemler	39
2.3.1.1.	Dal sınır algoritması	40
2.3.1.2.	Kesme düzlemi algoritması	41
2.3.1.3.	Dinamik programlama	41
2.3.2.	Sezgisel yöntemler	42
2.3.3.	Metasezgisel yöntemler	44
3.	DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI	45
3.1.	Parametreler	48
3.2.	Başlangıç Popülasyonu	48
3.3.	Mutasyon İşlemi	49
3.4.	Çaprazlama İşlemi	49
3.5.	Uygunluk Fonksiyonu	50
3.6.	Seçim İşlemi	50
3.7.	Durdurma Kriteri	51
4.	VRPBTW İÇİN KAYNAK ARAŞTIRMASI	52
4.1.	Önce Dağıtım Sonra Toplamalı ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi	52
4.2.	VRPBTW İçin Literatür Araştırması	54
5.	MATERYAL VE YÖNTEM	57
5.1.	Problemin Tanımı	57
5.2.	VRPBTW İçin Önerilen Matematiksel Model	59
5.3.	Problem İçin Geliştirilen Diferansiyel Gelişim Algoritması	65
5.3.1.	Başlangıç popülasyonu	66
5.3.2.	Çaprazlama işlemi	68
5.3.3.	Mutasyon işlemi	68
5.3.4.	Uygunluk fonksiyonu	69
5.3.5.	Seçim işlemi	71
5.3.6.	Algoritmanın oluşturulması	72
5.4.	DGA Parametre Değerlerinin Tespit Edilmesi ve Deneysel Tasarım	76
6.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	79
6.1.	Uygulama Sonuçları	79
6.2.	Sonuçların Karşılaştırılması	81
	SONUÇ	86
	KAYNAKLAR	88
	EKLER	94
	ÖZGEÇMİŞ	122
	TEŞEKKÜRLER	123

KISALTMALAR DİZİNİ

ACVRP	: Asymmetrical Capacitated Vehicle Routing Problem (Asimetrik Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi)
CLM	: Logistics Management Association (Lojistik Yönetimi Derneği)
CVRP	: Capacitated Vehicle Routing Problem (Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi)
DCVRP	: Distance Capacitated Vehicle Routing Problem (Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi)
DGA	: Diferansiyel Gelişim Algoritması
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
SCVRP	: Symmetric Capacitated Vehicle Routing Problem (Simetrik Araç Rotalama Problemi)
VRP	: Vehicle Routing Problem (Araç Rotalama Problemi)
VRPB	: Vehicle Routing Problem With Backhauls (Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi)
VRPBTW	: Vehicle Routing Problem With Backhauls and Time Windows (Önce Dağıtım Sonra Toplamalı Araç Rotalama Problemi)
VRPDP	: Vehicle Routing Problem With Delivery and Pickup (Dağıtım ve Toplama Yapılan Araç Rotalama Problemi)
VRPTW	: Vehicle Routing Problem With Time Windows (Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi)

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1: Lojistik Faaliyetler	4
Çizelge 1.2: Lojistik Maliyetlerin Dağılımı	20
Çizelge 2.1: Araç Rotalama Problemlerinin Literatürde Yer Alan Çeşitleri	32
Çizelge 5.1: Yemek Dağıtım Firmasına Ait Araç Bilgileri	58
Çizelge 5.2: 16 Müşterili Örnek Probleme Ait Optimum Sonuç Tablosu.....	65
Çizelge 5.3: DGA Popülasyon Yapısı	67
Çizelge 5.4: Çaprazlama İşlemi Sonucunda Seçilen Genler	68
Çizelge 5.5: Mutasyon İşlemi	69
Çizelge 5.6: Kromozomda Yer Alan Müşteri Numaralarının Araçlara Göre Ayrılması	70
Çizelge 5.7: Müşterilerin Araç İçerisinde Dağıtım ve Toplama işlemine Göre Gruplanması..	71
Çizelge 5.8: DGA Örnek Sonuç Tablosu	75
Çizelge 5.9: Deneysel Tasarım Çalışması Deney Tablosu.....	77
Çizelge 6.1: Çaprazlama Oranı; 0.9, 0.5 ve 0.2 İçin Yapılan Test Sonuçları.....	79
Çizelge 6.2: Çaprazlama Oranı; 0.1, 0.08 ve 0.06 İçin Yapılan Test Sonuçları.....	80
Çizelge 6.3: Çaprazlama Oranı; 0.04, 0.02 ve 0.01 İçin Yapılan Test Sonuçları.....	80
Çizelge 6.4: Parametre Değerleri; CR = 0.02, F = 1.0 ve NP = 10 Olan Deneme Sonuçları ...	81
Çizelge 6.5: Firmada Araçların (1-5) Mevcut Rotaları	82
Çizelge 6.6: Firmada Araçların (6 – 10) Mevcut Rotaları.....	83
Çizelge 6.7: DGA İle Elde Edilen Çözümde Araçların (1-5) Yeni Rotaları	84
Çizelge 6.8: DGA İle Elde Edilen Çözümde Araçların (6-10) Yeni Rotaları	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Tedarik Zincirinin Bileşenleri	7
Şekil 1.2: Lojistikte Taşımacılık Türleri.....	15
Şekil 1.3: Lojistik Yönetiminde Tedarik ve Dağıtım Alt Sistem Maliyetlerinin Ortaya Çıkışı	19
Şekil 2.1: Çok Amaçlı Ulaştırma Ağı Tasarımı	26
Şekil 2.2: Klasik Araç Rotalama Problemi.....	28
Şekil 2.3: Araç Rotalama Problemlerinin Sınıflandırılması.....	33
Şekil 2.4: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	34
Şekil 2.5: Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi	36
Şekil 2.6: Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi.....	38
Şekil 2.7: Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi.....	39
Şekil 3.1: Diferansiyel Gelişim Algoritması Akış Şeması	46
Şekil 3.2: Diferansiyel Gelişim Algoritması İşleyiş Prosedürü.....	47
Şekil 4.1: VRPBTW’de Araçların Dağıtım ve Toplama İşlemi.....	53
Şekil 5.1: Yemek Dağıtım Problemi İçin Tanımlanan VRPBTW.....	59
Şekil 5.2: Geliştirilen DGA İçin Akış Şeması	74
Şekil 5.3: DGA İçin Oluşturulan Ara Yüz	75
Şekil 5.4: Deneysel Tasarım Çalışması Pareto Diyagramı.....	78
Şekil 5.5: 16 Müşterili Örnek Problem İçin Sonuç – İterasyon Sayısı Grafiği	78
Şekil 6.1: 74 Müşterili Araç Rotalama problemi İçin Sonuç – İterasyon Sayısı Grafiği	81

SİMGELER DİZİNİ

CR	- Diferansiyel Gelişim Algoritması İçin Çaprazlama Oranı
D	- Diferansiyel Gelişim Algoritması İçin Değişken Sayısı
F	- Diferansiyel Gelişim Algoritması İçin Ölçekleme Faktörü
G	- Diferansiyel Gelişim Algoritması İçin Jenerasyon Sayısı
NP	- Diferansiyel Gelişim Algoritması İçin Popülasyon Büyüklüğü

GİRİŞ

Günümüzde küreselleşme ile birlikte gelişen rekabet ortamında firmaların rakiplerinden daha önde olabilmeleri için, maliyetlerini ve verimliliklerini daha iyi kontrol etmeleri gerekmektedir. Üretim maliyetlerinin yaklaşık değerler arz ettiği bir ortamda lojistik faaliyetler rekabet için en önemli araç haline gelmektedir.

Lojistik, tedarikçiden müşteriye kadar olan hammadde, yarı mamul ve mamul stokların hareketi ve depolanmasının stratejik olarak yönetimidir. Bu sebeple bitmiş ürünlerin depolardan müşterilere dağıtılması da lojistik yönetiminin bir parçasıdır. Dağıtım işlemlerinde yapılacak iyi rotalama ve çizelgeleme kararları, kısa zamanda daha çok müşteriye hizmet edebilmeyi beraberinde getireceğinden dolayı daha fazla müşteri memnuniyeti sağlayacaktır. 1950’li yıllarda bilim adamlarının ilgi alanına giren ve günden güne önemini arttıran Araç Rotalama Problemlerinin (Vehicle Routing Problem, VRP) çözümü ile söz konusu olan dağıtım ağları iyileştirilmektedir.

Araç rotalama problemi, bir noktadan başlayarak, uğranması gereken tüm noktalara en kısa zaman ve en düşük maliyet ile uğranmasını sağlayan bir rota çizme problemidir. Problemin yapısına göre eklenebilecek kısıtlarla, klasik VRP çok fazla çeşide sahiptir. NP-zor bir yapıya sahip olan klasik VRP’nin, problem boyutu ve kısıt sayısı arttıkça kesin yöntemlerle çözüm süresi çok uzun olmaktadır. Bu nedenle matematiksel modellerin yetersiz kaldığı durumlarda optimum sonuca yakın sonuç üreten sezgisel ve meta sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Meta sezgisel metotlardan olan Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA), popülasyon tabanlı ve gerçek değerlerle kolaylıkla problemlere uygun hale getirilebilen bir çözüm yöntemidir. Diferansiyel Gelişim Algoritması, problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir.

Bu çalışmada VRP'nin çeşidi olan Önce Dağıtım Sonra Toplamalı ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows, VRPBTW) incelenmiştir ve problemin çözümünde Diferansiyel Gelişim Algoritması ile bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Çalışmanın amacı; VRPBTW problemi için araçlara ait rotaların en iyi şekilde belirlenmesidir. Bu nedenle çalışmanın ilk bölümünde lojistik ve lojistik yönetimi kavramları tanımlanarak bu faaliyetlerin önemi belirtilmiştir. İkinci bölümde Araç Rotalama Problemleri ve çözüm yöntemlerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde, problemin çözümü için kullanılacak Diferansiyel Gelişim Algoritması ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Dördüncü bölümde VRPBTW için kaynak araştırması yapılmıştır. Beşinci bölümde hizmet sektöründe bir catering firmasına ait yemek dağıtım problemi incelenmiştir. Ele alınan problem için matematiksel model oluşturulmuştur ve çözüm için geliştirilen DGA ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır. Altıncı bölümde ise araştırma sonuçlarına ve mevcut sistemle olan rota uzunluklarının karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

1. LOJİSTİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ

1.1. Lojistik Tanımı

Lojistik kavramının tarihçesi incelendiğinde ilk olarak II. Dünya Savaşında çıkan askeri bir terim olduğu görülmektedir. Bundan dolayı da lojistiğin ilk uygulamaları askeri alanda olmuştur. Oxford Üniversitesinin sözlüğünde yer alan lojistik kelimesi “Askerlik biliminin personel, teçhizat, malzeme taşıma, bakım ve sağlanması ile ilgili bir dalı” olarak tarif edilir. Askeri lojistikte, kaynakların ihtiyaç duyulan yer ve zamanda yerine nasıl ulaştırılacağı yönetilir (Sezgin, 2008).

Lojistiğin önemi askeri alanda anlaşıldıktan sonra bu kavrama bilimsel bir konu gözüyle bakılmaya başlanmıştır. 1950’lerden sonra ise lojistik, iş hayatına uyum sağlamıştır. İş dünyasında tanımlanan lojistik kavramı ise, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere her türlü ürün, servis hizmeti ve bilgi akışının başlangıç noktasından (kaynağından) , tüketildiği son noktaya (nihai tüketici) kadar olan tedarik zinciri içindeki hareketinin etkili ve verimli bir biçimde planlanması, uygulanması, taşınması, depolanması ve kontrol altında tutulması hizmetidir (Gümüş, 2007).

Başka bir kaynakta yer alan tanıma göre lojistik; genel anlamda, doğru malzemenin, doğru miktarda, doğru durumda, doğru yerde, doğru zamanda, doğru tüketiciye, doğru fiyatla ulaşması demektir. Bu tanım literatürde yedi D tanımı olarak da adlandırılmaktadır (Demir, 2006).

İstanbul Ticaret Odası tarafından iş dünyası için yapılan lojistik tanımı: “Müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla mamul/hizmetler ve bunlara ilişkin bilgilerin ve envanterin üretim yerinden tüketim yerine doğru etkin ve yeterli akışını sağlamaya yönelik planlama, yürütme ve kontrol etme sürecini kapsar.”

Lojistik faaliyetlerin amacı; doğru ürünleri ve/veya hizmetleri, doğru miktarlarda, doğru yerde, doğru zamanda ve en az maliyetle mevcut bulundurmaktır. Söz konusu işlemlerin yerine getirilmesinde en önemli amaç olası en düşük maliyeti elde etmektir. 1997 yılında Amerika Birleşik Devletleri GSMH’ın %11 gibi büyük bir kısmını (862 milyon dolar) lojistik faaliyetler oluşturmuştur (Ghiani ve ark. 2004).

Lojistik işlevleri içinde yer alan bazı faaliyetler Çizelge 1.1’de verilmiştir. Çizelgede yer alan faaliyetler arasında taşıma, depolama ve yükleme işlemleri en önemli ve en yüksek maliyetli faaliyetlerdir(Anonim 2006).

Çizelge 1.1: Lojistik Faaliyetler

ANA FAALİYETLER	Müşteri Hizmetleri
	Taşıma ve Trafik Yönetimi
	Envanter Yönetimi
	Depo/Depolama Yönetimi
	Yükleme İşlemleri
	Talep Yönetimi
	Sipariş Yönetimi
	Koruyucu Ambalajlama
DESTEK FAALİYETLER	Depo/Dağıtım Merkezi Yer Seçimi ve Yerleşimi
	Dokümantasyon Akışı
	Ürün/Envanter Akışı
	Üretim Planlama
	Satın Alma
	Yedek Parça ve Satış Sonrası Destek
	Geri Dönüşüm/Tersine Lojistik
	Sigortalama/Gümrükleme

KAYNAK: İSTANBUL TİCARET ODASI, Türkiye Lojistik Sektörü Altyapı Analizi 2006, s.11

Çizelge 1.1’de yer alan her bir faaliyet tek başına bir maliyet unsurudur ve diğer faaliyetlerin maliyetlerini etkileyebilecek unsurlardır. Bu nedenle toplam maliyetlerin düşürülmesi ve rekabet avantajı elde edebilmek için tüm lojistik faaliyetlerin bütünsel olarak düşünülmesi gerekir. Bu da “lojistik yönetimi” kavramını ortaya çıkarmaktadır. Lojistik yönetimi; müşteri gereksinimleri doğrultusunda sevkiyat noktası/noktaları ile teslimat nokta/noktaları arasındaki malzemelerin iki yönlü akışı boyunca yer alan faaliyetlerin bütünsel yönetimidir.

Lojistik yönetimi kavramı; müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere, ham maddenin başlangıç noktasından, ürünün tüketildiği son noktaya kadar olan tedarik zinciri içindeki malzemelerin, servis hizmetlerinin ve bilgi akışının etkili ve verimli bir şekilde, her iki yöne doğru hareketinin ve depolanmasının, planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesidir (Lambert ve Stock, 1999).

Lojistik yönetimi üç ana faaliyetten oluşmaktadır: Sipariş işleme, envanter yönetimi ve ulaştırma. Sipariş işleme, müşteriden gelen talep doğrultusunda bilgilerin işlenmesi ve kaydedilmesi ile ilgili bütün işlemleri kapsar. Envanter yönetimi, ham madde ve nihai ürünlerin stoklanma politikalarını ve faaliyetlerini içerir. Ulaştırma ise malzemelerin taşıma şekillerini, hizmet seçimini ve ilgili faaliyetleri içermektedir (Ghiani ve ark. 2004).

1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Global pazarlarda işletmelerin devamlılığını sağlayabilmesi için işletme sınırları dışına çıkarak, üretime değer katan tüm süreçleri göz önüne almaları gerekmektedir. Dolayısıyla işletmeler geleneksel satın alma stratejisinden tedarik zinciri yapısına geçmişlerdir. Firmalar bir yandan pazara erişim zamanını ve maliyetleri düşürmeyi planlarken, diğer yandan karlılığın ve etkinliğin artmasını istemektedir.

Tedarik zinciri yönetimi, müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak biçimde, sistemde yatay ve dikey olarak yer alan tüm farklı yapıdaki işletmelerin, uzun dönemde tüm sistemin performansını arttırmak amacıyla stratejik işbirliği yaparak talebi yönetmeleridir (Anonim 2006).

Bir tedarik zinciri, ürünlerin, tedarikçiler, üreticiler, toptancılar, dağıtımıcılar, perakendeciler ve nihai olarak da tüketiciler arasındaki hareketini sağlayan ilişkiler ve bağlantılar bütünüdür. Mal ve hizmetlerin tedarik aşamasından, üretimine ve nihai tüketiciye ulaşmasına kadar birbirini izleyen tüm halkaları kapsar. İş süreçleri açısından bakıldığında, tedarik zinciri; satış süreci, üretim, envanter yönetimi, malzeme

temini, dağıtım, tedarik, satış tahmini ve müşteri hizmetleri gibi pek çok alanı içine almaktadır (http://tr.wikipedia.org/wiki/Tedarik_zinciri_y%C3%B6netimi, 2009).

Tedarik zincirinde amaç, sistemin tüm performansını arttırmaktır. Bu nedenle sistem içinde yer alan tüm işletmelerin performansının artması gerekmektedir. Tedarik zinciri faaliyetlerinin sisteme faydaları ise aşağıda verilmiştir:

- Envanter azalmasını sağlar,
- Sipariş karşılama oranı yükselir,
- Tedarik çevrim süresi kısalmır,
- Lojistik maliyetler ve toplam maliyetler azalır,
- Verimlilik ve kapasite artar,
- Müşteri memnuniyeti artar,
- Üretim devamlılığı oluşur,
- Pazarda meydana gelen değişikliklere hızlı adaptasyon sağlanır.

Tedarik zinciri yönetimi; müşteriye doğru ürünün, doğru zamanda, doğru yerde, doğru fiyata tüm tedarik zinciri için mümkün olan en düşük maliyetle ulaşmasını sağlayan malzeme, bilgi ve para akışının entegre yöntemidir (Şen, 2006).

Eraslan (2003) tarafından bildirildiğine göre; tedarik zinciri yönetimi, işletmenin iç kaynaklarının dış kaynaklarına entegre edilerek etkin bir biçimde çalışmasının sağlanmasıdır. Amaç; geliştirilmiş üretim kapasitesini, piyasa duyarlılığı ve müşteri/tedarikçi ilişkileri gibi işletmenin tüm performansını oluşturan değerlerin artırılmasıdır. Tedarik zinciri yönetimi, hammaddelerin temin edilmesinden imalat ürünlerine ve buradan da tüketiciye işlenmiş ürünlerin dağıtımına kadar tüm tedarik zinciri boyunca bilgiye dayalı karar alınmasına olanak vermektedir.

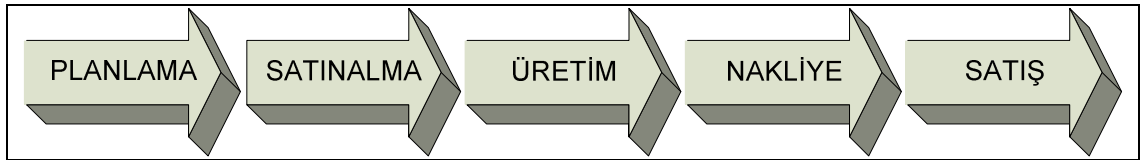
Başka bir çalışmada yer alan tanıma göre tedarik zinciri yönetimi; müşteri odaklı kurumsal vizyon etrafında gelişim gösteren, bir işletmenin iç ve dış bağlantılarını yöneten ve ardından iç fonksiyonellik ile iç-organizasyon arasındaki sinerjinin bütünleşmesini ve koordinasyonunu sağlayan bir yapı olarak ele alınabilir. Tedarik

zincirinin başarılı bütünleşmesi; ağırlıklı olarak, tedarik zincirindeki halkalar arasındaki kusursuz ve zamanında bilgi paylaşımına bağlıdır (Min ve Zhou, 2002).

Tedarik zincirini oluşturan halkalar arasındaki sıkı ilişki, tüketici veya müşteri ile işletme arasında olduğu kadar işletme (alıcı) ve tedarikçisi (satıcı) arasında da mevcuttur. Müşteri ile tedarikçi işletme arasında, özellikle dağıtım gereksinimlerinin daha sık karşılanması için, en az hatayla karşılama ve daha büyük ölçekli işbirliği yaratmada önemli bir kavramdır ve tedarikçi ile müşteri arasında kurulan “ağ” kalıcı ve uzun ilişki oluşturulması anlamında ele alınmaktadır. Bir şirketin temel hedefi, tedarik zincirinden geçen ürünlere bir değer katmak ve bu ürünlerin; istenilen miktarlarda, uygun nitelikte ve istenilen zamanda nakliyat sürecinde rekabetçi bir maliyet anlayışıyla dağıtılması sürecidir (Paksoy, 2005).

Tedarik zincirini oluşturan iki ana süreç malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtımdır. Malzeme yönetimi, gelen hammadde veya ürünlerin satın alınması taşınması ve depolanması gibi faaliyetleri içerirken; fiziksel dağıtım sürecinde, üretimden tüketiciye olan tüm dış lojistik işlemleri kapsamaktadır. Tedarik zincirine ait malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtımına ait bileşenler Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Tedarik zinciri yönetimi ve lojistik yönetimi birbirine yakın kavramlar olsa da aralarında oldukça belirgin bir fark bulunmaktadır. Şekil 1.1’de de görüldüğü gibi tedarik zinciri yönetimi, lojistik faaliyetlerin bir adım ötesini oluşturmaktadır. İşletme içinde lojistik faaliyetleri satın alma ve dağıtım işlemleri oluştururken, bu faaliyetler dışında yoğun bir bilgi ve envanter akışı görülmektedir.

Şekil 1.1: Tedarik Zincirinin Bileşenleri



1.3. Lojistik Faaliyetler

Lojistik yönetimi sürecinde yer alan ana faaliyetler ve destek faaliyetler Çizelge 1.1’de verilmiştir. Bu faaliyetler müşteri ile firma arasındaki mal, hizmet ve bilgi akışını sağlamaktadır.

1.3.1. Müşteri hizmetleri

Lojistik yönetiminde işletmelerin en önem verdiği konulardan biri müşteri hizmetleridir. İşletme, müşteri istekleri ile paralel hareket ederek müşteri memnuniyetini yüksek tutmayı sağlarsa işletmenin pazardaki payı artmış olur.

Lojistik yönetiminde müşteri hizmetlerinin amacı, ilk seferde her şeyi doğru yapmaktır. Bunun temelinde ise toplam kalite anlayışı yatmaktadır. İşletmenin bakış açısı müşteri odaklı olmalıdır. Sistemde siparişin alınmasından teslimatına kadar geçen sürede yapılan işlemler, çalışmalar ve bilgi akışı müşteri odaklı olmalıdır (Anonim, 2006).

Müşteri hizmetlerinin lojistik sistemi içinde başarılı olabilmesi; müşteri istek ve beklentilerinin anlaşılmasına, hizmetin somutlaştırılmasına, işlemlerin doğru ve eksiksiz yapılmasına, değişikliklerin zamanında yapılmasına ve bu işleri yapacak elemanların tam bilgili olmasına bağlıdır. Sağlam (2003) tarafından bildirildiğine göre, bu kriterler dört ana faktörle açıklanmıştır: Sipariş dönemi zamanı ve hızı, güvenilirlik, iletişim ve kolaylık.

1.3.2. Taşıma

Malzeme nakli, lojistik faaliyetleri içerisinde gözle görülebilir en önemli işlemdir. Sistem içerisinde malzeme veya hizmet üretimi amacı ile yapılan tüm taşımalar bu faaliyet alanı içerisinde yer almaktadır.

Bu tanım bir üretim sistemi için düşünülürse; fabrika içerisinde hammadde, yarı mamul ve mamullerin taşınması yükleme-boşaltma işlemleri ve bunlara ait form/bilgi akışı bir taşıma işlemidir (Özkan, 2006).

Taşıma işlemi hem maliyetli hem de zaman kaynaklarını fazla kullanan bir lojistik faaliyetidir. Ulaştırma maliyetleri ise iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlar: Taşıma için kullanılacak makinelerin ilk yatırım maliyetleri ve sistemin çalıştırılması için yapılan harcamalardır. Bu nedenle bu faaliyet için alınan kararlar lojistik yönetiminde büyük öneme sahiptir. Ulaştırma ile ilgili başlıca kararlar; ulaştırmanın hangi yol ile gerçekleştirileceği, taşıma rotasının belirlenmesi, sevkiyat işlemlerinin nasıl yapılacağı vb. konuları içermektedir (Stock ve Lambert, 2000).

1.3.3. Envanter yönetimi

Envanter; üretimde beklenmeyen durumlar, gecikmeler, mevsimlik dalgalanmalar ve diğer düzensizliklere karşı işletmeyi güvence altına almak üzere atıl bekletilen ancak gerektiğinde kullanılacak olan kaynakları ifade eder (Şeker, 2007).

Envanter kavramı hakkında yapılan başka bir tanım ise; üretimi istenen düzeyde tutmak, teslim ve satışı istenen özelliklere göre gerçekleştirmek amacı ile malzeme, materyal, yarı işlenmiş ve tamamlanmış ürün mevcudunun elde bulundurulmasıdır (Anonim, 2006).

Üretime katılan dolaylı ve dolaysız tüm fiziksel varlıklar stok olarak adlandırılır. Bundan dolayı işletmede bulunan hammadde, yarı mamul ve mamul stok olarak belirtilir ve envanter miktarı bu varlıkların parasal değeri ile ölçülür.

Envanter yönetimi; ham madde ve bitmiş ürünlerin stoklama politikalarının düzenlenmesini, tam zamanlı üretim stratejilerinin belirlenmesini içerir (Sezgin, 2008). Envanter yönetimi; hangi ürün/ürün gruplarının envantere alınacağı, ne zaman sipariş verileceği ve verilecek sipariş büyüklüğü gibi konuları kapsamaktadır.

- Deponun üçüncü fonksiyonu, 'hizmet' sağlamaktır. Müşteri siparişini geçtiğinde, müşteriye uygun uzaklıkta olan bir depoda ürünün var olması, müşteriye zamanında teslimat yapılması ve müşteri tatmini ile sonuçlanacaktır ve gelecekteki satışları olumlu etkileyecektir.
- Depolamanın dördüncü fonksiyonu, olumsuz ihtimallere karşı 'koruma' sağlamasıdır. Nakliye gecikmeleri, satıcı stoksuzluğu, grevler gibi olumsuz durumlarda müşteriye depolardaki stoklardan mal verilmesi mümkün olur.
- Depolamanın bir başka fonksiyonu ise, üretimin ara aşamalarındaki “yarı ürünlerin stoklanması” ile çeşitli durumlarda iş merkezlerinde meydana gelebilecek duruşlardaki kayıpların azaltılması ve üretimin tam kapasite çalışmadığı durumlarda yarı ürün stoku yapılarak çok yoğun zamanlardaki mesailerin önlenmesidir. Buna düzeltme/pürüzleri giderme (smoothing) fonksiyonu adı verilir.

1.3.5. Yükleme

Önemli bir lojistik faaliyet alanı olan yükleme, kısa mesafeli malzeme taşıma işleminin gerçekleştirilmesidir. Malzemenin depoya veya antrepolara vinç, konveyör, konteynır, forkliftler ile taşınması, istiflenmesi, oradan nakliye araçlarına taşınarak yüklemenin yapılması gibi işlerdir (Eker, 2006).

Yükleme gerek ürünlerin taşınması gerek depolanması, gerekse de yüklenmesi açısından depo operasyonlarının verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yükleme hangi sistemde kullanılırsa kullanılsın amaç etkinliğin artırılması olmalıdır. Yükleme ile (Anonim, 2006);

- Depolama etkinliğinin artırılması,
- Dolaşım alanının en küçüklenmesi,
- Ürünlerin depoda bekleme sürelerinin kısaltılması,

- Depolarda yükleme sayısının azaltılması,
- Maliyetlerin azaltılması,
- İnsan gücü kullanımının azaltılması,
- Etkin çalışma ortamlarının sağlanması,
- Lojistik hizmet düzeyinin artırılması amaçlanmaktadır.

1.3.6. Koruyucu ambalajlama

Lojistik faaliyetleri içinde önem kazanan diğer bir faaliyet alanı da ambalajlama işlemidir. Ambalajlama; bitmiş ürün ya da ham madde, malzemelerin depolanması, yüklenmesi esnasında korunması için paketleme ile ilgili faaliyetleri içerir. Bu işlemler mamulün sevkiyatı ve satışı için önemlidir (Sezgin 2008).

Ambalajlamanın temel amacı; lojistik akış sürecinde ürünü korumak, ürünü tanımlayıcı bir kimlik kazandırmak ve ürünü etkin bir şekilde varacağı yere ulaştırmaktır (Aydemir, 2006).

Sağlam (2003) tarafından bildirildiğine göre; ambalaj üzerinde yeterli bilgilendirmenin olması, depolama ve lojistik personeline ürünle ilgili yeterli bilginin sağlanması açısından gereklidir. Bu amaçla ambalaj üzerinde bulunan sayısal kodlar, renk kodları, semboller ya da bu yöntemlerin kombinasyonu kullanılabilir. Müşteri odaklı yaşamın getirdiği gereklerden biri de, ambalajın müşterinin taşıma olanaklarına elverişli olarak tasarlanmasıdır. Malzeme aktarımı ve nakliye aşamalarında ürünün zarar görmemesi için ambalajın ürünü koruyucu nitelikte olması şarttır.

Paketleme genel olarak iki şekilde incelenebilir. Bunlar; pazar odaklı tüketici ambalajlama ve lojistik odaklı endüstriyel ambalajlamadır. Pazarlama felsefesinde paketleme, ürünün teşvikinde ve reklamında kullanılan bir yöntemdir. Ürünün şekli, ağırlığı, rengi ve görüntüsü müşteriyi etkiler ve ürün hakkında bilgilendirir. Genelde ideal tüketici için ambalajlama, lojistik yaklaşımından oldukça uzaktır. Endüstriyel odaklı ambalajlama faaliyetlerinde ise önemli olan iki faktör; ürünün fiziksel korunumu

ve maliyetlerdir. Eğer ambalajlama, lojistik işlemlere göre tasarlanmamışsa, toplam sistem performansı kötüye gidecektir. Ürünlerin ve parçaların, lojistik yaklaşıma uymaları için koyulacakları paketlerin standardizasyonu yapılmış olması gerekmektedir. Böylelikle hem yerden hem de ekstra maliyetlerden kurtulmuş olunacak ve depo yönetimi kolaylaşacaktır (Özkan, 2006).

1.3.7. Bilgi iletişimi ve sipariş işleme

Lojistik sistemlerde bilgi yönetimi; bilginin toplanması ve analizi ile ilgili faaliyetleri kapsar. Lojistik sistemde tüm fiziksel akışlar müşteri ile tedarikçi arasındaki iletişim ile başlar. Bilgi yönetiminin etkin bir şekilde kullanılması ile işletmede hizmetin etkin bir şekilde üretilmesi, etkin tedarik zinciri yönetiminin sağlanması ve esneklik (zaman, yer ve biçim) gibi avantajlar sağlar.

Lojistik bilgi sistemi temel olarak sipariş yönetimidir. Müşteriye kaliteli bir hizmet sunabilmek için siparişlerin planlanması, alınması, aktarılması, işlenmesi, hazırlanması ve yollanması sırasında bilginin ve dokümantasyonun eksiksiz yapılması gerekmektedir. Bunun için sistemde etkinliğin artırılabilmesi için iletişim standartlarının belirlenmesi ve işlemler arası iletişimin eksiksiz olması gerekmektedir (Anonim, 2006).

1.3.8. Talep tahmini

Talep tahmini, gelecekteki belirli bir zaman aralığı için müşterilerin ihtiyaç duyacağı ürün ve hizmetin talep miktarının tahmin edilmesidir. Lojistik yönetimi, satış tahminlerinden yararlanarak ne kadar hammadde sipariş verileceğini, nereye ne kadar ürün taşınacağını, hangi üründen nerede ve ne kadar stok bulundurulacağını belirler. Bunun için işletmenin ve piyasanın geçmiş verilerinden yararlanılarak gelecek için tahmin değerleri hesaplanır.

Chopra ve Meindl (2004) tarafından bildirildiğine göre, talep tahmini, stratejik düzeyden operasyonel seviyeye kadar alınacak çoğu kararın temelini oluşturur. Talep tahminine göre şekillenen bazı stratejik kararlar aşağıdaki gibi örneklenebilir:

- Üretim: Çizelgeleme, stok kontrolü, toplu planlama, satın alma
- Pazarlama: Promosyonlar, yeni ürün tanıtımları
- Finans: Fabrika-ekipman yatırımları, bütçeleme
- Personel: İşgücü planlama.

Talep tahmininde en önemli unsurlardan birisi eldeki veriler ile geleceğe ait en gerçekçi tahminlerin yapılmasıdır. Bunun için incelen zaman aralığı ve tahminde kullanılacak yöntemler önemlidir. Yetersiz zaman aralıklarında sezgisel yöntemler de kullanılabilir.

1.4. Taşımacılık ve Taşımacılık Türleri

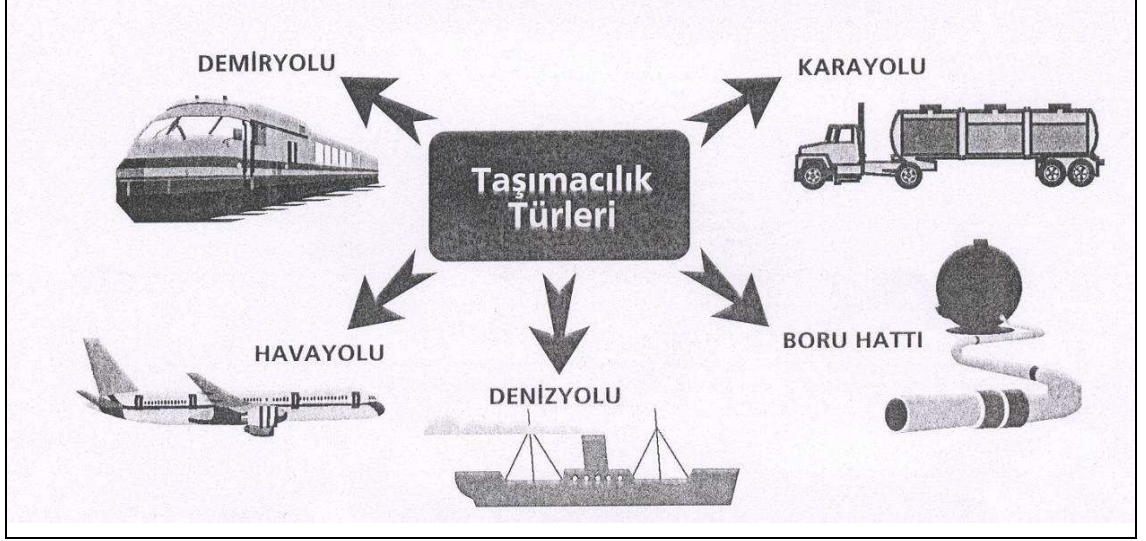
Günümüzde ulaştırma sistemleri, küresel ekonominin en temel faaliyetlerinden biri haline gelmiştir. Dünyada ticaret hacminin büyümesi ile eşya ve yolcu hareketleri artmıştır. Bu hareketlilik taşıma sistemlerinin önemini arttırmış ve bu alana yapılan yatırımları büyütülmüştür (Erdal, 2009).

Tek (1997) tarafından bildirildiğine göre taşıma, ürünün ihtiyaçları tatmin etmek amacıyla zaman ve mekân faydası sağlayacak şekilde yer değiştirmesini sağlayan bir fonksiyondur.

Taşıma kavramı dar anlamda bakıldığında bir nesnenin bir yerden bir yere nakli olarak tanımlanabilir. Geniş anlamda taşımacılık ise; müşteri ihtiyaçlarının giderilmesi amacıyla üretilen malların istenilen bölge ve merkezlere zamanında ulaştırılması demektir. Bu yönü ile taşımacılık, istenilen malzemenin yanında gerekli evrakların da taşınmasını gerektiren karmaşık bir sistemi ifade etmektedir.

Ulaştırma sistemleri içinde belli başlı kullanılan beş farklı taşımacılık sistemi bulunmaktadır. Bunlar; karayolu, denizyolu, demiryolu, havayolu ve boru hattı taşımacılığıdır (Ghiani ve ark., 2004). Taşımacılık türleri Şekil 1.2’te şematik olarak verilmiştir.

Şekil 1.2: Lojistikte Taşımacılık Türleri



Kaynak: Çancı ve Erdal, 2009. Lojistik Yönetimi. Utikad Yayınları

İşletmelerde taşıma sisteminin seçimini belirleyen karakteristikler ise; malzemenin ortalama sevkıyat süresi, sistemin güvenilirliği, taşıma sisteminin kalitesi, sistemin elde edilebilirliği ve sistemin maliyetidir. Bu taşıma sistemlerine ek olarak, son yıllarda gelişen kombine taşımacılık sistemi büyük önem kazanmıştır. Kombine taşımacılıkta, birden fazla taşıma sistemi kullanarak malzemelerin en az maliyetle ve en hızlı şekilde taşınması sağlanmaktadır (Ballou, 1973).

1.4.1. Karayolu taşımacılığı

Karayolu taşımacılığı en çok tercih edilen taşıma biçimidir. Bu sistem içinde kullanılan araçlar genel olarak; tır, kamyon, tanker ve bunun gibi motorlu taşıtlar olmaktadır. Karayolu taşımacılığı malın kapıdan kapıya aktarmasız, en az zararla ve hızlı bir şekilde teslim edilmesini sağladığı için tercih edilen bir taşıma biçimidir.

Ancak, mesafe arttıkça karayolu taşımacılığı ekonomik olmaktan çıkmaktadır (Özkan, 2006).

1.4.2. Demiryolu taşımacılığı

Demiryolu taşımacılığı, özellikle uzun mesafeli yollarda düşük maliyetlere sahip olan bir taşıma türüdür. Demiryollarının maliyetleri sabit olduğundan büyük hacimli kitle taşımaları için elverişlidir. Ancak bu taşıma biçimi zaman ve güvenilirlik açısından zayıf kalmaktadır. Bu nedenle demiryolu taşımacılığı, genellikle hammadde veya düşük değerli malların taşınmasında tercih edilmektedir (Ghiani ve ark., 2004).

Demiryolu taşımacılığının oluşturulabilmesi için hatlar, raylar, tünel, köprü, sinyalizasyon sistemi, vagon ve çekici gibi fiziksel birimlerin kurulması gerekmektedir. Ayrıca bu sistemin kurulabilmesi için eğimi az olan araziler tercih edilmektedir. Bu nedenle demiryolu taşımacılığı için kurulum maliyeti yüksek ve kurulumu zor bir sistemdir.

Son yıllarda kamuoyunda çevresel konulara duyarlılığın artması sebebi ile demiryolu taşımacılığına duyulan ilgi artmıştır. Özellikle yolcu taşımacılığı için gelişme sağlayabilmek için, hizmet kalitesi, konfor, güvenilirlik ve fiyat konusunda iyileştirmeler yapılmıştır. Avrupa'da yüksek hızlı trenler karayolu ve havayolu taşımacılığına göre tercih edilir bir alternatif olmuştur.

1.4.3. Denizyolu taşımacılığı

Denizyolu taşımacılığı ülke içi veya uluslar arası yollarda bozulmayan ve yığın halindeki malzemenin taşınması için en uygun ve ekonomik taşıma şeklidir. Maliyetler açısından demiryolu ve boru hattı taşımacılıkları ile rekabet edebilir. Fakat bu taşıma biçiminin zayıf yönlerinden birisi yavaş olması ve hava şartlarından da olumsuz

etkilenmesidir. Ayrıca liman, tersane ve iskele gibi fiziksel altyapının oluşturulması da yüksek maliyet getirmektedir (Şeker, 2007).

1.4.4. Havayolu taşımacılığı

Havayolu taşımacılığı diğer taşımacılık türlerine göre en hızlı ve en maliyetli olan taşımacılık türüdür. Bu nedenle taşımak için tercih edilen mallar genellikle yüksek değerli ve perakende özellik taşımaktadır. Bu sayede işletme depolama maliyetlerini düşürme avantajı sağlayabilir.

Havayolu taşımacılığının en büyük avantajı hızlı olmasıdır. Çabuk bozulabilir veya zaman kısıdı olan mallar için avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında değerli kargoların güven içinde taşınmasına imkân verir. Bu avantajlara rağmen havayolu taşımacılığı yatırım açısından büyük sermaye gerektirir ve işletme maliyetleri yüksektir (Erkayman, 2007).

1.4.5. Boru hattı taşımacılığı

Boru hattı taşımacılığı petrol, doğalgaz, fuel oil, su gibi sıvı ve gaz maddelerin taşınmasında kullanılmaktadır. Son zamanlarda sıvı maddelerin yanı sıra katı malzemeler için de boru hattı taşımacılığı gelişme göstermektedir. Bu maddeler boru içerisinde kesintisiz ve hızlı bir şekilde taşınabilmektedir. Diğer dört taşıma şekline farklı olarak bu taşıma sistemini oluşturan fiziksel yapılar; borular, pompalama istasyonları, depolama tankları ve arazilerdir (Ballou, 1973).

Boru hattı taşımacılığını diğer taşıma türlerine göre avantajlı kılan en büyük neden malzeme taşıma işleminin sürekli olmasıdır. Bunların yanında işçilik maliyetleri, enerji maliyetleri ve hasarlardan doğan maliyetler diğer taşıma türlerine göre azdır. Fakat bu taşıma şeklinin en büyük dezavantajı, diğer taşıma türlerine göre ilk yatırım maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır.

1.5. Lojistik Maliyetler

Günümüzde işletmelerin maliyet muhasebesi sistemlerinde yer alan fonksiyonlar arasında lojistik faaliyetleri önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Firmaların rekabet edebilmesi için en önemli unsurlardan birisi iyi bir maliyet stratejisi ile maliyet liderliğinin ele geçirilmesidir. Maliyet verileri, operasyonel, stratejik ve finansal içerikleri ile işletmeler için çok önemli bir yer tutmaktadır. Birçok etken işletmelerin maliyet yapılarını değiştirmiş ve bu durum daha gelişmiş maliyet tekniklerine ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Bu nedenle işletmelerde lojistik maliyetlerin yönetimi ile mamul karlılığı, fiyatlandırma, müşteri karlılığı, işletme karlılığı gibi avantajlar elde edilmektedir (Demir, 2006).

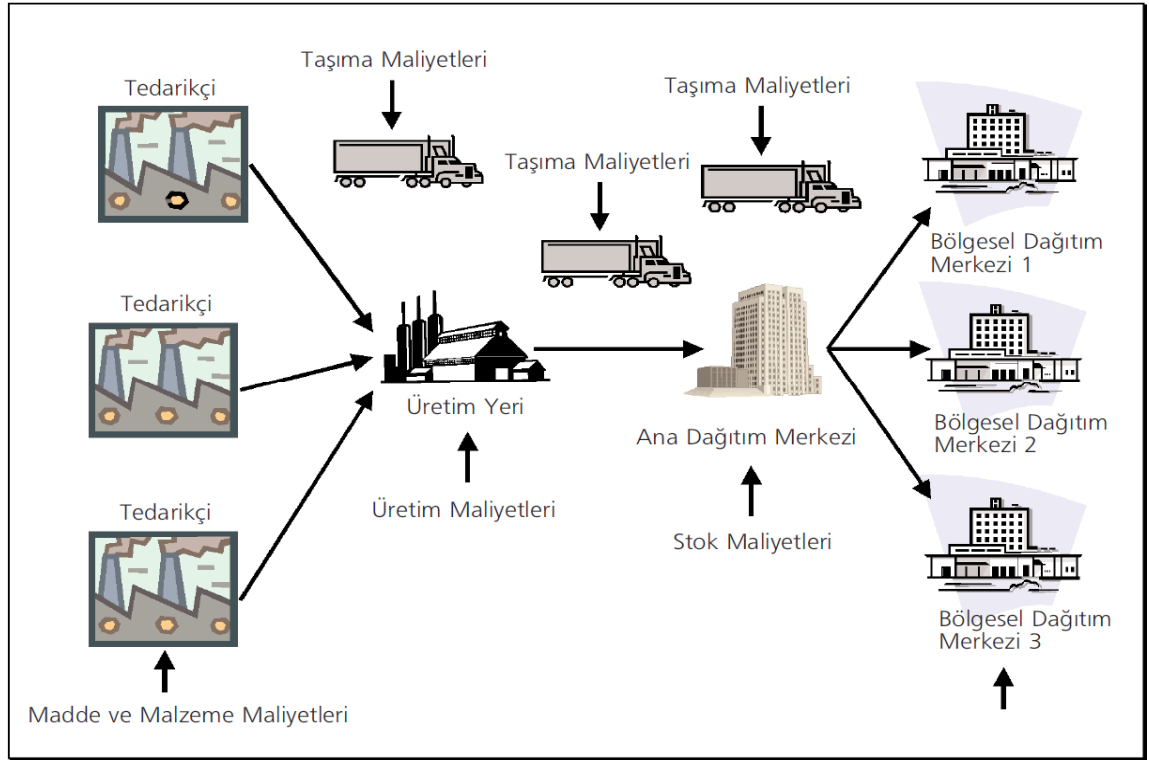
Lojistik maliyetler, lojistik faaliyetler ile ortaya çıkan maliyetler olarak tanımlanmaktadır. Lojistik maliyetler incelenirken, lojistik sistem içinde yer alan bütün faaliyetler birbirleri ile ilişkilendirilerek analiz edilmesi gerekmektedir (Özdemir, 2007).

Direk (2009) tarafından bildirildiğine göre ise lojistik maliyet tanımı; malların tedarik edilmesinden, depolanmaya, taşımacılık ve bilgi sistemlerine kadar tüm lojistik süreçleri içine alan masrafları kapsamaktadır. İşletmelerde lojistik maliyetlerin net bir şekilde ölçülebilir olması (<http://www.samidirek.com/genel/lojistik-maliyetler/10/>, 2009):

- Direk maliyetlerin belirlenmesi,
- Mamul miktar ilişkisinin daha iyi anlaşılması,
- Maliyet azaltma imkânları,
- Yeni teknoloji yatırımlarının belirlenmesi,
- Maliyetlere daha çok önem verilmesi gibi birçok amaca hizmet etmektedir.

Lojistik yönetim sistemi içerisinde bulunan fiziksel tedarik ve fiziksel dağıtım alt sistemlerinin oluşturduğu maliyetlerin basit görünümü Şekil 1.3'te sunulmuştur.

Şekil 1.3: Lojistik Yönetiminde Tedarik ve Dağıtım Alt Sistem Maliyetlerinin Ortaya Çıkışı



KAYNAK: Özdemir, Lojistik Maliyet Yönetiminde Optimizasyonla Sağlanan Etkinlik Artışının İşletmelerin Finansal Yapısı Üzerindeki Etkisinin Taşıma Maliyetleri Yönünden İncelenmesi 2007, s.61

Toplam maliyet ve sistem yaklaşımına göre lojistik maliyetlerin bir bütün olarak incelenmesi önemlidir. Faaliyetlerin tek tek incelenerek maliyet analizi yapılması diğer faaliyetlerin göz ardı edilmesi anlamına gelir. Faaliyetlerde maliyetler minimize edilmek istenirken toplam lojistik maliyetlerde bir yükselme gözlenebilir. Bu nedenle yöneticilerin maliyet politikalarını; toplam maliyet yaklaşımına göre oluşturmaları gerekmektedir. Lojistik yönetimde temel faaliyetlere yönelik maliyet oranları ve satışlardaki yüzdesi Çizelge 1.2’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, bir ürünün satış fiyatının % 9.57’si lojistik maliyetlerden oluşmaktadır. Lojistik maliyetler içinde ise taşıma faaliyeti %37’lik bir oran ile en büyük paya sahip faaliyettir. Bu sebeple taşıma faaliyetleri firmalar için büyük bir öneme sahiptir.

Çizelge 1.2: Lojistik Maliyetlerin Dağılımı

<i>Fonksiyon</i>	<i>Satışlardaki Yüzdesi</i>	<i>Lojistik Maliyet</i>
Taşıma	%3,54	%37
Depolama	%2,39	%25
Sipariş girişi	%0,76	%8
İdare	%0,85	%9
Malzeme nakli	%2,03	%21
<i>Toplam Lojistik Maliyetleri</i>	<i>%9,57</i>	<i>%100</i>

KAYNAK: Özkan, Araç Rotalama ve Çizelgeleme 2006, s.24

1.5.1. Taşıma maliyetleri

Taşıma maliyetleri, malzeme ve ürünlerin taşınmasından kaynaklanan maliyetleri kapsar. Bu maliyetler, malzemenin hacim, ağırlık, taşıma mesafesine, taşınırken oluşabilecek hasarın durumuna, taşıma yöntemine göre değişebilmektedir. Taşıma maliyetleri ürün veya hizmet üretmek maksadıyla yapılan faaliyetlerde yer alan bütün taşımaları kapsar. Bu faaliyetler esnasında ürüne veya hizmete değer katmayan taşımalar israfa neden olmaktadır. 1970’lerde petrol fiyatlarının artmasıyla birlikte taşıma maliyetleri, lojistik maliyetler içinde büyük bir önem kazanmıştır (Polat, 2007).

1.5.2. Depolama maliyetleri

Depolama, ürüne zaman faydası sağlayarak arz talep dengesini uygun kılan faaliyetlerdir. Depolama, ürünlerin istenilen zaman ve uygun koşullarda satışa sunulmasını sağlar. Depolanan malzeme; hammadde, ürün veya yarı mamul şeklinde olabilir ve bunlar sistemin başlangıç, tüketim veya ara noktalarında depolanabilir. Depolar fiziksel bir birim olmasına rağmen statik bir yapıya sahiptir. Ürünlerin depoya getirilmesi, yerleştirilmesi, depodan yollanması gibi faaliyetler içinde birçok eylem söz konusudur. Depolama esnasında gerçekleştirilen her eylem ürüne bir maliyet yüklemektedir. Bu maliyetlerin yanında, depoya konulan her ürün sermayenin

bağlanması anlamına gelmektedir. Bu nedenle işletmelerde depolama büyük bir öneme sahiptir.

Depolama maliyetleri, depolama faaliyetlerindeki değişikliklere bağlı olarak arttırılabilecek veya azaltılabilecek harcamalardır. Bu maliyetler genel olarak sabit yapılı maliyetleridir ve elimine edilmesi için deponun kapatılması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda Batı'da depolama maliyetleri satışlar içinde % 6–9 arasında değişmektedir. Türkiye'de ise bu oran % 18 civarındadır (Polat, 2007).

1.5.3. Sipariş işleme ve enformasyon maliyetleri

Sipariş iletimi, sipariş girişi ve işlenmesi, ilgili taşıma maliyetleri ile iç ve dış iletişim masrafları bu grup altında incelenmektedirler. Müşteri siparişi, lojistik sistemini harekete geçiren komut görevi görmektedir. Sipariş bilgisinin akışı bütün operasyonun maliyeti ve etkinliği üzerinde direkt bir etkiye sahiptir. Hatalı veya yavaş iletişim kurulması; müşteri kaybına, fazla stok düzeylerine, depolama maliyetlerine, nakliye maliyetlerine neden olmaktadır. Yönetim bu maliyetler üzerinde dururken, maliyetlere katlanılarak elde edilen bilgilerin karar alma aşamasındaki önemi düşünülmelidir (Aydemir, 2006).

1.5.4. Envanter taşıma maliyetleri

Envanter taşımanın getirdiği maliyetlerin hesaplanması, kaybedilen satışların getirdiği maliyetlerin hesaplanması kadar zordur. Bu maliyet grubunda sadece envanter seviyesindeki değişimlere bağlı olarak değişen maliyetler düşünülmelidir. Bu maliyetler aşağıdaki maliyet kalemlerinden oluşabilir (Özkan, 2006):

- Kapital maliyetleri; envantere bağlanan parayla firmanın yönelemediği diğer faaliyetlerin fırsat maliyetleri,
- Envanter hizmet maliyetleri; envanter üzerindeki vergi ve sigorta maliyetleri,
- Depolama sahası maliyetleri; depo yerinin kira ve diğer giderleri,
- Envanter risk maliyetleri; yeniden yerleştirme ve çalınma riski maliyetleri.

1.5.5. Parti büyüklüğüne bağlı maliyetler

Üretime ya da satın alma / tedarik maliyetlerine bağlı olan ve lojistik sistemindeki değişiklikler sonucu değişecek olan maliyetlerdir. Üretimdeki parti büyüklüğüne bağlı maliyetler; hazırlık zamanı, kontrol, hazırlık esnasında ortaya çıkan ıskarta, operasyona başlamadan dolayı verimli olamamaktadır.

Çoğu firma üretim hazırlık ve kapasite kaybı maliyetlerini üretim planlamasında veri olarak kullanmaktadır. Diğer maliyetler ise, parti hacmindeki değişikliğe gösterdikleri tepkiyle hesaplanabilir. Bu şekilde elde edilen veriler lojistik sisteminin planlanmasında kullanılabilir.

1.6. Lojistik Performans Ölçütleri

Bıyık (2000) tarafından bildirildiğine göre, lojistik sistem performansını ölçmede kullanılan belli başlı ölçütler; stok seviyesi, sipariş bilgisi, sipariş çevrim süresi, sevkiyat hızı, sistem doğruluğu, sipariş kolaylığı ve ürün ikamesidir.

1.6.1. Stok seviyesi

Stok seviyesi ürün bulunabilirliğinin bir ölçüsüdür. Ürün ve müşterilere ait problem oluşum noktalarını tespit etmek için stokta bulunmama durumlarının kayıtları tutulmalıdır. Stokta bulunmama durumuyla karşılaşıldığında, müşterinin kaybını telafi etmek için talep edilen ürün başka bir ürünle ikame edilmeli ya da stoka ilgili ürünün gelmesinden itibaren sevkiyat kolaylaştırılıp hızlandırılmalıdır.

1.6.2. Sipariş bilgisi

Sipariş bilgisi sistemi müşteriye, envanter durumu, muhtemel sevkiyat ve teslimat tarihleri hakkında hızlı ve doğru bir şekilde bilgilendirme kapasitesidir. Bekletilemeyecek, belirli bir tarihte karşılanmaması halinde geri alınacak siparişler bu sistem içinde ayırt edilmeli ve gerekli hızlandırma işlemleri mümkün derecede yapılmalıdır. Geri alınan sipariş sayısı ve bu tür siparişlerin çevrim zamanı sistemin performansı için birer ölçüt olabilir. Bu durumların da kayıtları tutulmalı ve sistemin zayıf olduğu noktalar tespit edilmelidir.

1.6.3. Sipariş çevrim süresi

Sipariş çevrimi müşterinin siparişinin başlangıcından müşteriye teslimatın yapılmasına kadar geçen toplam zamandır. Sipariş iletimi, sipariş girişi, sipariş takibi, siparişin karşılanması ve ambalajlanması ile teslimatı bu çevrimin elemanlarıdır. Müşterinin toplam çevrim zamanı ile ilgilendiği unutulmamalı, meydana gelebilecek aksamaların nedenlerini ayırt etmek için bu elemanlar ayrı ayrı yürütülüp incelenmelidir.

1.6.4. Sevkiyat hızı

Sevkiyat hızı müşteri memnuniyeti açısından önemli bir role sahiptir. Maliyetlerde normal sevkiyatlara göre bir artışa neden olsalar da, müşteriye kaybetmenin daha maliyetli olabileceği durumlarda katlanılmaktadır. Yönetim için önemli, olan bu tarz sevkiyatların uygulanacağı doğru müşterilerin seçilmesidir. Bu seçimdeki temel ölçütlerden biri müşterinin firma karlılığına olan katkısının gözden geçirilmesidir.

1.6.5. Sistem doğruluğu

Sipariş edilen miktar, ürün ve ödeme gibi konulardaki doğruluk, sistem doğruluğunu oluşturur. Buralarda yapılacak hatalar üretici ve müşteri için maliyet artısına neden olurlar. Hatalar, sistem içinde değerlendirilen siparişlerin bir yüzdesi olarak kayda alınmalıdır.

1.6.6. Sipariş kolaylığı

Sipariş kolaylığı, müşterinin siparişi verme esnasında karşılaştığı zorlukların derecesine bağlıdır. Karmaşık formlar ve standartlaşmamış terminoloji kullanımı nedeniyle yaşanan bu zorluklar hatalara neden olurlar ve müşteri ilişkilerini zedeler. Bu hataların tüm sipariş sayısına oranlanmış yüzdesi uygun bir performans ölçütüdür. Hataları tespit edip düzeltmek için müşteriyle ilişkiye geçilmeli ve görüşleri alınmalıdır.

1.6.7. Ürün ikamesi

Sipariş edilen ürünün yerine müşteriye aynı ürünün baksa büyüklükte olanının ya da aynı işlevi görecektir başka bir ürünün gönderilmesi durumunda bu eleman söz konusu olur. Ürün ikame politikasının uygulanabilmesi için müşteri ile yakın ilişkide olunmalı ve ikame edilen ürünle ilgili tercihleri yakından takip edilmelidir. Üretici aynı zamanda ikame gerektiren ürünlerin kayıtlarını tutmalı ve böylece performansını takip etmelidir.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

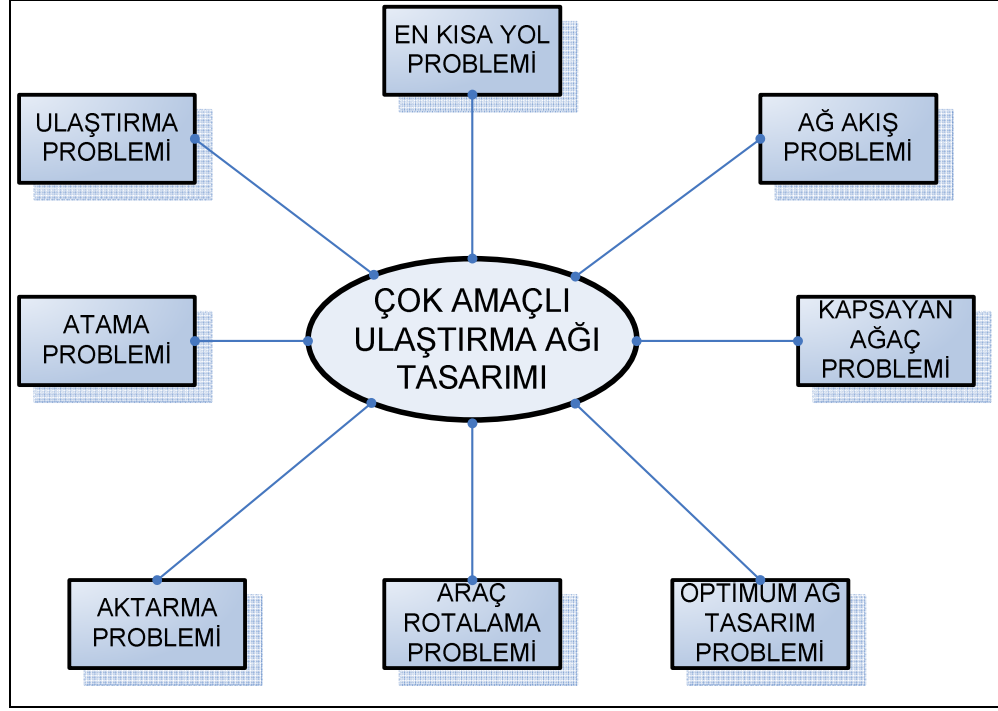
2.1. Araç Rotalama Probleminin Tanımı

Günümüzde bilişim teknolojilerinin hızlı bir şekilde gelişmesi ile birlikte işletmelerin bu gelişmelere ayak uydurabilmeleri ve ayakta kalabilmeleri için kendilerini yenilemeleri gerekmektedir. Bu açıdan müşteri taleplerinin zamanında ve en az maliyetle karşılanması da önem kazanmaktadır (Bayzan ve ark., 2002). Tam bir lojistik sistemi; hammaddelerin satıcılardan ya da tedarikçilerden alınarak taşınması, bu hammaddelerin üretim için imalat fabrikalarına dağıtılması, üretilen bu ürünlerin depolara ya da dağıtım merkezlerine aktarılması ve son olarak müşterilere dağıtılmasını kapsamaktadır. Hem dağıtım hem de tedarik prosedürleri etkili bir taşıma yönetimine ihtiyaç duymaktadır. İyi bir dağıtım yönetimi işletmenin toplam dağıtım maliyetlerinde önemli ölçüde bir azalma sağlayabilmektedir. Bu nedenle taşıma maliyetlerinin minimizasyonu konusunda pek çok araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların önemli bir kısmının Araç Rotalama Problemi alanında olduğu gözlenmektedir (Karahan, 2003).

Current ve Marsh (1993) yapmış oldukları çalışmada, araç rotalama problemlerini ve buna benzer yapıda olan yedi farklı ağ problemini sınıflandırmışlardır. Bu seviyeler problemlerin matematiksel yapılarına göre ayrıştırılarak Şekil 2.1’de verilmiştir.

Klasik VRP; taşıma maliyetlerini azaltmak ve müşteri hizmetlerini arttırmak için, merkezi bir depoda bulunan sınırlı kapasiteye sahip araçlar için değişik noktalara dağılmış tüm müşterilere en az maliyetle servis yapılacak rotaların bulunmasıdır (Canen ve Pizzolato, 1994).

Şekil 2.1: Çok Amaçlı Ulaştırma Ağı Tasarımı



KAYNAK: The Vehicle Routing Problem: A Taxonomic Review, Eksioğlu ve ark., 2009

Araç rotalama problemleri 1950’li yıllarda bilim adamlarının ilgi alanına girmeye başlamıştır. İlk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramster tarafından dağıtım sistemlerinde araçların rotalanmasıyla ilgili problem matematiksel olarak incelenmiştir. Yapmış oldukları tanımda araç rotalama problemleri, çeşitli talep noktalarına hizmet verecek merkezi bir depodan ve dağıtım sağlayacak eşit kapasiteli araç filosundan oluşmaktadır. Daha sonra ise 1972 yılında Miller ve Thatcher yapmış oldukları çalışmada araç rotalama problemlerinin NP-Zor bir yapıya sahip olduğunu göstermişlerdir (Yang ve Xiao, 2007).

2.1.1. Araç rotalama problemlerinin temel bileşenleri

Bir araç rotalama probleminde kullanılabilecek tipik amaç fonksiyonları aşağıdaki gibi olabilir (Toth ve Vigo, 2002):

- Araçların toplam gideceği mesafeyi veya seyir süresini azaltmaya çalışarak global taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi,

- Tüm müşterilerin taleplerini karşılamak koşuluyla sistemdeki araç sayısının minimize edilmesi,
- Araç yüklemeleri veya araç seyir süreleri açısından tüm rotaların dengelenmesidir.

Araç rotalama problemlerinin temel bileşenlerini; talep yapısı, taşınacak malzemenin tipi, dağıtım/toplama noktaları ve araç filosu oluşturmaktadır (Eryavuz ve Gencer, 2001):

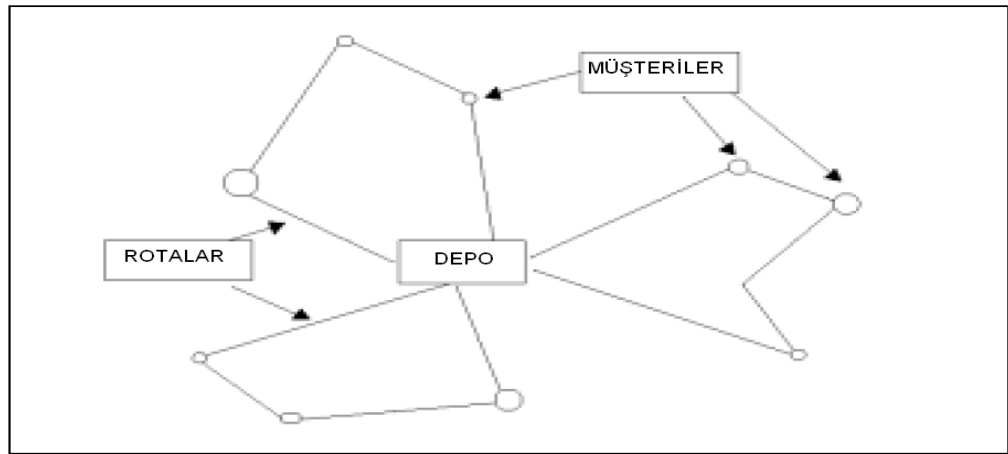
- Talep yapısı: VRP problemlerinde talep statik veya dinamik olabilir. Statik talep durumunda talep önceden bilinir. Dinamik durumda ise bazı düğümlerdeki talep bilinmekte bazıları ise araç rotasına devam ederken belli olmaktadır.
- Malzeme Tipi: Araçlarla çok çeşitli malzemeler taşınır. Gıda maddeleri, gazete dağıtımı, çöp toplama v.b. basit paketler olarak adlandırılır ve probleme ilave bir karmaşıklık getirmezler. Diğer taraftan öğrenci servisleri güvenlik, etkinlik, eşitlik gibi ilave ihtiyaçlardan dolayı daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Tehlikeli malzemeleri taşıyan araçların rotalarının belirlenmesinde ise coğrafi özellikler büyük önem kazanır.
- Dağıtım/Toplama Noktaları: Birçok VRP'nin de, dağıtım noktaları müşterilerin bulunduğu yer, toplama noktası ise depodur. Tüketim mallarının fabrikalardan toptancılara dağıtımı buna iyi bir örnektir. Depo genellikle aracın rotasına başladığı ve geri döndüğü noktadır. Depo sayısına göre problem, tek depolu ve çok depolu diye adlandırılabilir. Çok depolu problemlerde, depoların her biri kendi araçlarıyla işlerini yürütebilir, bu durumda problem birkaç bağımsız tek depolu VRP'ye dönüşür. Araç bir depodan çıkıp başka bir depoda yükleme/boşaltma yapabilir. Bu durumda problem bir bütün olarak ele alınmalıdır.

- Araç Filosu: Tüm VRP’lerde araç kapasitelerinin bilindiği ve çoğunlukla araçların homojen (aynı kapasitede) olduğu varsayılır. Filo heterojen ise filodaki araçların taşıma kapasiteleri farklıdır. Bu durum hangi araç tipinin hangi rotaya hizmet vereceğinin belirlenmesini yani ilave bir karar gerektirir (Aydemir, 2006).

2.1.2. Araç rotalama problemleri notasyonları ve genel modeli

Klasik araç rotalama problemi matematiksel olarak şöyle ifade edilir: Q_k sabit kapasiteli araçların i müşterilerinden gelen q_i ($i = 1, \dots, n$) taleplerini karşılamak üzere, merkez bir depodan ($i = 0$) yapacakları dağıtımlar olarak adlandırılabilir. Problem, müşteriler i ve j ($i, j = 1, \dots, n \wedge i \neq j$), müşteriler arasındaki d_{ij} uzaklıklarının bilinmesi durumunda VRP’nin amacı her bir aracın yapacağı taşıma miktarının Q_k ’yi aşmayacak şekilde, tüm araçlar tarafından müşterilere gerçekleştirilecek olan seyahat turlarının toplam mesafesini en aza indirmektir. Burada her müşteriye bir defa servis yapılması zorunludur ve siparişlerin bölünmesi mümkün değildir. Klasik araç rotalama problemi şematik olarak Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Tokaylı, 2005).

Şekil 2.2: Klasik Araç Rotalama Problemi



KAYNAK: Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows, Ekim Özaydın, 2003

Klasik bir araç rotalama probleminin çözümü için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulur:

- Müşteriler arasındaki mesafe veya ulaşım süresi,
- Depodan veya üretim biriminden müşterilere mesafe veya ulaşım süresi,
- Müşterilerin talep miktarı,
- Araç sayısı ve kapasitesi,
- Amaç fonksiyonu.

VRP literatüründe çok çeşitli optimizasyon kriterleri mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanları, rota sayısı, toplam rota uzunluğu, rota süresi, müşteri memnuniyeti, yük dengeleme şeklinde sıralanabilir. Bu kriterlerden rota sayısı ve toplam rota uzunluğu VRP amaç fonksiyonunda en yaygın olarak kullanılanıdır.

VRP probleminin çözümü için başlangıçta basit bir tamsayı programlama modelinden yararlanılmaktadır. Klasik VRP'nin çözümü için model aşağıdaki şekilde tanımlanır (Ji ve Chen, 2007). Modelde yer 0 düğümü depoyu ifade etmektedir.

Parametreler:

- n : Toplam müşteri sayısı
 N : Toplam araç sayısı
 S : Araçlar için alt turun olmadığı çözüm kümesi
 d_{ij} : i müşterisinden j müşterisine olan uzaklık ($i,j=0,1,\dots,n$)
 k_v : k aracının kapasitesi
 c_i : i müşterisinin talebi

Değişkenler:

- x_{ij}^v : v aracının i müşterisinden j müşterisine olan yolu kullanması durumunda 1, diğer durumlarda 0.
 y_{ij} : Herhangi bir aracın i müşterisinden j müşterisine olan yolu kullanması durumunda 1, diğer durumlarda 0.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{v=1}^N \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij}^v \quad (2.1)$$

s.t.

$$\sum_{v=1}^N x_{ij}^v = y_{ij} \quad (i, j = 0, 1, \dots, n; i \neq j) \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n; i \neq j) \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n; i \neq j) \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{0j} \leq N \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{i0} \leq N \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_i x_{ij}^v \leq k_v \quad (v = 1, 2, \dots, N) \quad (2.7)$$

$$x_{ij}^v \in S \quad (i, j = 0, 1, \dots, n; v = 1, 2, \dots, N; i \neq j) \quad (2.8)$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^n x_{ij}^v = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n x_{ji}^v \quad (i = 1, 2, \dots, n; v = 1, 2, \dots, N) \quad (2.9)$$

$$x_{ij}^v \in \{0, 1\} \quad (i, j = 0, 1, \dots, n; v = 1, 2, \dots, N) \quad (2.10)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i, j = 0, 1, \dots, n) \quad (2.11)$$

Ji ve Chen tarafından hazırlanan modelde amaç fonksiyonu toplam kat edilecek mesafenin minimize edilmesini ifade etmektedir. Kısıt 2.2 araçların gidecekleri yolları tanımlamaktadır. 2.3 ve 2.4 kısıt denklemleri, bir müşterinin mutlaka bir araç tarafından ziyaret edilmesi ile müşteriye gelen ve müşteriden çıkan yollardan sadece bir tanesinin kullanılmasının zorunlu olduğunu ifade etmektedir. Kısıt 2.5 bütün araçların servise depodan başlamalarını sağlarken, kısıt 2.6 bütün araçların servisten sonra depoya dönmesini zorunlu kılmaktadır. 2.7 numaralı kısıt ziyaret edilecek müşterilerin toplam talebinin araç kapasitesini geçemeyeceğini garanti etmektedir. Kısıt 2.8 çözümde alt turların oluşmasını önlemektedir. 2.9 numaralı kısıt araçların devamlılığını sağlarken 2.10 ve 2.11 numaralı kısıtlar modelde yer alan değişkenlerin alacakları değerleri

tanımlamaktadır. Kısıt 2.8' de yer alan S kümesi çözümde alt turların oluşmaması için önemli bir rol oynamaktadır. S kümesi için çeşitli alternatifler 2.12, 2.13 ve 2.14 numaralı eşitliklerde sunulmaktadır:

$$S = \left\{ (x_{ij}^v) : \sum_{i \in Q} \sum_{j \notin Q} x_{ij}^v \geq 1 \quad (Q = 0, 1, \dots, n) \right\} \quad (2.12)$$

$$S = \left\{ (x_{ij}^v) : \sum_{i \in R} \sum_{j \in R} x_{ij}^v \leq |R| - 1 \quad (R = 0, 1, \dots, n) \right\} \quad (2.13)$$

$$S = \left\{ (x_{ij}^v) : p_i - p_j + (n+1)x_{ij}^v \leq n \quad 1 \leq i \neq j \leq n \right\} \quad (2.14)$$

2.2. Araç Rotalama Problemlerinin Sınıflandırılması

Araç Rotalama problemleri çeşitli kısıtlara ve özelliklere göre birçok sınıfa ayrılmaktadır. Problemden değişen her kısıt veya özellik için araç rotalama problem türü de değişmektedir. Eksioğlu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada araç rotalama problemlerinin çeşitleri geniş çaplı olarak incelenmiştir. Çalışmalarında yer alan çeşitlendirme Çizelge 2.1' de yer almaktadır.

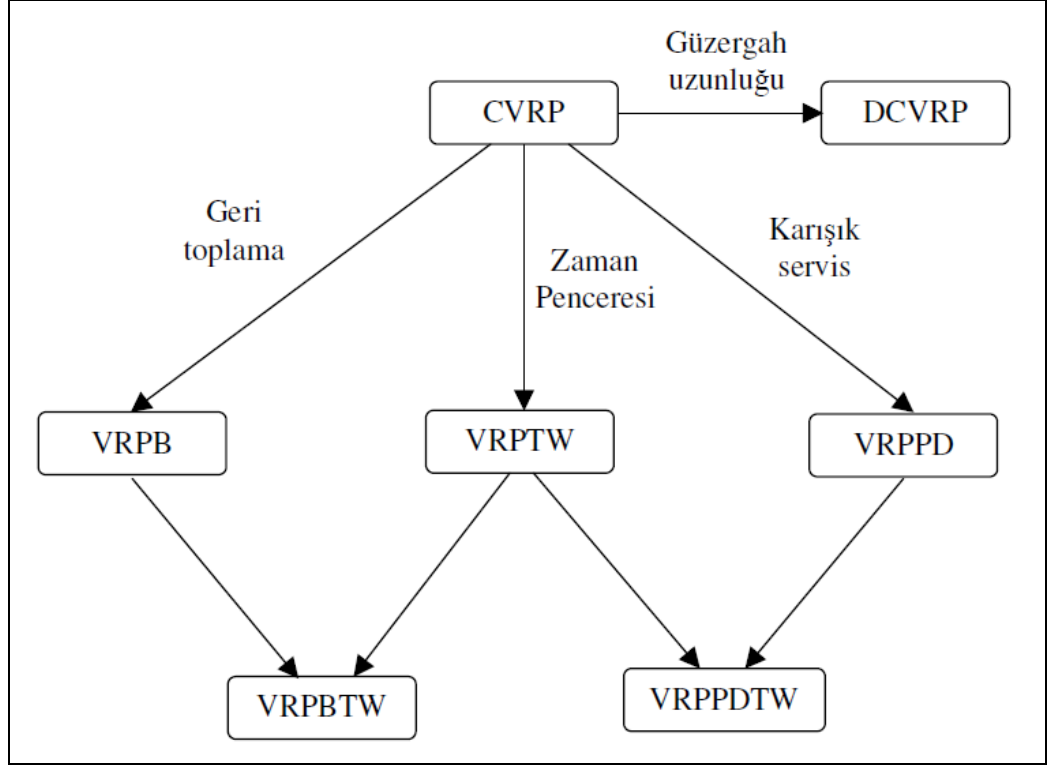
Toth ve Vigo (2002) tarafından yapılan çalışmada araç rotalama problemleri yedi farklı çeşitte incelenmiştir. Bunlar; kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemleri (Distance Capacitated Vehicle Routing Problem, DCVRP), geri toplamalı araç rotalama problemleri (Vehicle Routing Problem with Backhauls, VRPB), dağıtım ve toplamanın yapıldığı araç rotalama problemleri (Vehicle Routing Problem with Delivery and Pickup, VRPDP) ve bunlara zaman penceresi kısıtının eklenmesi sonucu oluşan, zaman kısıtlı araç rotalama problemleri (Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW) olacak şekilde ana gruplara ayrılabilir. Toth ve Vigo'nun çalışmalarında yer alan araç rotalama problemlerinin şematik gösterimi Şekil 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Araç Rotalama Problemlerinin Literatürde Yer Alan Çeşitleri

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

KAYNAK: The Vehicle Routing Problem: A Taxonomic Review, Eksioğlu ve ark., 2009

Şekil 2.3: Araç Rotalama Problemlerinin Sınıflandırılması



KAYNAK: The Vehicle Routing Problem, Paolo Toth ve Danielle Vigo, 2002, s.6

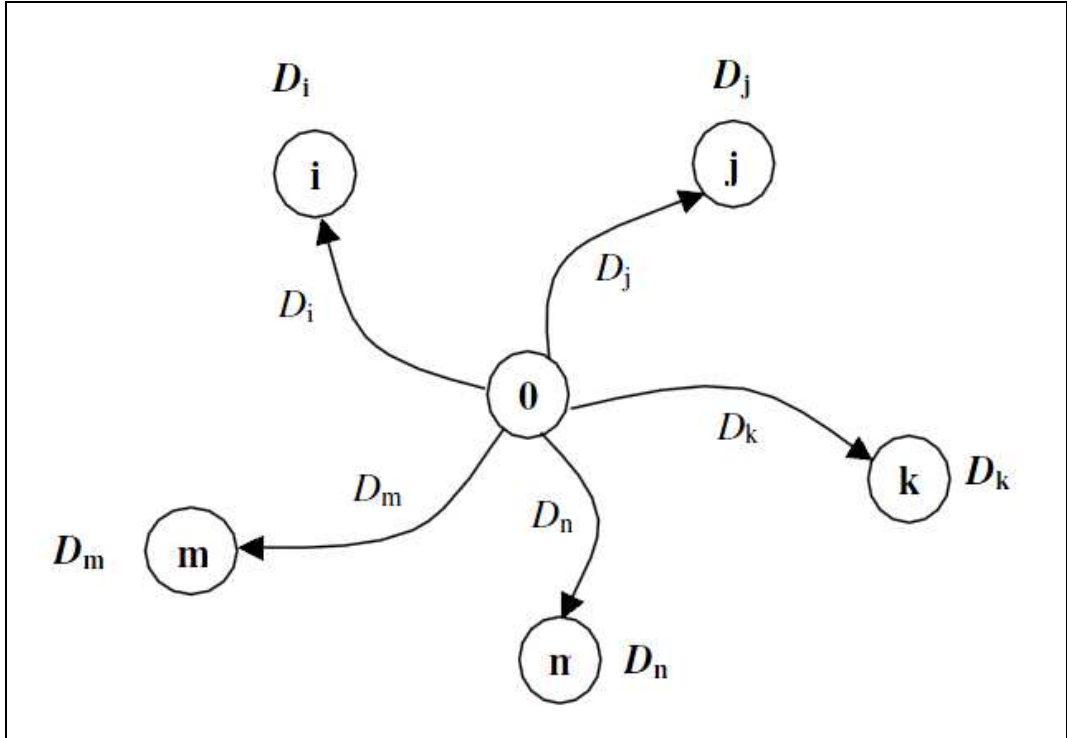
2.2.1. Kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemi

Araç rotalama problemlerinin en yaygın çeşidi kapasite kısıtlı araç rotalama problemidir (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP). Biçimsel olarak CVRP’de dağıtımlara karşılık gelen tüm müşteriler ve talepleri deterministiktir, önceden bilinmektedir ve bölünemez. Araçlar özdeşdir ve tek bir merkezi depoda konumlanmışlardır, araçlar için yalnızca kapasite kısıtlamaları empoze edilmiştir. Burada hedef tüm müşterilere hizmet vermek için toplam maliyetin (örneğin, rota sayılarının ve uzunluklarının veya dolaşım sürelerinin bir fonksiyonu) minimize edilmesidir.

CVRP’yi teorik problem olarak tanımlamak gerekirse; $V = (0, \dots, n)$ nokta kümesi ve A da yol kümesi olmak üzere $G = (V, A)$ bir toplam çizge olsun. $i = 1, \dots, n$ noktaları müşterilere karşılık gelir, 0 noktası depoyu ifade eder. Bazen depo $n + 1$ noktası ile ifade edilir.

Negatif olmayan maliyet c_{ij} , her bir $(i, j) \in A$ yolu ile ilişkilidir ve i noktasından j noktasına dolaşım maliyetini verir. Genel olarak (i, i) şeklinde yolların kullanılmasına izin verilmez ve her $i \in V$ için $c_{ii} = +\infty$ olarak tanımlanır. Eğer G doğrulaştırılmış bir çizge ise, maliyet matrisi c asimetriktir ve problem asimetrik CVRP (Asymmetrical Capacitated Vehicle Routing Problem, ACVRP) adını alır. Aksi takdirde, tüm $(i, j) \in A$ için $c_{ij} = c_{ji}$ olur ve problem simetrik CVRP (Symmetric Capacitated Vehicle Routing Problem, SCVRP) adını alır ve yol kümesi A genel olarak bir dolaylı kenarlar kümesi, E ile yer değiştirir. Bir $e \in E$ kenarı verilsin ve $\alpha(e)$ ve $\beta(e)$ onun bitiş noktalarını göstere. Burada kenarlar bitiş noktaları (i, j) , $i, j \in V$ 'nin ortalaması olarak gösterildiğinde dolaylandırılmış G grafiğinin kenar kümesi A ile ve kenarlar tek bir indis, e üzerinden gösterildiğinde E ile belirtilir. CVRP problemine ait örnek bir gösterim Şekil 2.4'de verilmiştir (Toth ve Vigo, 2002). Şekilde 0 düğümü depoyu ve D düğümleri müşterilerin talep miktarlarını ifade etmektedir.

Şekil 2.4: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi



KAYANK: Gerdan, Müşteriler Arası Malzeme Akışlı Es Zamanlı Dağıtım Toplama Yapılan Araç Rotalama Problemi ve Sezgisel Çözümü, 2007, S.7

CVRP genel olarak K adet aracın kapasite sınırı dahilinde optimum rotayı bulmasından oluşmaktadır. Bununla birlikte kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin farklı versiyonları da bulunmaktadır. Örneğin müşterilere hizmet eden araçların bir servis süresi kapasitesi olabilmektedir. Bu servis süresi problemde uzaklık olarak da dönüştürülebilmektedir. Bu tip problem yapısı literatürde Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri olarak geçmektedir. Başka bir problem yapısı ise, müşterilere hizmet eden araçlar homojen (eşit kapasiteli araçlar) veya heterojen (farklı kapasiteli araçlar) olabilmektedir (Lin ve ark., 2007).

2.2.2. Zaman pencereci araç rotalama problemi

Zaman pencereci araç rotalama problemi depodan hareket eden araçların, müşterileri belli zaman aralığı içinde ziyaret etme zorunluluğu olan (zaman penceresi kısıtı) özel bir araç rotalama problemi türüdür. VRPTW' de, klasik araç rotalama problemlerine ek olarak araçların müşterilere belirli bir zaman aralığında (zaman penceresi) uğraması gerekmektedir. Bu problem tipi yapısal olarak okul otobüsü rotalama, posta, gazete dağıtımı, akaryakıt dağıtımı gibi problemlere uygundur. VRPTW ilk olarak 1984 yılında Hax ve Candea tarafından lojistik sistemlerde sınıflandırılmıştır. Bu problem yapısında amaç, toplam maliyetlerin minimizasyonuna ek olarak müşteriye belirli zaman aralığında hizmet etmektir (Tan ve ark., 2001).

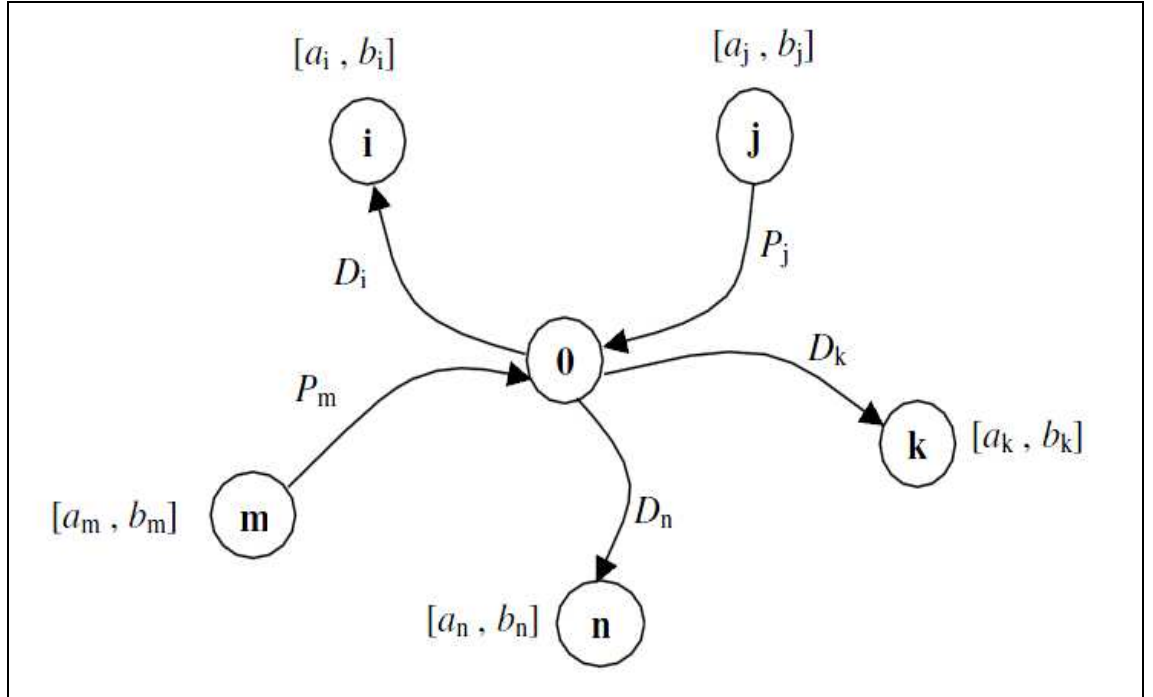
VRPTW, klasik VRP problemine ek olarak zaman penceresi kısıtı içermektedir. Zaman penceresi kısıtı esnek ve esnek olamayan zaman penceresi olarak ikiye ayrılmaktadır. Esnek olmayan zaman penceresinde araçların belirlenen zaman penceresi içinde hizmet etmesi gerekmektedir. Araçların teslim zamanından önce gitmesine veya geç kalmasına izin verilmemektedir. Aksi halde araçlara ceza maliyeti yüklenmektedir. Esnek zaman penceresinde ise araçların herhangi bir ceza maliyeti yoktur.

Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi bir (N,A) çizgesinde tanımlanır. N , müşteri kümesini ve $(0, \dots, n+1)$ düğümleri depoyu göstermektedir. Müşteriler $(1, \dots, n)$ ' e kadar N tanedir. A ise düğümler arasındaki yayları göstermektedir. Bütün rotalar

0'da başlamakta ve $n+1$ de sona ermektedir. i ve j müşterisi arasındaki maliyet c_{ij} ve seyahat zamanı t_{ij} olmak üzere $(i,j) \in A'$ dır. t_{ij} seyahat süresi i . müşterideki servis zamanını da içerir. Araçların kümesi ise V ile gösterilir. Her müşteri q_i talebine sahipken araçlar ise C kapasitesine sahiptir. Her müşteri için servis göreceği zaman bir zaman aralığında $[a_i, b_i]$, ($i \in C$) tanımlanır. Bu zaman aralığına zaman penceresi denir. Araçlar aynı zamanda depodan $[a_0, b_0]$ zaman aralığında ayrılır ve $[a_{n+1}, b_{n+1}]$ zaman aralığında ise depoya dönerler. Bir araç zamanından önce müşteriye ulaşmışsa servis zamanı gelinceye kadar bekler ve bir maliyet oluşmaz. Ancak aracın müşteriye verilen zaman aralığından sonra servis vermesine izin verilmez (Azi ve ark., 2010).

Zaman pencereci araç rotalama problemlerine Şekil 2.5'de şematik bir örnek verilmiştir. Şekilde 0 düğümü merkezi depoyu, D müşterilerin talep miktarını, P işlem zamanlarını ve $[a, b]$ müşterilerin zaman pencerelerini ifade etmektedir.

Şekil 2.5: Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi



KAYNAK: Gerdan, Müşteriler Arası Malzeme Akışlı Es Zamanlı Dağıtım Toplama Yapılan Araç Rotalama Problemi ve Sezgisel Çözümü, 2007, S.7

2.2.3. Dağıtım ve toplamalı araç rotalama problemleri

Dağıtım ve toplamalı araç rotalama problemlerinde araçlar depolardan çıkıp tekrar depolara dönerler. Her müşteriye bir araç uğramaktadır. Araçların rotalarında dağıtılacak ve toplanacak yük miktarı araç kapasitesini geçemez. Her müşteride dağıtım ve toplama yapılmaktadır. Bu tip araç rotalama problemlerinde amaç, toplamda kat edilen yolun minimize edilmesidir. Bu işlem üç şekilde yapılabilmektedir (Gencer ve Yaşar, 2007):

- Önce dağıtım sonra toplama problemleri,
- Karışık dağıtım ve toplama problemleri,
- Eşzamanlı dağıtım ve toplama problemleri.

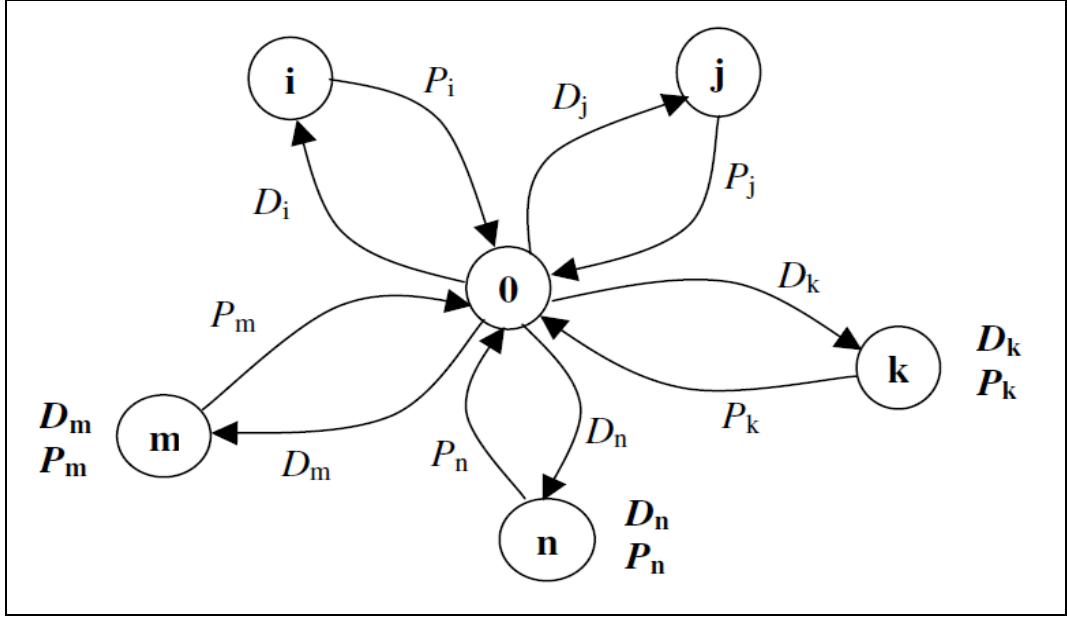
Önce dağıtım sonra toplama problemlerinde, araçlar depodan müşterilere dağıtılacak malzemelerin tamamı dağıtıldıktan sonra müşterilerden depoya gelecek malzemelerin toplanması işlemini gerçekleştirir. Bu nedenle araçlar müşterilere birden fazla uğrar.

Karışık dağıtım ve toplama problemlerinde, müşteriler dağıtım ve toplama için karışık şekilde hizmet görürler. Araçların önce dağıtım sonra toplama yapması gibi bir kısıt yoktur. Bu problemde de müşteriler birden fazla hizmet görebilirler.

Eşzamanlı dağıtım ve toplama problemlerinde, müşteriler eşzamanlı olarak mal alıp gönderirler. Araçlar müşteriye uğradıklarında dağıtım ve toplama işlemini aynı anda yapmaktadır. Müşteriler herhangi bir ayırıma tabi tutulmazlar bu nedenle her müşteri sadece bir kez hizmet görmektedir (Nagy ve Salhi, 2004).

Şekil 2.6' da VRPPD problemine ilişkin bir örnek yer almaktadır. Şekilde yer alan D müşteri taleplerinin miktarını ve P depoya gönderilecek malzeme miktarını ifade etmektedir.

Şekil 2.6: Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi

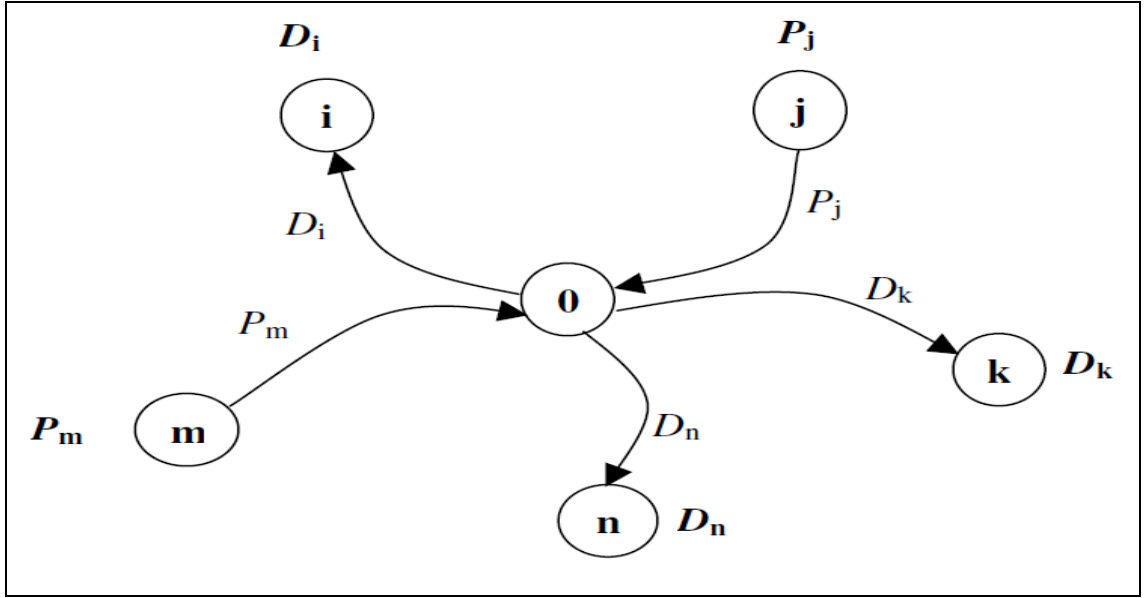


KAYNAK: Gerdan, Müşteriler Arası Malzeme Akışlı Es Zamanlı Dağıtım Toplama Yapılan Araç Rotalama Problemi ve Sezgisel Çözümü, 2007, S.9

2.2.4. Geri toplamalı araç rotalama problemi

Geri toplamalı araç rotalama problemi; müşterilerin, bazı ticaret mallarını geri gönderdiği ya da talep ettiği araç rotalama problemi tipidir. Araçlar depodan başlayarak müşterilere uğrarlar ve tekrar depoya dönerler. Her müşteriye sadece bir araç uğrar. Aracın rotasındaki dağıtılacak ve toplanacak müşteri talepleri toplamı araç kapasitesinden fazla olamaz. Buradaki kritik varsayım, her bir rotada toplama işlemine başlayabilmek için önce dağıtım işlemlerinin tamamlanmasıdır. Bu durum araçların arkadan yüklemeli olmasından kaynaklanır. Çünkü dağıtım noktalarında araçlardaki yüklerin yeniden düzenlenmesi ekonomik ve fizibil olmayacaktır. Dağıtılacak ve toplanacak miktarlar sabittir ve önceden bilinir. VRPB problemi Şekil 2.7’de ifade edilmiştir (Toth ve Vigo, 2002). Şekilde 0 merkezi depoyu, D müşteri talep miktarını ve P müşteri arz miktarını ifade etmektedir.

Şekil 2.7: Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi



KAYNAK: Gerdan, Müşteriler Arası Malzeme Akışlı Es Zamanlı Dağıtım Toplama Yapılan Araç Rotalama Problemi ve Sezgisel Çözümü, 2007, S.7

2.3. Araç Rotalama Problemleri İçin Çözüm Yöntemleri

Araç rotalama problemleri literatürde sıkça karşılaşılan karmaşık yapılı optimizasyon problemlerinden birisidir. VRP ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramster tarafından matematiksel olarak modellenmiş ve 1972 yılında Miller ve Thatcher tarafında NP-Zor problem yapısına sahip olduğu tespit edilmiştir. VRP problemleri ilk olarak tanımlandığından beri yöneylem araştırmacıları tarafından çok geniş bir şekilde ele alınmış ve çeşitli çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Problemin çözümünde kullanılan yöntemler incelendiğinde, kesin sonuç veren veya sezgisel/metasezgisel yöntemler kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2008).

2.3.1. Kesin sonuç veren yöntemler

Kesin sonuç veren yöntemler ile VRP problemlerinde optimum sonuca ulaşılmaktadır. Fakat araç rotalama problemleri ve çeşitleri olan kapasiteli araç rotalama problemi, zaman pencereli araç rotalama problemleri, dağıtım ve toplamalı araç

rotalama problemleri gibi problemlerin matematiksel modelleri tam sayılı değişkenler içermektedir. Bu nedenle büyük ölçekli problemlerin çözüm zamanı çok uzun olabilmektedir. Küçük yapıdaki problemler için çözüm zamanı uygunken, büyük yapıli problemlerde çözüm zamanı üssel olarak artmaktadır (Huang ve ark., 2008).

Tam sayılı model olarak ifade edilen araç rotalama problemlerinin çözümünde genellikle dal-sınır, kesme düzlemi ve dinamik programlama yöntemleri kullanılmaktadır.

2.3.1.1.Dal sınır algoritması

Dal sınır algoritması optimum lineer çözüm üzerinden böl ve ele geçir stratejisini kullanarak çözüm uzayını alt problemlere ayıran ve her bir alt problemi ayrı ayrı optimize ederek çözüme giden bir çözüm yöntemidir. Dallanma ve sınırlama işlemlerinde, F çözüm uzayına ait olmayan çözümlerin de kabul edilmesiyle, problem esnek hale gelir. Esnek problem yapısıyla optimum sonuca bir alt sınır getirerek problemi çözmek daha kolay hale gelir. Eğer bu çözüm F uygun çözüm içerisinde yer alıyorsa problem sona ermiştir. Aksi halde alt sınır değerinden tekrar dallanma yapılarak çözüme devam edilir. Algoritmanın devam etmesi için dallandırılmış alt problemlerden birisi seçilir ve çözüme devam edilir. Algoritmanın devamlılığı için dört mümkün sonuç vardır (Ralphs, 2002):

- Mevcut en iyi çözümden daha iyi bir sonuç elde edilirse bu çözüm yeni mevcut en iyi çözüm olarak atanır ve devam edilir.
- Alt problemlerin çözümünde uygun olmayan sonuçlar çıkabilir. Bu durumda bu alt çözümden dallanma yapılmaz.
- Alt çözümlerde mevcut en iyi uygun çözümden daha kötü bir sonuç elde edilebilir. Böyle bir durumda da dallanma işlemi yapılmaz.

- Son olarak alt problemi eleyemiyorsak bu çözüm üzerinden optimum sonuç bulununcaya kadar dallanmaya devam edilir.

2.3.1.2.Kesme düzlemi algoritması

Kesme düzlemi algoritması da dal sınır algoritması gibi çözüme doğrusal programlama modelinin optimum sonucu ile başlar. Çözümde dallanma tekniği yerine kesme adı verilen yeni kısıtlar eklenerek algoritmaya devam edilir. Kısıt ekleme işlemi uygun bir çözüm bulunana kadar devam ettirilir (Taha, 2007).

2.3.1.3.Dinamik programlama

Dinamik programlama, n değişkenli bir problemin optimum çözümünü problemi n aşamaya ayrıştırarak ve her aşamada tek değişkenli bir alt problemi çözerek belirler. Bunun hesaplama avantajı, n değişkenli alt problemler yerine tek değişkenli alt problemleri optimum kılmasıdır. Dinamik programlamanın asıl katkısı, problemleri aşamalara ayrıştırmasının çerçevesini oluşturan optimumluk ilkesidir. Optimizasyon problemine bağlı olarak aşamaların yapısı farklılıklar gösterdiğinden, dinamik programlama her bir aşamayı optimum kılmak için gerekli olan hesaplamaların ayrıntısını vermez. Bu ayrıntılar problem çözücü tarafından doğaçlama olarak gerçekleştirilip tasarlanır.

Dinamik programlamada hesaplamalar yinelenerek yapılır, bu bakımdan bir alt problemin optimum çözümü bir sonraki alt problemin girdisidir. Son alt problem çözüldüğünde problemin tamamının optimum çözümüne ulaşılmış olur. Yinelenen hesaplamaların uygulama biçimi orijinal probleme bağlıdır. Özellikle, alt problemler bazı ortak kısıtlarla birbiriyle ilişkilendirilmiştir. Bir alt problemten bir sonrakine ilerledikçe bu kısıtların uygunluğuna dikkat edilmelidir (Taha, 2007) .

2.3.2. Sezgisel yöntemler

Araç rotalama problemlerinin NP-Zor tipi problemler olması nedeniyle değişken sayısı çok büyük olan problemlerde optimal sonuca ulaşma zamanının çok fazla olmasına sebep olmaktadır. Özellikle hizmet sunulan müşteri sayısı ve coğrafi alan arttıkça, problemin boyutu büyümektedir. Müşteri sayısı arttıkça alternatif rota sayısı artmakta ve hesaplama zorlaşmaktadır. Bu nedenle VRP çözümünde sezgisel algoritmalar ön plana çıkmaktadır (Eryavuz ve Gencer, 2001).

Sezgisel yöntemler arama uzayında oldukça kısıtlı bir alanda tarama yapmalarına rağmen oldukça kısa bir sürede iyiye yakın çözümler üretmektedirler. Bunun yanında sezgisel teknikler genelde hızlı bir şekilde uygun bir ilk çözüm bularak bu çözümü iyileştirmeye çalışırlar (Santos ve ark., 2008).

Algoritma, mekanik davranan kişiye ve makineye bir takım verilerden yola çıkarak ve sonlu sayıda aşamalardan geçerek belli bir problemi çözme imkânı veren, çok kesin komutlar bütününde oluşmaktadır. Bir algoritmanın çalışmasındaki mutlak zorunluluk, her türlü belirsizlikten arınmış olmasıdır. Bir algoritmanın yürütülmesi, her biri komutla belirlenen bir etkiler dizisi oluşturur ve bir dizi önceki komutun yürütülmesinin sona ermesiyle birlikte yürütülmeye başlar. Sezgisel yaklaşımların temel adımları aşağıdaki gibidir (Erol, 2006):

- Mümkün olabilecek durumların içinde herhangi birinin ele alınması,
- Ele alınmış duruma mümkün gidişler uygulayarak durumun değiştirilmesi,
- Durumun değerlendirilmesi,
- Gereksiz durumların atılması,
- Eğer sonuca ulaşılmışsa çözümün tamamlanması, aksi halde yeni değerler ele alınarak işlemlerin tekrarlanması.

VRP için geliştirilen sezgisel algoritmalar genel olarak üç ana sınıfa ayrılır (Eryavuz ve Gencer, 2001):

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

Tur kurucu sezgiseller mümkün olmayan atamalarla çözüme başlar, her defasında iki düğüm arasına bir dal ekleyerek mümkün çözüme ulaşırlar. Dal eklenirken araç kapasite kısıtına uyulup uyulmadığı kontrol edilir. Eklenecek dal, bazı maliyet tasarruflarına göre seçilir. Tur kurucu metotlar arasında en çok tercih edileni, Clarke ve Wright'ın Dantzig ve Ramser'in çalışmasından esinlenerek geliştirdikleri Tasarruf (Savings) Algoritması' dır. Tasarruf algoritmasının temel konsepti değiştirilmeden sayısız algoritmalar geliştirilmiştir (Eryavuz ve Gencer, 2001).

Tur geliştirici sezgiseller bir mümkün çözümü başlangıç çözümü olarak alır ve o çözümü geliştirirler. Her bir iterasyonda dal kombinasyonları değiştirilir ve değişimin mümkün çözüme ulaştırıp ulaştırmadığı, maliyeti düşürüp düşürmediği kontrol edilir. Tur geliştirme sezgiselleri Lin ve Lenstra ve Rinnooykan' un Gezgin Satıcı Problemine (Travelling Salesman Problem, TSP) dayanır (Eryavuz ve Gencer, 2001).

İki aşamalı metotların birinci aşamasında, düğümler araçlara kapasiteyi aşmayacak şekilde atanır. İkinci aşamada ise her bir araç için TSP sezgiselleri kullanılarak rota oluşturulur. Önce grüplama-sonra rotalama tipindeki algoritmalar, iki aşamalı metotlara örnek olarak verilebilir. Gillet ve Miller'in 1974 yılında geliştirdikleri Süpürme (Sweep) algoritması, Fisher ve Jaikumar' ın 1981 geliştirdikleri algoritma, Christofides, Mingozzi ve Toth'un 1980 yılında geliştirdikleri algoritma iki aşamalı algoritmalara örnek olarak verilebilir (Eryavuz ve Gencer, 2001).

2.3.3. Metasezgisel yöntemler

Metasezgisel yöntemler, çözümün yerel minimuma takılmasını engellemek ve etkili bir arama yaparak global optimuma daha yakın sonuç bulmak amacıyla, araç rotalama problemlerinde sıklıkla kullanılan yöntemler arasındadır.

Bölgesel optimizasyon yöntemleri olan klasik sezgisel yöntemlerde çözüm uzayında arama, belirlenen komşuluk yapısı ile daha iyi bir komşu çözüm bulunamadığı durumlarda sonlandırılmaktadır. Bu sebeple yöntemler lokal minimum noktalarda takılmakta ve arama stratejisi kör bir şekilde uygulanmaktadır. Metasezgisel yöntemler ise lokal minimum noktalardan kurtulmak için daha kötü çözümlerin de kabul edildiği global optimizasyon yöntemleridir (Breedam, 2001).

Aşağıda literatürde kabul görmüş en yaygın meta-sezgisel yöntemler örnek olarak sıralanmıştır:

- Tavlama benzetimi
- Genetik algoritmalar
- Yapay sinir ağları
- Tabu arama /yasaklı arama
- Yapay bağışıklık sistemi
- Karınca algoritması
- Parçacık sürü algoritması/ takım zekâsı tabanlı arama

Yapılan bu tez çalışmasında ise araç rotalama problemlerinin çözümü için diferansiyel gelişim algoritması incelenmiş ve dağıtım toplamalı-zaman pencereli araç rotalama problemi üzerinde uygulanmıştır. Çalışmanın devam eden kısımlarında diferansiyel gelişim algoritması ve uygulamasına yer verilmiştir.

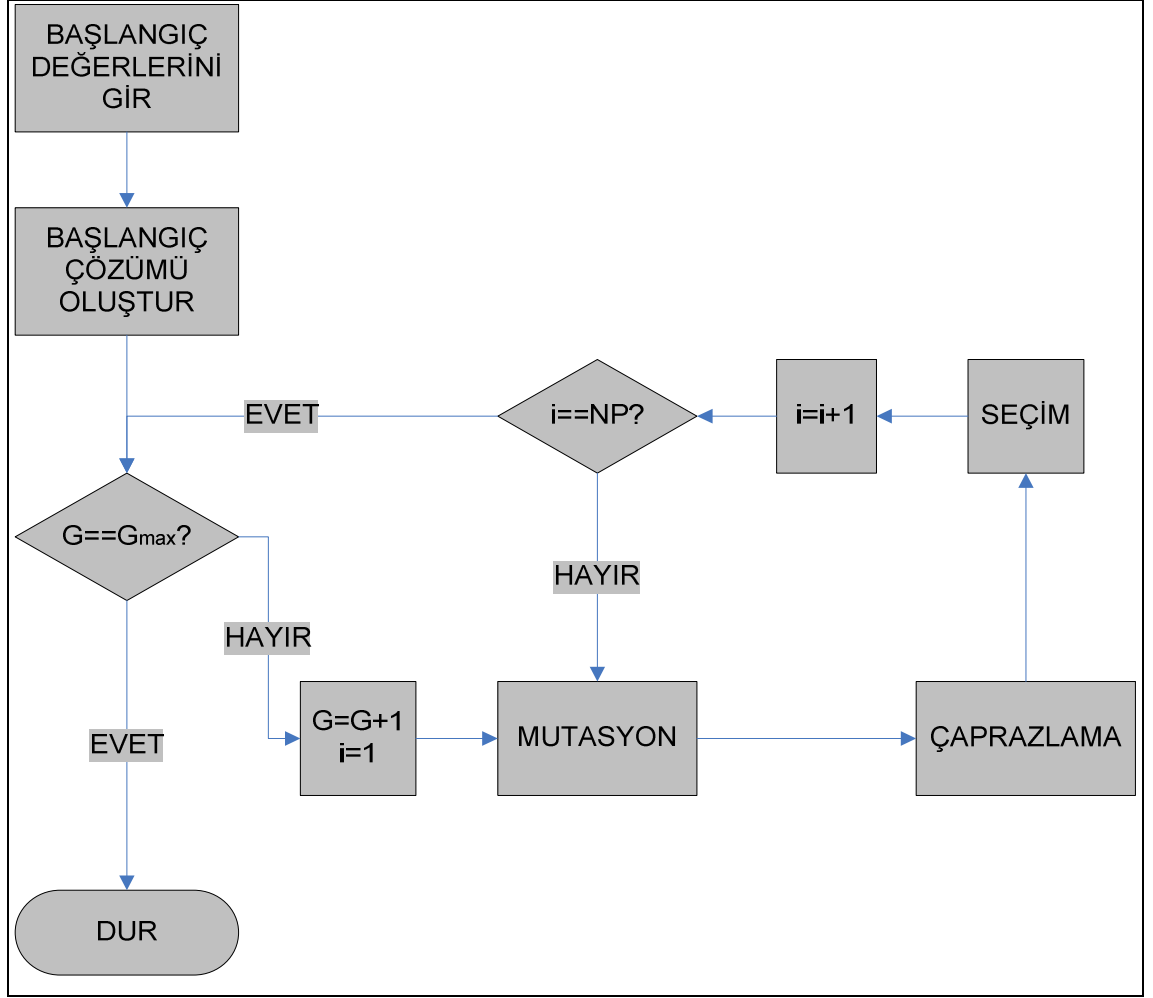
3. DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI

Diferansiyel gelişim algoritması ilk olarak Storn ve Price tarafından ChebyChev polinom fonksiyonların çözümünde kullanılmıştır. Özellikle sürekli değişkenlerin oluşturduğu problemlerde etkin sonuçlar üretmektedir. Temel olarak popülasyonda yer alan vektörlerin farkları ile yeni popülasyon oluşturularak sonuca gidilmektedir (<http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html>).

Diferansiyel gelişim algoritması, işleyiş ve operatörleri itibarıyla genetik algoritmaya benzer bir popülasyon yapısından oluşmaktadır. Genetik algoritma ile arasındaki temel fark; genetik algoritma arama işlemi prosedürünü ağırlıklı olarak çaprazlama işlemi ile gerçekleştirirken, diferansiyel gelişim algoritması arama işlemi prosedürünü ağırlıklı olarak mutasyon işlemi ile yapmaktadır. Algoritma, mutasyon işlemini arama mekanizması olarak kullanmaktadır. Daha iyi bir popülasyon üretebilmek için, diferansiyel gelişim algoritmasında etkin bir mutasyon işlemi uygulanması gerekmektedir (Karaboğa ve Öktem, 2004).

Diferansiyel gelişim algoritmasını genetik algoritmadan ayıran diğer önemli özelliği ise; algoritmanın gerçek değerler ile çalışmasıdır. Genetik algorithmada gen yapısı çoğunlukla 0–1 kodlama ile oluşturulurken, diferansiyel gelişim algoritmasında genler gerçek değerler alabilmektedir. Ayrıca algorithmada yer alan operasyon işlemleri her bir kromozoma sırasıyla uygulanmaktadır. Böylece her bir iterasyonda üretilen çözüm sayısı popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak arttırılabilmektedir. DGA'na ait akış şeması Şekil 3.1'de ve işleyiş prosedürü Şekil 3.2'de yer almaktadır. Genel olarak DGA; bir başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra durdurma kriteri sağlanana kadar mutasyon, çaprazlama ve seçim işlemlerini takip ederek işlem yapmaktadır.

Şekil 3.1: Diferansiyel Gelişim Algoritması Akış Şeması

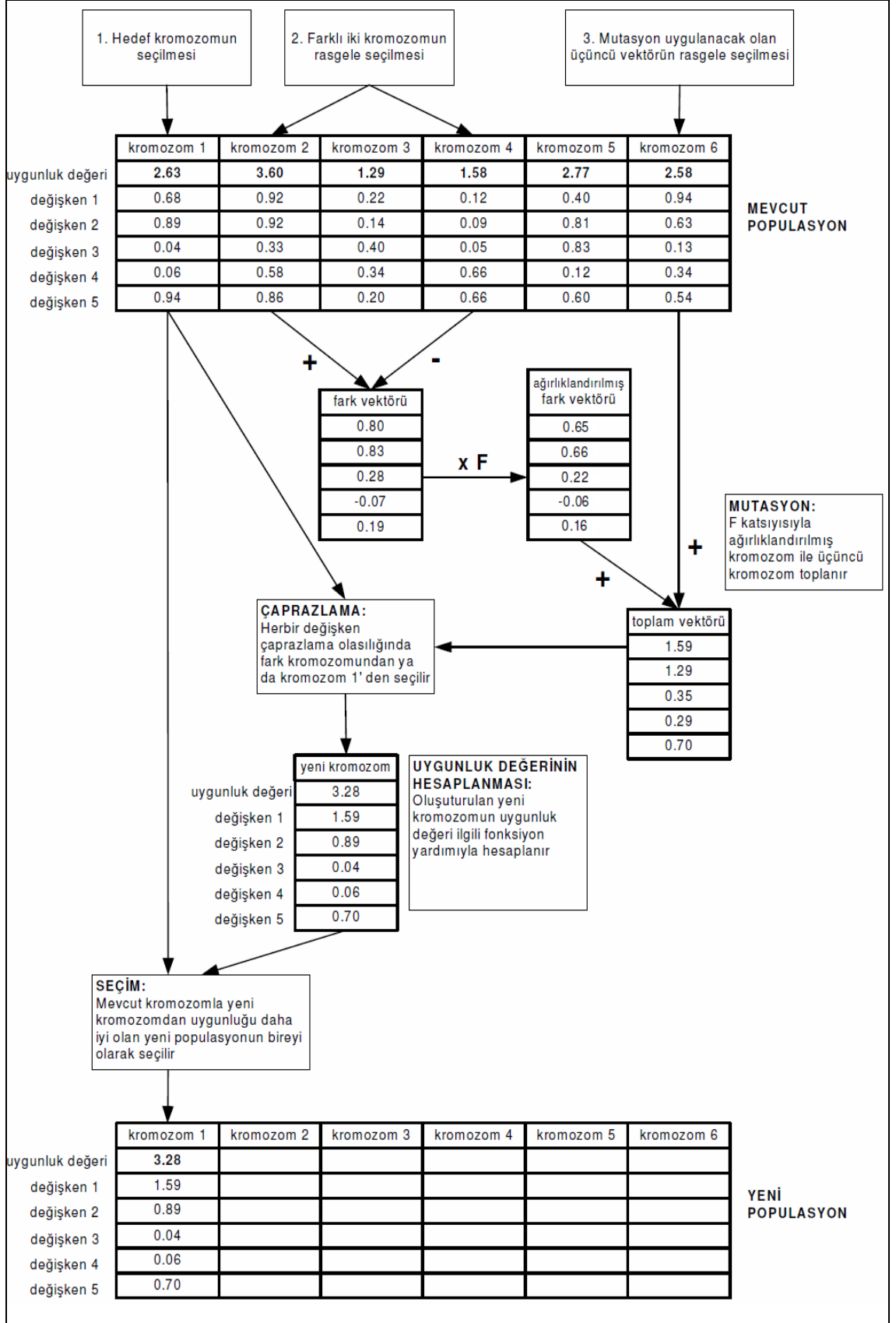


KAYNAK: Cruz ve ark., Efficient Differential Evolution Algorithms For Multimodal Optimal Control Problems, 2003, s. 103

Diferansiyel gelişim algoritması; minimizasyon veya maksimizasyon amaç fonksiyonlu optimizasyon problemlerine, gerçek değişken değerlerinin alt ve üst sınırları içinde uygulanabilmektedir. Problemin amaç fonksiyonu DGA’da uygunluk fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir ve probleme ait kısıtların uygunluğu genetik algortmada da olduğu gibi uygunluk değeri ile değerlendirilmektedir. Çözümün, kısıtlardan uzaklaşması veya uygun olmaması durumunda; ceza maliyetleri kullanılarak üretilen çözümün seçimini engellemektedir (Keskintürk, 2006).

Diferansiyel gelişim algoritmasında kullanılan parametreler ve operasyonlara ilerleyen kısımlarda yer verilmiştir.

Şekil 3.2: Diferansiyel Gelişim Algoritması İşleyiş Prosedürü



KAYNAK: Schmidt ve Thierauf, A Combined Heuristic Optimization Technique, 2005, s. 13

3.1. Parametreler

DGA’da kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir:

NP : Popülasyon büyüklüğü (kromozom sayısı), $NP \geq 4, (1,2,3,...,i)$

D : Değişken sayısı (gen sayısı), $(1,2,3,..., j)$

CR : Çaprazlama oranı, $(0-1)$

G : Jenerasyon, $(1,2,3,..., G_{\max})$

F : Ölçekleme faktörü, $(0-2)$

$x_{j,i,G}$: G jenerasyonunda j kromozomunun i geni

$n_{j,i,G+1}$: Mutasyon ve çaprazlama işlemi uygulanmış ara kromozom

$u_{j,i,G+1}$: x_{jiG} ’den üretilen yeni kromozom

$r_{1,2,3}$: Yeni kromozom üretilmesinde kullanılacak rast gele seçilmiş kromozomlar, $r_{i,2,3} \in \{1,2,3,..., NP\}, r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$

$x_j^{(l)}$: Değişkenin alt sınırı

$x_j^{(u)}$: Değişkenin üst sınırı

3.2. Başlangıç Popülasyonu

Diferansiyel gelişim algoritması, diğer gelişim algoritmalarında olduğu gibi popülasyon yapısı ile çalışmaktadır. Her bir iterasyonda tek çözüm üretmek yerine, popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak birden fazla çözüm, popülasyon içinde yer almaktadır (Onwubolu, 2008).

Popülasyon büyüklüğü olan NP , üçten büyük olmalıdır. Çünkü diferansiyel gelişim algoritmasının çalışabilmesi için her iterasyonda seçilen kromozom dışında rast gele üç farklı kromozom seçilmesi gerekmektedir. NP adet D boyutlu kromozomdan oluşan popülasyon Eşitlik 3.1’deki gibi üretilebilmektedir (Onwubolu ve Davendra, 2004):

$$x_{j,i,0} = x_j^{(l)} + rand_j [0,1] \times (x_j^{(u)} - x_j^{(l)}) \quad \forall i \in [1, NP]; \quad \forall j \in [1, D] \quad (3.1)$$

3.3. Mutasyon İşlemi

Diferansiyel gelişim algoritması, çözüm uzayında yeni çözüm üretebilmek için mutasyon işlemini kullanmaktadır. Kromozom üzerinde rast gele seçilen belli miktarda ki gen üzerinde değişiklik yapılarak yeni kromozomlar oluşturulmaktadır. Mutasyon işlemine girecek kromozom dışında rast gele seçilen ve birbirinden farklı üç kromozom seçilerek mutasyon işlemi gerçekleştirilir. Seçilen kromozomlarda her bir gen için; ilk iki kromozomun farkı alınıp F parametresiyle çarpılır ve üçüncü kromozom ile toplanır. Böylece çaprazlama işleminde kullanılacak olan kromozom elde edilir (Qian ve Li, 2008).

$$n_{j,i,G+1} = x_{j,r_3,G} + F \times (x_{j,r_1,G} - x_{j,r_2,G}); \quad j \in [1, D], \quad i \in [1, NP], \quad r_{1,2,3} \in [1, NP], \quad r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i \quad (3.2)$$

Diferansiyel gelişim algoritmasında temel alınan ve Eşitlik 3.2’de gösterilen mutasyon işlemi dışında farklı birçok mutasyon operasyonu literatürde yer almaktadır (Zaharie, 2009).

3.4. Çaprazlama İşlemi

DGA çaprazlama işleminde düzenli çaprazlama (uniform crossover) stratejisini kullanmaktadır. Çaprazlama işlemi yapılırken; mutasyon işlemi ile elde edilen ara kromozom ($n_{j,i,G+1}$) ve mevcut kromozom ($x_{j,i,G}$) kullanılarak yeni kromozom ($u_{j,i,G+1}$) elde edilir (Onwubolu, 2008). Eşitlik 3.3’de çaprazlama işlemine ait eşitlik yer almaktadır.

$$u_{j,i,G+1} = \begin{cases} n_{j,i,G+1} & : (rand[0-1] \leq CR \vee j = j_{rand}) \text{ ise} \\ x_{j,i,G} & : \text{aksi halde} \end{cases} : j \in (1,2,3,...,D) \quad (3.3)$$

Çaprazlama işlemlerinde genler CR olasılıkla ara kromozomdan ve $(1 - CR)$ olasılıkla mevcut kromozomdan seçilir. Denklemden yer alan $j = j_{rand}$ koşulu; çaprazlama işleminde en az bir tane genin üretilen ara kromozomdan seçilmesini garanti etmektedir (Keskintürk, 2006).

3.5. Uygunluk Fonksiyonu

Oluşturulan yeni kromozomda ($u_{j,i,G+1}$) yer alan gen değerleri kullanılarak, yeni kromozoma ait uygunluk değeri hesaplanır. Kromozomlarda yer alan gen değerlerin, değişkene ait alt ve üst sınır aşması durumunda veya çözümün probleme uygun olmaması durumunda uygunluk fonksiyonuna ceza maliyeti eklenebilir veya çıkartılabilir. Böylece algoritmanın seçim aşamasında, yeni kromozomun seçilmesi engellenir.

3.6. Seçim İşlemi

Seçim işleminde mevcut kromozom ve yeni kromozoma ait uygunluk fonksiyonları değerlendirilerek yeni popülasyon oluşturulur. Mevcut kromozom ve yeni kromozom bire bir karşılaştırılır ve uygunluk değeri daha iyi olan kromozom yeni popülasyonda yer alır. Seçim işlemine ait koşul ifadesi Eşitlik 3.4’de verilmiştir.

$$x_{j,i,G+1} = \begin{cases} u_{j,i,G+1} & : (f(u_{j,i,G+1}) \leq f(x_{j,i,G})) \text{ ise} \\ x_{j,i,G} & : \text{aksi halde} \end{cases} : i \in [1,2,3,...,NP] \quad (3.4)$$

3.7. Durdurma Kriteri

Diferansiyel gelişim algoritması için genellikle durdurma kriteri olarak maksimum jenerasyon sayısı kullanılmaktadır. Jenerasyon sayısı (G), maksimum jenerasyon sayısına ($G_{\max}$) eşit olduğunda algoritma durdurulur.

4. VRPBTW İÇİN KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapılan tez çalışmasının uygulama kısmında Bursa’da faaliyet gösteren bir catering firmasına ait araçların planlanması incelenmiştir. Çalışmanın uygulama kısmında tanımlandığı üzere bu problem yapısı, önce dağıtım sonra toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemi tipindedir. Bu bölümde, VRPBTW problem yapısı incelenmiş ve uygulamada yer alan probleme ilişkin matematiksel model geliştirilmiştir.

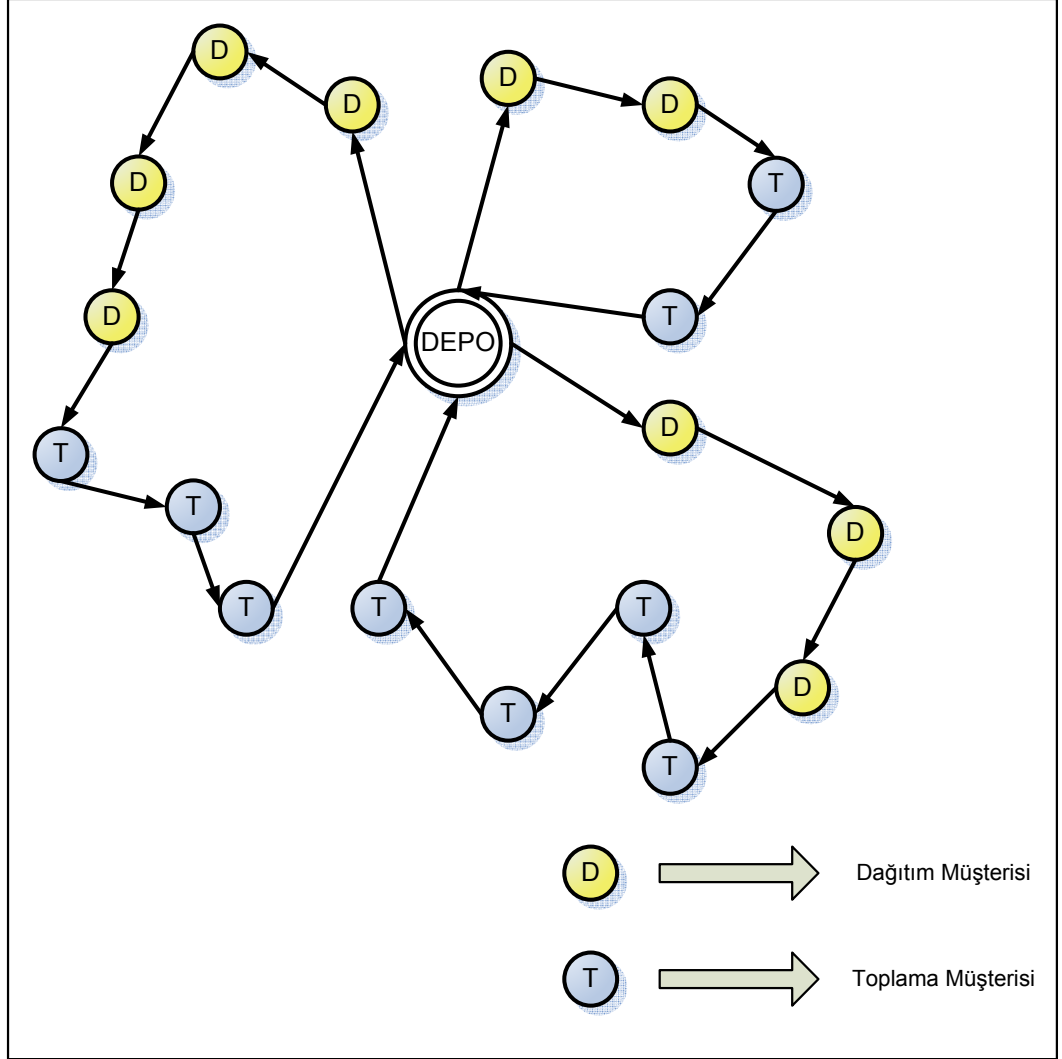
4.1. Önce Dağıtım Sonra Toplamalı ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi

Önce dağıtım sonra toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemi, önce dağıtım sonra toplamalı araç rotalama probleminin uzantısı niteliğindedir. Bu problem yapısında, önce dağıtım sonra toplamalı araç rotalama problemine ek olarak her müşterinin işlem göreceği bir zaman penceresi mevcuttur. Bu zaman penceresinde müşterinin servis göreceği en erken zaman ve en geç zaman yer almaktadır. Dağıtım veya toplama işleminde araçlar, herhangi bir müşteriye zaman penceresi dışında servis veremez. Eğer araç müşterinin en erken hizmet zamanından önce müşteriye varırsa, müşterinin en erken hizmet zamanını beklemesi gerekmektedir (Ropke ve Pisinger, 2006).

Önce dağıtım sonra toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemlerinde müşteriler, dağıtım ve toplama işlemine göre iki alt kümeye ayrılırlar. Her bir dağıtım ve toplama müşterisi sadece bir araç tarafından ve bir defa ziyaret edilir. Her bir araç depodan ayrıldıktan sonra ilk olarak dağıtım müşterilerine servis vererek dağıtım işlemlerini gerçekleştirir. Dağıtım işlemini bitiren araç rotasında bulunan toplama müşterilerine servis vererek dağıtım işlemlerini gerçekleştirir ve depoya döner. Araç rotasında bulunan bütün dağıtım müşterilerine, toplama müşterilerinden önce servis

vermek zorundadır. VRPBTW dağıtım ve toplama işlemleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir (Zhong ve Cole, 2005).

Şekil 4.1: VRPBTW’de Araçların Dağıtım ve Toplama İşlemi



Kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinde olduğu gibi, bu problem yapısında da araçlar belirli bir kapasiteye sahiptir. Araç filosunda yer alan araçlar eşit veya birbirinden farklı kapasiteye sahip olabilirler. Bir aracın rotasında bulunan dağıtım müşterilerinin toplam talebi ve aracın rotasında bulunan toplama müşterilerinin toplam arz miktarı aracın toplam kapasitesini aşamaz (Reiman ve ark., 2002).

VRPBTW problemi için öncelikli amaç fonksiyonu, araç filosunda yer alan araçların sayısını minimize etmektir. Aynı araç sayısına sahip problemler için ise amaç fonksiyonu, zaman ve kapasite kısıtları ihlal edilmeden toplam dolaşım süresinin veya toplam dolaşım mesafesinin minimize edilmesidir (Cho ve Wang, 2005).

4.2. VRPBTW İçin Literatür Araştırması

Önce dağıtım sonra toplamalı araç rotalama problemleri için geliştirilmiş bir çok farklı meta sezgisel, sezgisel ve optimum sonucu bulan algoritma literatürde yer almaktadır. Fakat zaman penceresi eklenerek oluşturulan önce dağıtım sonra toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemleri için bulunan bilimsel çalışma sayısı çok azdır. Bu bölümde VRPBTW problemleri için bulunan bilimsel çalışmalar özet şekilde yer almaktadır.

Gelinas ve ark.; 1995 yılında yapmış oldukları çalışmada, önce dağıtım sonra toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemleri için küme bölme yaklaşımını kullanarak, Solomon'un 1987 yılında kullandığı 100 müşterilik örnek problem için optimum sonucu bulmuşlardır.

Başlangıç çözümü için ilk sezgisel algoritma 1996 yılında Thangiah ve ark. tarafından geliştirilmiştir. Yapmış oldukları çalışmada Solomon'un 1987'de zaman pencereli araç rotalama problemleri için geliştirdikleri ekleme yöntemini kullanmışlardır. Solomon'un ekleme yönteminde, zaman ve kapasite uygunluğu sağlanacak şekilde rotalanmamış müşteriler rotaya eklenerek başlangıç çözümü oluşturulmaktadır. Geliştirilen ekleme yönteminde ise dağıtım ve toplama müşterileri, dağıtım ve toplama işlemlerine göre ayrıştırılarak rotaya eklenmektedir. Geliştirmiş oldukları bu sezgisel yöntem ile VRPBTW problemleri için başlangıç çözümü oluşturmuşlardır.

Duhamel ve ark.; 1997 yılında yapmış oldukları çalışmada tabu arama algoritmasını kullanarak meta sezgisel bir yöntem ile VRPBTW problemleri için çözüm

üretmişlerdir. Geliştirdikleri sezgisel algoritma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada Solomon'un geliştirmiş olduğu ekleme yöntemi ile uygun bir başlangıç çözümü üretilmektedir. İkinci aşamada ise, üretilen uygun çözümü geliştirmek için tabu arama algoritması kullanılarak lokal arama prosedürü uygulanmıştır.

Reiman ve ark.; 2002 yılında karınca kolonisi algoritması kullanarak VRPBTW problemleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Geliştirdikleri algoritma Duhamel ve ark. yapmış oldukları tabu arama algoritması gibi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada Solomon'un ekleme yöntemi kullanarak karınca kolonisi algoritması ile uygun bir çözüm üretilmektedir. İkinci aşamada ise lokal arama algoritması kullanarak başlangıç çözümü iyileştirilmektedir.

Cheung ve Hang; 2003 yılında VRPBTW probleminin çözümünde etiket eşleştirme algoritmasını kullanmışlardır. Geliştirdikleri algoritma ile, değişik kapasiteli araçlar veya erken gelme cezaları gibi kompleks yapıda olan problemler üzerinde çözüm üretmişlerdir.

Zhong ve Cole; 2005 yılında VRPBTW problemleri için kılavuz lokal arama yöntemini (Guided Local Search Heuristic) kullanarak değişik bir çözüm yöntemi sunmuşlardır. İki aşamadan oluşturdukları sezgisel yöntemde, ilk aşamada uyarlanmış süpürme algoritması (Adapted Sweep Algorithm, Fisher ve Jaikumar, 1981) kullanılarak başlangıç çözümü üretilmektedir. Kılavuz lokal arama yöntemi ile başlangıç çözümü geliştirilmektedir. İkinci aşamada ise problemde yer alan kapasite ve zaman kısıtı sağlanacak şekilde rotalar oluşturulmaktadır.

Cho ve Wang; 2005 yılında eşik kabullenme (Threshold Accepting) meta sezgisel yöntemine en yakın komşu sezgisel yöntemini adapte ederek VRPBTW üzerinde araştırma yapmışlardır. Geliştirdikleri algortmada başlangıç çözümü için en yakın komşu sezgisel yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra başlangıç çözümünün geliştirilmesi için eşik kabullenme meta sezgisel yöntemi kullanılmıştır.

Ropke ve Pisinger; 2006 yılında yapmış oldukları çalışmada önce dağıtım sonra toplamalı araç rotalama problemlerinin ve bu problem yapısına dayanan alt problemlerin çözümü için sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Sezgisel yaklaşımda ilk olarak problem, dağıtım ve toplamalı zaman pencereli araç rotalama problemine dönüştürülmektedir. Ardından bu problem geniş bir komşu arama yöntemi ile çözülmektedir. Son aşamada ise çözüm; orijinal problemin yapısına uygun olacak şekilde dönüşümü yapılmaktadır.

Aghdaghi ve Jolai; 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada VRPBTW çözümü için hedef programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Ele alınan amaç fonksiyonları arasında; servis maliyetlerinin minimizasyonu, müşteride beklenen toplam zamanın minimizasyonu, servis zamanlarının zaman penceresine uygunluğu, fazla çalışma ve boş beklemlerin minimizasyonu ve araç kapasitesinin optimum kullanılması yer almaktadır. Geliştirmiş oldukları sezgisel yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada müşteriler uygun bir şekilde kümelere ayrıştırılmaktadır. İkinci aşamada ise kümeler içinde bulunan müşterilerin rotaları geliştirilmektedir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada araç rotalama problemleri için Bursa ve çevre ilçelerinde bulunan işletmelere yemek hizmeti sunan bir catering firmasında yemeklerin dağıtımı için kullanılan araçların rotalanması incelenmiştir. Firmada dağıtım, üretimin gerçekleştirildiği merkezden yapılmaktadır ve dağıtımın yapılacağı 74 adet müşteri bulunmaktadır.

Merkezden müşteri taleplerine göre yüklenen araçlar, rotalarında bulunan müşterilere yemekleri dağıtmakta ve dağıtım işleminden sonra boşalan yemek kaplarını almak için toplama işlemi yapmaktadır. Her müşteriye dağıtım ve toplama işlemi yapılmaktadır. Araçlar, rotasında bulunan müşterilere yemekleri dağıtmadan önce boş kap toplama işlemi yapamamaktadır. Bu kısıtlama ile incelenen problem, önce dağıtım sonra toplamalı araç rotalama problemi tipine girmektedir.

Müşteriler, kendi işletmelerinde bulunan çalışan sayısı kadar yemek talep etmektedir. Müşterilerin talep miktarları önceden bilinmektedir. Araçlara yükleme yapılırken bu talep miktarı dikkate alınmaktadır ve bir araca yüklenecek toplam yemek miktarı araç kapasitesinden fazla olamaz. Aynı şekilde toplama işleminde müşterilerin arz ettikleri boş kap miktarı talep ettikleri dolu kap miktarı ile aynıdır. Toplama işleminde de bir rotada bulunan toplam boş kap miktarı rotanın atandığı araç kapasitesini aşamaz. Yemek firmasının 74 müşterisine ait günlük yemek talep miktarları Ek 1’de yer almaktadır. Dağıtım ve toplama işlemlerine kullanılan tüm kaplar aynı hacme sahiptir. Firmada kullanılan araçlar ise eşit ve sabit kapasitededir. Uygulamada her bir aracın kapasite miktarı 800 adet olarak alınmıştır. Problemde yer alan araç bilgileri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

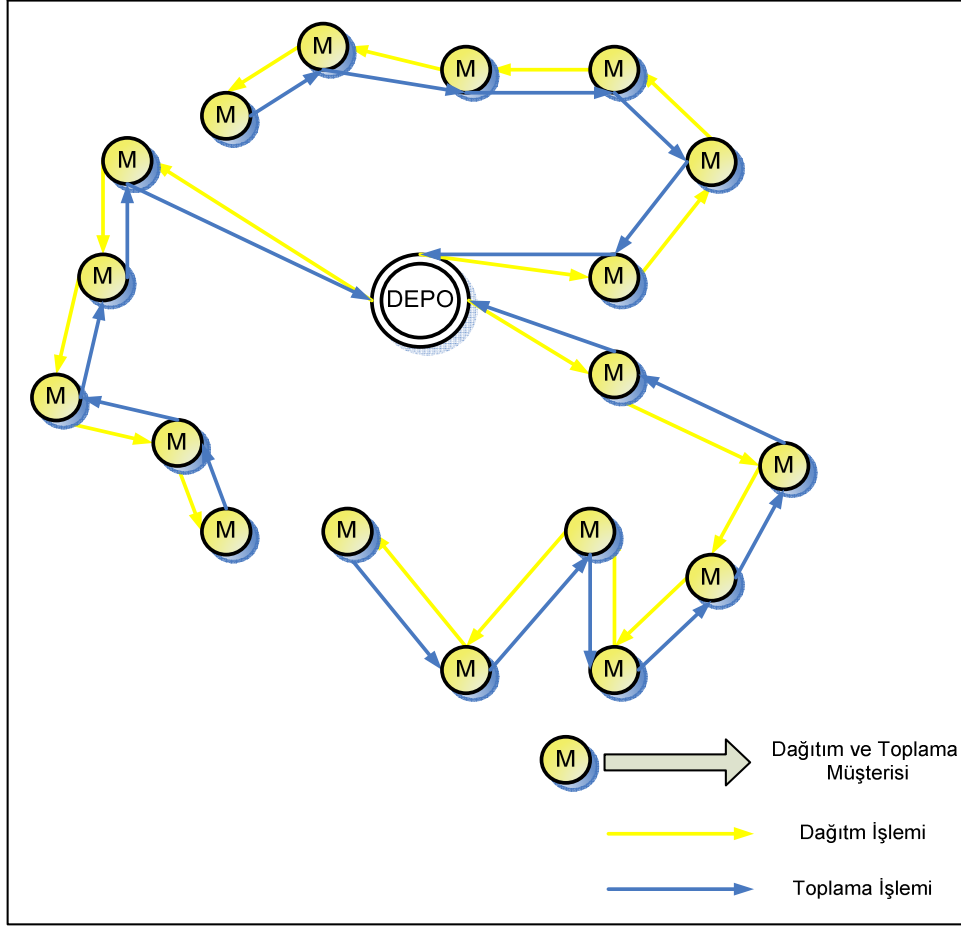
Çizelge 5.1: Yemek Dağıtım Firmasına Ait Araç Bilgileri

Araç Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8
Araç Kapasitesi (Kap)	800	800	800	800	800	800	800	800

Müşteriler, talep ettikleri yemeklerin saat 12.00'ye kadar gelmesini istemektedir. Firma ise yemek dağıtım işlemine en erken saat 08.30'da başlayabilmektedir. Dağıtım işlemi yapan araçlar firmaya 12.00'den önce teslimat yapabilirler fakat 12.00'den sonra yapılan yemek teslimatları kabul edilmemektedir. Toplama işlemine ise saat 12.00'den sonra başlanmaktadır ve toplanan boş kapların bir sonraki güne yetişebilmesi için araçların 16.00'ya kadar merkeze dönmesi istenmektedir. Müşterilerin ve firmanın bu istekleri nedeniyle probleme zaman kısıdının eklenmesi gerekmektedir. Zaman kısıdının eklenmesi ile problem VRPBTW tipine dönüşmektedir. Tanımlanan problem Şekil 5.1'de verilmiştir. Müşterilere ait zaman penceresi tablosu Ek 3'de verilmiştir.

Problemde kullanılacak olan müşteriler arası uzaklık ve ulaşım zamanı değerleri, google arama motorunda bulunan haritalar sayfasındaki (<http://maps.google.com/>) yol tarifi bulma fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Firmanın müşterilerine ait koordinat değerleri, firmalara ait adreslerden tespit edilmiştir ve bu koordinatlar kullanılarak müşteriler arasındaki gerçek yol uzunlukları kilometre cinsinden elde edilmiştir. Aynı şekilde google haritalar sayfasında yol tarifi fonksiyonu kullanılarak müşteriler arasındaki gerçek ulaşım zamanı değerleri dakika cinsinden tespit edilmiştir. Müşterilerin adreslerinden elde edilen koordinat değerleri, uzaklık matrisi ve zaman matrisi değerleri; Ek 1, Ek 2 ve Ek 3'de verilmiştir. Araçların müşteri noktalarında geçirmiş oldukları servis süresi ise müşteri talep miktarına göre değişmektedir. Bu uygulamada ise işlem süreleri müşteri talebine göre iki farklı ortalama değer alınmıştır. Talep miktarı 50'den düşük olan müşteriler için işlem zamanı bir dakika ve talep miktarı 50'den büyük olan müşteriler için işlem zamanı 5 dakika olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.1: Yemek Dağıtım Problemi İçin Tanımlanan VRPBTW



Araç rotalama problemleri literatürde NP_Zor sınıfına giren bir problem yapısıdır. Problemim boyutu büyüdükçe işlem zamanı üssel olarak artmaktadır. Tanımlanan VRPBTW, araç rotalama problemlerinin bir alt problemi olduğundan dolayı NP-Zor sınıfına girmektedir (Zhong ve Cole, 2005).

5.2. VRPBTW İçin Önerilen Matematiksel Model

Önce dağıtım sonra toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama probleminin doğrusal ve tam sayılı matematiksel modelinin oluşturulması için klasik kapasite kısıtlı araç rotalama problemi temel alınmıştır. CVRP tamsayılı doğrusal modeline, zaman penceresi ve müşteri önceliklerini (dağıtım – toplama) belirten kısıtlar eklenerek yeni

model geliştirilmiştir. VRPBTW için önerilen modelin varsayımları aşağıda belirtilmiştir.

Problem tek bir merkezi depodan ve coğrafi olarak birbirinden ayrılmış müşterilerden oluşmaktadır. Her bir araç dağıtım ve toplama işlemi için depodan ayrıldıktan sonra tekrar depoya dönmek zorundadır. Amaç müşterilere hizmet verecek olan araçların rotalarını, araçların müşterilere varış zamanlarını ve araçların müşterilerden ayrılma zamanlarını belirlemektir. Modelde yer alan amaç fonksiyonu ise dağıtım ve toplama yapacak araçların kat ettikleri toplam yol uzunluğunun minimize edilmesidir. Müşteriler arasındaki mesafeler $distance_{ij}$ sabittir ve önceden bilinmektedir.

Problemde yer alan müşterilere dağıtım ve toplama işlemi, önceden belirlenmiş zaman penceresi içinde $[e_i, l_i]$ başlar ve biter. Araçlar, müşterilere e_i alt sınırından önce veya l_i üst sınırından sonra servis veremez. Eğer araç e_i alt sınırından önce müşteri noktasına varırsa o noktada bekleme yapabilir. Fakat araçların l_i üst sınırından sonra müşteriye servis vermesi kabul edilemez. Ayrıca servis yapan araçların, her müşteride geçirmiş oldukları bir servis süresi p_i ve iki müşteri arasındaki mesafenin kat edilmesi sırasında oluşan ulaşım süresi c_{ij} mevcuttur. Her müşterinin servis süresi p_i ve müşteriler arasındaki ulaşım süresi sabittir ve önceden bilinmektedir.

Araç filosunda yer alan araç kapasiteleri sabittir ve bu kapasiteler birbirinden farklı olabilir. Bir rotada yer alan dağıtım müşterilerinin toplam talep miktarı ve o rotada yer alan toplama müşterilerinin toplam arz miktarı, o rotaya atanmış olan aracın kapasitesini aşamaz. Araçlar servise çıktıklarında önce dağıtım işlemini gerçekleştirmek zorundadır. Depoda dağıtım müşterilerinin talebi doğrultusunda araçlar yüklenir ve araç depodan ayrılır. Dağıtım işlemi bittiği anda araç doluluğu sıfır olacaktır. Dağıtım işleminden sonra araçlar toplama işlemine başlar. Araçlar rotalarında bulunan toplama müşterilerini ziyaret ettikten sonra depoya geri dönüş yaparlar. Problemde yer alan müşterilerin talep ve arz miktarları sabit olup önceden bilinmektedir. Her bir müşteri

dağıtım ve toplama işlemi için ayrı olmak üzere sadece bir araç tarafından ve sadece bir kez servis görebilir.

Yukarıda tanımlanan varsayımlar ile oluşturulan VRPBTW doğrusal tam sayılı matematiksel model, model parametreleri ve model değişkenleri aşağıda yer almaktadır.

Parametreler;

M	: Talep müşterisi sayısı
N	: Arz müşteri sayısı
K	: Araç sayısı
$distance_{ij}$	: i müşterisinden j müşterisine olan gerçek uzaklık ($i,j=1,\dots,M+N+1$; $i \neq j$)
a_i	: i müşterisinin talep miktarı ($i=2,\dots,M+1$)
b_i	: i müşterisinin arz miktarı ($i=M+2,\dots,M+N+1$)
cap_k	: k aracının kapasitesi ($k=1,\dots,K$)
p_i	: i müşterisinin işlem zamanı ($i=1,\dots,M+N+1$)
e_i	: i müşterisinin izin verilen en erken işleme başlama zamanı ($i=1,\dots,M+N+1$)
l_i	: i müşterisinin izin verilen en son işlem görme zamanı ($i=1,\dots,M+N+1$)
t_i	: i müşterisinin servise başlama zamanı ($i=1,\dots,M+N+1$)
c_{ij}	: i müşterisinden j müşterisine aracın ulaşma zamanı ($i,j=1,\dots,M+N+1$; $i \neq j$)
T	: Araçlara izin verilen toplam tur zamanı
MM	: Büyük bir sayı
S	: Araçlar için alt turun olmadığı çözüm kümesi

Değişkenler;

x_{ijk}	: i müşterisinden j müşterisine k aracı ile gidilirse 1, diğer durumlarda 0
u_{ik}	: i müşterisinin talebi k aracı ile karşılanıyorsa 1, diğer durumlarda 0

v_{jk} : j müşterisinin arzi k aracı tarafından toplanıyorsa 1, diğer durumlarda 0

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{M+N+1} \sum_{j=1}^{M+N+1} \sum_{k=1}^K \text{distance}_{ij} x_{ijk} \quad (5.1)$$

S.t.

$$\sum_{i=2}^{M+1} a_i u_{ik} \leq \text{cap}_k \quad (k = 1, \dots, K) \quad (5.2)$$

$$\sum_{k=1}^K u_{ik} = 1 \quad (i = 2, \dots, M + 1) \quad (5.3)$$

$$\sum_{i=M+2}^{M+N+1} b_i v_{ik} \leq \text{cap}_k \quad (k = 1, \dots, K) \quad (5.4)$$

$$\sum_{k=1}^K v_{ik} = 1 \quad (i = M + 2, \dots, M + N + 1) \quad (5.5)$$

$$\sum_{i=1}^{M+1} x_{ijk} = u_{jk} \quad (j = 2, \dots, M + 1; \quad k = 1, \dots, K) \quad (5.6)$$

$$\sum_{i=1}^{M+N+1} x_{ijk} = v_{jk} \quad (j = M + 2, \dots, M + N + 1; k = 1, \dots, K) \quad (5.7)$$

$$\sum_{j=1}^{M+N+1} x_{ijk} = u_{ik} \quad (i = 2, \dots, M + 1; \quad k = 1, \dots, K) \quad (5.8)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq [2, M+1]}}^{M+N+1} x_{ijk} = v_{ik} \quad (i = M + 2, \dots, M + N + 1; k = 1, \dots, K) \quad (5.9)$$

$$\sum_{j=1}^{M+N+1} \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1 \quad (i = 2, \dots, M + N + 1) \quad (5.10)$$

$$\sum_{i=1}^{M+N+1} \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1 \quad (j = 2, \dots, M + N + 1) \quad (5.11)$$

$$\sum_{j=1}^{M+N+1} \sum_{k=1}^K x_{1jk} \leq K \quad (5.12)$$

$$\sum_{i=1}^{M+N+1} \sum_{k=1}^K x_{i1k} \leq K \quad (5.13)$$

$$\sum_{j=1}^{M+N+1} x_{ijk} = \sum_{j=1}^{M+N+1} x_{jik} \quad (i = 1, \dots, M + N + 1; \quad k = 1, \dots, K) \quad (5.14)$$

$$\sum_{j=1}^{M+N+1} x_{1jk} = 1 \quad (k = 1, \dots, K) \quad (5.15)$$

$$\sum_{i=1}^{M+N+1} x_{i1k} = 1 \quad (k = 1, \dots, K) \quad (5.16)$$

$$p_1 + c_{1j} - t_j \leq MM(1 - x_{1jk}) \quad (j = 2, \dots, M + N + 1; \quad k = 1, \dots, K) \quad (5.17)$$

$$t_i + p_i + c_{i1} - T \leq MM(1 - x_{i1k}) \quad (i = 2, \dots, M + N + 1; \quad k = 1, \dots, K) \quad (5.18)$$

$$t_i + p_i + c_{ij} - t_j \leq MM(1 - x_{ijk}) \quad (i, j = 2, \dots, M + N + 1; k = 1, \dots, K) \quad (5.19)$$

$$e_i \leq t_i \leq l_i \quad (i = 1, \dots, M + N + 1) \quad (5.20)$$

$$x_{ij}^k \in S \quad (i, j = 1, \dots, M + N + 1; k = 1, \dots, K) \quad (5.21)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad (i, j = 1, \dots, M + N + 1; k = 1, \dots, K; i \neq j) \quad (5.22)$$

$$u_{ik} \in \{0,1\} \quad (i = 2, \dots, M + 1; \quad k = 1, \dots, K) \quad (5.23)$$

$$v_{jk} \in \{0,1\} \quad (j = M + 2, \dots, M + N + 1; k = 1, \dots, K) \quad (5.24)$$

Modelde yer alan i ve j indisleri müşterileri ifade etmektedir ve toplam müşteri sayısı M+N+1 kadardır. Dağıtım müşterileri ($i = 2, \dots, M+1$) ve toplama müşterileri ($M+2, \dots, M+N+1$) olarak ifade edilmiştir. Merkez depo olarak $i=j=1$ alınmıştır.

Kısıt 5.2 ve Kısıt 5.4 araçlara ait kapasite kısıtlarıdır. Herhangi bir k aracının rotasında bulunan toplama müşterilerinin toplam talep miktarı ve dağıtım müşterilerinin toplam arz miktarı, o rotaya atanan aracın kapasitesini aşamaz.

Kısıt 5.3 dağıtım müşterilerine ve Kısıt 5.5 toplama müşterilerine araçların atanmasını ifade etmektedir. Her müşteri sadece bir araç tarafından ve bir kez dağıtım ve toplama işlemi görebilir.

Kısıt 5.6, Kısıt 5.7, Kısıt 5.8 ve Kısıt 5.9 rotada yer alan müşterilerin dağıtım ve toplama önceliğini sağlayan kısıtlardır. Bu kısıtlar, Kısıt 5.3 ve Kısıt 5.5 de araçlara atanan müşterilerinin rotalara aktarılmasını sağlar. Önce dağıtım sonra toplamalı araç rotalama problemlerinin (VRPB) en önemli özelliği olan; bir aracın rotasında yer alan dağıtım müşterisi ve toplama müşterisi öncelikleri bu kısıtlar ile sağlanır.

Kısıt 5.10 – 5.16 araç rotalama problemlerinin temel kısıtlarıdır. Kısıt 5.10 ve Kısıt 5.11, i müşterisine sadece bir aracın gitmesini sağlayan kısıtlardır. Kısıt 5.12 ve Kısıt 5.13 depodan ayrılacak olan ve depoya dönecek olan maksimum araç sayısını belirtmektedir. Kısıt 5.14 her aracın rotasının devamlılığını sağlayan klasik akış koruma denklemidir. Kısıt 5.15 ve Kısıt 5.16, Kısıt 5.10 ve Kısıt 5.11'in devamı niteliğindedir. Depodan çıkan her aracın, sadece bir i müşterisine gitmesini ve depoya dönecek her aracın, sadece bir i müşterisinden gelmesini sağlar.

Kısıt 5.17 – 5.20 zaman penceresi kısıtlarıdır. Kısıt 5.17 – 5.19; bir k aracına ait rotada yer alan ardışık iki müşteri arasında araçların zaman olarak uygunluğunu sağlar. Kısıt 5.20 ise araçların servis işlemlerini, zaman penceresi içinde yapmasını sağlar.

Kısıt 5.21 çözümde alt tur oluşmasını önleyen kısıttır. Bu kısıtta yer alan S kümesi 2.12 – 2.14 eşitlikleri ile ifade edilebilir. Kısıt 5.22 – 5.24, modelde yer alan 0–1 değişkenleri tanımlamaktadır. Son olarak amaç fonksiyonu olan ve toplam mesafenin minimize edilmesini sağlayan ifade Kısıt 5.1'de yer almaktadır.

Tanımlanan 74 müşterilik problem, oluşturulan matematiksel model ile MPL programında hazırlanarak CPLEX.11 ile çalıştırılmıştır, fakat problem boyutu çok büyük olduğu için çözüme ulaşamamıştır. Mevcut problem boyutu küçültülerek hazırlanan örnek problemlerde ise en çok 16 müşteriye kadar çözüm bulunabilmiştir. Optimum sonucun bulunabilmesi için program, Pentium(Duo) 2.2 Ghz ve 1 Gb belleğe sahip bilgisayarda yaklaşık 10 saat çalışmıştır ve optimum rota uzunluğu 219.5 km olarak bulunmuştur. Optimum sonuca göre elde edilen araç rotaları Çizelge 5.2'de yer almaktadır.

Çizelge 5.2: 16 Müşterili Örnek Probleme Ait Optimum Sonuç Tablosu

ARAÇ 1	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 2	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 3	İŞLEM TÜRÜ
11	DAĞITIM	8	DAĞITIM	3	DAĞITIM
12	DAĞITIM	8	TOPLAMA	6	DAĞITIM
7	DAĞITIM			9	DAĞITIM
13	DAĞITIM			2	DAĞITIM
14	DAĞITIM			10	DAĞITIM
16	DAĞITIM			1	DAĞITIM
15	DAĞITIM			5	DAĞITIM
15	TOPLAMA			4	DAĞITIM
16	TOPLAMA			4	TOPLAMA
14	TOPLAMA			5	TOPLAMA
13	TOPLAMA			1	TOPLAMA
7	TOPLAMA			10	TOPLAMA
12	TOPLAMA			2	TOPLAMA
11	TOPLAMA			9	TOPLAMA
				6	TOPLAMA
				3	TOPLAMA

5.3. Problem İçin Geliştirilen Diferansiyel Gelişim Algoritması

Yukarıda tanımlandığı üzere ele alınan VTRBTW NP-Zor sınıfına giren bir problem tipidir ve 74 müşterili yemek dağıtım problemi için optimum sonuç bulunamamaktadır. Bundan dolayı problemin çözümünde diferansiyel gelişim algoritmasının kullanılması tercih edilmiştir. Bu bölümde, ele alınan problem için geliştirilen diferansiyel gelişim algoritması yer almaktadır.

Yapılan literatür araştırmasına göre; araç rotalama problemleri için geliştirilen ilk diferansiyel gelişim algoritması uygulaması 2006 yılında Pesko tarafından yapılmıştır. Pesko yaptığı çalışmada küçük boyutlu araç rotalama probleminin diferansiyel gelişim algoritması ile çözümünü incelemiştir.

Erbao ve Mingyong; 2009 yılında yaptıkları çalışmada bulanık talep miktarlı araç rotalama problemlerinin çözümü için diferansiyel gelişim algoritmasını kullanmışlardır. 2009 yılında yapılan başka bir çalışmada ise Rachman ve ark. klasik araç rotalama problemlerinin çözümü için diferansiyel gelişim algoritmasını kullanmışlardır.

Mingyong ve Erbao; 2010 yılında dağıtım ve toplamalı zaman pencereli araç rotalama problemleri için diferansiyel gelişim algoritmasını kullanmışlardır. Geliştirdikleri algoritma ile yaptıkları testlerin sonuçlarının bu problem için etkin bir çözüm ürettiği belirtilmiştir. 2010 yılında yapılan diğer bir çalışmada, Tasgetiren ve ark. genelleştirilmiş gezgin satıcı problemleri için diferansiyel gelişim algoritmasını uygulamışlardır.

Diferansiyel gelişim algoritmasının diğer meta sezgisel algoritmalara göre avantajları:

- Algoritmanın kolay ve kısa bir şekilde kodlanabilir olması ve bu sayede algoritmanın daha hızlı çalışması (Mayer ve ark., 2005),
- Klasik ikili kodlama yerine gerçek değerlerin kullanılabilir olması ve bu sayede daha kolay bir kodlama sağlaması (Storn ve Price, 1995),
- Popülasyon tabanlı bir algoritma olmasıdır ve bu sayede her jenerasyonda daha geniş bir alanda arama yapabilmesidir (Storn ve Price, 1995).

Yukarıda ifade edilen avantajlardan dolayı bu çalışmada problem çözümü için DGA kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında ise VRPBTW için DGA'nı kullanan bir çalışma bulunamamıştır. Diferansiyel gelişim algoritmasının VRPBTW'e adapte edilebilmesi için algoritmada yer alan operasyonlar, ilerleyen kısımlarda tekrardan tanımlanmıştır.

5.3.1. Başlangıç popülasyonu

Bölüm 3.2'de açıklandığı üzere, standart DGA'da değişkenler gerçek değer olarak tanımlanabilmektedir. Geliştirilen algoritmada da popülasyon oluşturulurken gerçek değerler kullanılmıştır. Fakat başlangıç popülasyonunda değişkenler tam sayı olarak atansa bile, algoritma içinde işlemler sonucunda değişkenler reel sayıya dönüşmektedir. Bu nedenle popülasyonda reel sayı değerleri ve bu reel sayı değerlerine atanmış tam sayı değerleri kullanılmıştır.

Popülasyonda her bir kromozom müşteri numarası ve araç numarası olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Kromozomun her bir satırı, müşterilere hangi araç ile gidileceğini ifade etmektedir. Tanımlanan yapıya örnek bir popülasyon Çizelge 5.3’de yer almaktadır. Her kromozomun ilk iki sütunu müşteri numarasını ve diğer iki sütunu da araç numarasını tanımlamaktadır. Müşteri numarası ve araç numarası bölümlerinde yer alan ilk sütunlar reel sayı değerlerini ve ikinci sütunları da bu reel sayılara atanmış tam sayı değerleri ifade etmektedir.

Çizelge 5.3: DGA Popülasyon Yapısı

	KROMOZOM 1				KROMOZOM 2				...	KROMOZOM N			
	Müşteri No		Araç No		Müşteri No		Araç No		...	Müşteri No		Araç No	
Değişken 1	5.64	4	0.9	1	6.84	6	1.8	2	...	0.24	2	1.3	1
Değişken 2	4.26	2	0.3	1	0.78	1	0.5	1	...	6.97	3	1.5	1
Değişken 3	4.63	5	0.5	2	6.69	3	1.0	1	...	5.01	7	1.8	2
Değişken 4	2.31	6	1.1	1	5.25	2	0.7	1	...	7.71	5	1.0	1
Değişken 5	2.41	1	1.3	2	6.22	8	1.3	2	...	6.71	6	0.4	1
Değişken 6	6.19	7	1.2	2	4.91	4	0.2	1	...	3.82	1	0.6	2
Değişken 7	0.11	8	0.1	2	5.61	7	0.3	2	...	7.73	4	1.3	2
Değişken 8	6.08	3	1.9	1	0.73	5	0.5	2	...	5.71	8	0.5	1

Kromozomlarda yer alan değişken sayısı, problemde yer alan müşteri sayısının iki katı kadar olarak oluşturulmaktadır. Bunun nedeni, her bir müşterinin dağıtım ve toplama işlemi için servis görecektir olmasıdır. Çizelge 5.3’de yer alan popülasyon, dört müşterili ve sekiz değişkene sahip popülasyon yapısına örnektir. 1–4 müşteri numaraları dağıtım işleminde ve 5–8 müşterileri toplama işleminde kullanılmaktadır. Burada 1-5, 2-6, 3-7 ve 4-8 müşteri numaraları aynı müşteriyi ifade etmektedir.

Algoritmada başlangıç popülasyonu oluşturulurken, reel sayı değerleri Visual Basic programının *random* özelliği kullanılarak rassal olarak oluşturulmaktadır. Müşteri numaralarına ait tam sayı değerleri, tekrarlanmamak koşulu ile rassal olarak oluşturulmaktadır. Araç numaralarına ait tam sayı değerleri ise, alt ve üst sınırlar içinde kalmak koşulu ile rassal olarak oluşturulmaktadır.

5.3.2. Çaprazlama işlemi

Çaprazlama işlemi, Bölüm 3.4’de çaprazlama işleminde açıklandığı gibi uygulanmaktadır. Üretilen rassal sayı değeri eğer çaprazlama oranından küçük ise mutasyona uğramış olan gen seçilir. Üretilen rassal sayı değeri eğer çaprazlama oranından büyük ise mevcut gen seçilir. Geliştirilen DGA’da çaprazlama işlemine girecek olan genler belirlendikten sonra mutasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Çizelge 5.4’de çaprazlama işlemi için örnek bir kromozom gösterilmiştir. Kromozomda yer alan 2,3,5 ve 7 numaralı değişkenler, mutasyon işleminden sonra yeni değerleri ile kromozomda yer alacaktır. Çaprazlama ve mutasyon işleminden sonra oluşan yeni kromozom Çizelge 5.5’de yer almaktadır.

Çizelge 5.4: Çaprazlama İşlemi Sonucunda Seçilen Genler

KROMOZOM 1				
	Müşteri No		Araç No	
Değişken 1	5.64	4	0.9	1
Değişken 2	4.26	2	0.3	1
Değişken 3	4.63	5	0.5	2
Değişken 4	2.31	6	1.1	1
Değişken 5	2.41	1	1.3	2
Değişken 6	6.19	7	1.2	2
Değişken 7	0.11	8	0.1	2
Değişken 8	6.08	3	1.9	1



KROMOZOM 1				
	Müşteri No		Araç No	
Değişken 2	4.26	2	0.3	1
Değişken 3	4.63	5	0.5	2
Değişken 5	2.41	1	1.3	2
Değişken 7	6.08	8	1.9	2

5.3.3. Mutasyon işlemi

Mutasyon işleminde işlemler, kromozomda yer alan müşteri numarası ve araç numarası reel sayı değişkenleri ile yapılmaktadır. Mutasyon işleminde kullanılacak olan gende hem müşteri numarası hem de araç numarası değiştirilmektedir. Kromozomda, mutasyon işlemine uğrayacak genler seçildikten sonra müşteri numaralarına ait tam sayı değerleri farklı bir diziye kayıt edilerek işlemler yapılır. Mutasyon işlemi sonunda kayıt edilen bu tam sayı değerleri kullanılarak, kromozomda müşteri numaraları için tekrarlar önlenmektedir.

Müşteri numaraları için yapılan mutasyon işleminde, reel sayı değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak tam sayı değerleri ile eşleştirme yapılır. En küçük reel sayı değerine en küçük müşteri numarası, en büyük reel sayı değerine de en büyük müşteri numarası atanmaktadır. Araç numaralarının mutasyon işleminde ise, araç numaralarına ait tam sayı değerleri tekrardan rassal olarak oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu tam sayı değerleri, mutasyon işlemi sonucunda oluşan reel sayı değerlerine; müşteri numaralarında olduğu gibi küçükten büyüğe doğru sıralanıp eşleştirilmektedir.

Çizelge 5.5’de mutasyon işlemi için örnek bir kromozom gösterilmiştir. Çizelge 5.4’de çaprazlama işlemi sonucunda seçilen genler mutasyon işleminden sonra değişerek kromozomda yer almışlardır. Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’de görüldüğü üzere müşteri numaralarına ait tam sayı değerleri değişmemektedir. Bu değerler sadece kromozom içinde yer değiştirmektedir. Böylece müşteri numaralarının tekrarı önlenmektedir. Genlerde yer alan diğer değerler ise değişebilmektedir.

Çizelge 5.5: Mutasyon İşlemi

KROMOZOM 1				
	Müşteri No	Araç No		
Değişken 2	7.78	8	0.9	1
Değişken 3	1.22	1	0.1	1
Değişken 5	3.62	2	1.9	2
Değişken 7	3.71	5	1.2	2



KROMOZOM 1				
	Müşteri No	Araç No		
Değişken 1	5.64	4	0.9	1
Değişken 2	7.78	8	0.9	1
Değişken 3	1.22	1	0.1	1
Değişken 4	2.31	6	1.1	1
Değişken 5	3.62	2	1.9	2
Değişken 6	6.19	7	1.2	2
Değişken 7	3.71	5	1.2	2
Değişken 8	6.08	3	1.9	1

5.3.4. Uygunluk fonksiyonu

Yemek dağıtım firmasında ele alınan problemde amaç fonksiyonu filoda yer alan araçların toplam rota uzunluklarının minimizasyonudur. Bu nedenle, geliştirilen DGA’da uygunluk fonksiyonu da toplam rota uzunluğu olarak belirlenmiştir. Uygunluk fonksiyonu hesaplanırken kromozomlarda yer alan müşteri numaraları algoritma içinde

araç numaralarına göre ayrıştırılmaktadır. Böylece müşterilerin araçlara göre atanması sağlanmıştır. Araçlara atanan müşteriler ise, aynı araç içinde dağıtım ve toplama müşterisi olarak gruplandırılmaktadır. Bu işlemler bitirildikten sonra araçların rotası ortaya çıkmaktadır. Rotası belirlenen her aracın rota uzunluğu hesaplandıktan sonra toplam rota uzunluğu, araç rota uzunlukları kullanılarak elde edilmektedir.

Araçlara göre müşteri numaralarının ayrılmasına örnek olarak Çizelge 5.3'den alınan Kromozom 1, çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6: Kromozomda Yer Alan Müşteri Numaralarının Araçlara Göre Ayrılması

KROMOZOM 1					KROMOZOM 1		
					Müşteri No		Araç No
Değişken 1	5.64	4	0.9	1	Değişken 1	4	1
Değişken 2	4.26	2	0.3	1	Değişken 2	2	1
Değişken 3	4.63	5	0.5	2	Değişken 4	6	1
Değişken 4	2.31	6	1.1	1	Değişken 8	3	1
Değişken 5	2.41	1	1.3	2			
Değişken 6	6.19	7	1.2	2	KROMOZOM 1		
Değişken 7	0.11	8	0.1	2	Müşteri No		Araç No
Değişken 8	6.08	3	1.9	1	Değişken 3	5	2
					Değişken 5	1	2
					Değişken 6	7	2
					Değişken 7	8	2

Çizelge 5.6'de araçlara göre ayrılan müşterilerin, Çizelge 5.7'de dağıtım ve toplama işlemine göre gruplandırılması gösterilmektedir.

Çizelge 5.7: Müşterilerin Araç İçerisinde Dağıtım ve Toplama işlemine Göre Gruplanması

KROMOZOM 1					
	Müşteri No	Araç No		Müşteri No	Araç No
Değişken 1	4	1	→	Değişken 1	4
Değişken 2	2	1		Değişken 2	2
Değişken 4	6	1		Değişken 8	3
Değişken 8	3	1		Değişken 4	6

KROMOZOM 1					
	Müşteri No	Araç No		Müşteri No	Araç No
Değişken 3	5	2	→	Değişken 5	1
Değişken 5	1	2		Değişken 3	5
Değişken 6	7	2		Değişken 6	7
Değişken 7	8	2		Değişken 7	8

Araçların rotası belirlendikten sonra, her bir araç kapasite ve zaman kısıtı açısından değerlendirilir. Araçlara atanan müşterilerin toplam talebi, araç kapasitesini aştığında veya servis zamanlarının, müşterileri zaman penceresine uymadığı anda uygunluk fonksiyonuna ceza maliyeti eklenmektedir. Böylece uygun olmayan bir çözümün bir sonraki jenerasyonda seçilmesi engellenmektedir.

5.3.5. Seçim işlemi

Seçim işleminde mevcut kromozomun ve oluşturulan yeni kromozomun uygunluk değerleri karşılaştırılarak değerlendirme yapılır. Eğer oluşturulan yeni kromozomun uygunluk değeri mevcut kromozomun uygunluk değerinden daha iyi ise oluşturulan yeni kromozom seçilir ve bir sonraki jenerasyonda yer alır. Aksi halde mevcut olan kromozom bir sonraki jenerasyonda yer alır.

5.3.6. Algoritmanın oluşturulması

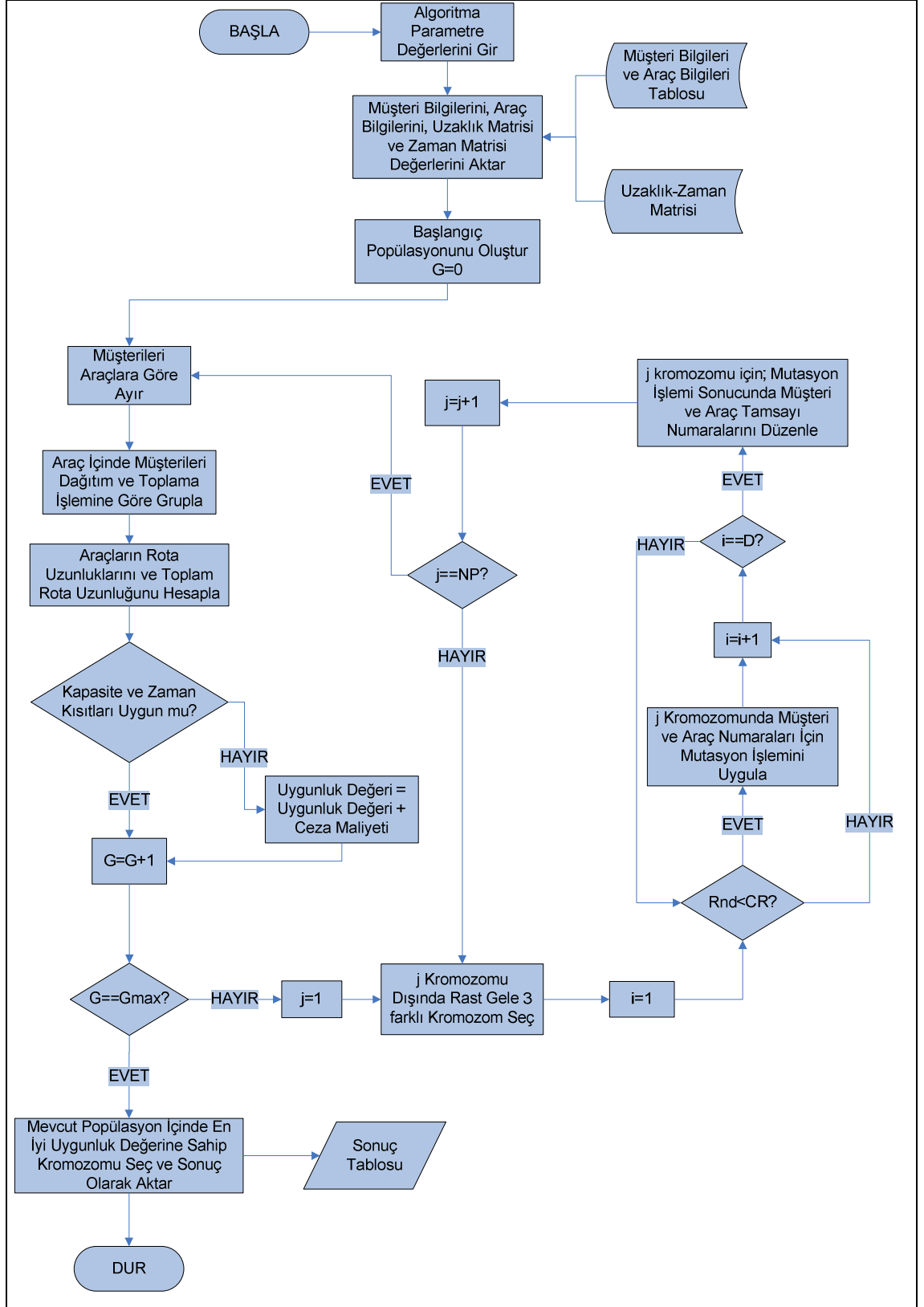
Yukarıda operasyonları tanımlanan DGA; Visual Studio 2008 programında, Visual Basic 9.0 ile kodlanmıştır. Kodlar Şekil 5.2’de yer alan akış şemasına göre oluşturulmuştur. Akış şemasına uygun olarak geliştirilen algoritmanın adımları aşağıda yer almaktadır:

- **Adım 0** : Algoritma parametrelerini (çaprazlama oranı, F sabiti, popülasyon büyüklüğü ve iterasyon sayısı) belirle ve müşteri bilgilerini (müşteri sayısı, talep miktarları, zaman penceresi, işlem zamanları, uzaklık matrisi ve zaman matrisi) aktar.
- **Adım 1** : Başlangıç popülasyonunu rast gele oluştur ve $G = 0$ olarak ata. Adım 3’e git.
- **Adım 2** : Mutasyon işlemi:
 - Adım 2.1 : $j=1$ olarak ata.
 - Adım 2.2 : Kromozom j dışında rast gele üç farklı kromozom belirle.
 - Adım 2.3 : $i=1$ olarak ata.
 - Adım 2.4 : Eğer $\text{rnd} < \text{CR}$ ise mutasyon işlemini gerçekleştir.
 - Adım 2.5 : Eğer $i < D$ ise $i=i+1$ olarak ata ve Adım 2.4’e dön.
 - Adım 2.6 : Mutasyon işlemi sonucunda müşteri ve araç no tamsayılarını düzenle.
 - Adım 2.7 : $j < NP$ ise $j=j+1$ olarak ata ve Adım 2.2’ye git.
- **Adım 3** : Rotaların belirlenmesi:
 - Adım 3.1 : $j=1$ olarak ata
 - Adım 3.2 : Kromozom j içinde müşterileri araçlara göre ayır
 - Adım 3.3 : Kromozom j içinde aynı araç içinde olan müşterileri dağıtım ve toplama işlemine göre gruplandır.
 - Adım 3.4 : $j=j+1$ olarak ata ve eğer $j < NP$ ise Adım 2.2’ye git.

- **Adım 4** : Uygunluk değerinin hesaplanması:
 - Adım 4.1 : $j=1$ olarak ata
 - Adım 4.2 : Kromozom j için toplam rota uzunluğunu hesapla
 - Adım 4.3 : Kromozom j için zaman ve kapasite kısıtlarını kontrol et.
 - Adım 4.4 : Kromozom j uygun bir çözüm üretmiyor ise toplam rota uzunluğuna ceza maliyeti ekle.
 - Adım 4.5 : $j=j+1$ olarak ata ve eğer $j < NP$ ise Adım 2.2'ye git.
- **Adım 5** : Durdurma kriteri:
 - Adım 5.1 : $G=G+1$ olarak ata
 - Adım 5.2 : Eğer $G < G_{\max}$ ise Adım 2'ye git.
- **Adım 6** : Popülasyon içinde en kısa rota uzunluğuna sahip kromozomu sonuç olarak ata ve DUR.

Algoritmanın çalışması esnasında iki farklı kaynaktan veri alınmaktadır. Müşteriler arasındaki uzaklık ve zaman matrisleri bilgileri Microsoft Office Excel ile hazırlanmıştır. Müşterilere ait talep, zaman penceresi ve araç bilgileri ise Microsoft Office Access ile hazırlanmıştır. Algoritma çalışma esnasında bu verileri, ilgili dosyalardan alarak işlem yapmaktadır. Algoritmaya ait parametre değerleri ise programın çalışması esnasında değiştirilebilmektedir. Oluşturulan ara yüz Şekil 5.3'de yer almaktadır. Arayüzde yer alan müşteri ve araç bilgileri Microsoft Office Access veri tabanından aktarılarak algoritmada kullanılmıştır. Kodlamada kullanılan veri tabanı bağlantısı ile yeni müşteri veya araç bilgileri eklenebilmekte, silinebilmekte ve düzeltilebilmektedir. Diferansiyel gelişim algoritmasına ait parametre değerleri (popülasyon büyüklüğü, iterasyon sayısı, F değeri ve çaprazlama oranı) programın çalışması esnasında değiştirilebilmektedir. Programda algoritma sonlandığı anda elde edilen en iyi sonuç ve algoritma süresi arayüz ekranına yazdırılmaktadır. Elde edilen en iyi sonuca ait rota bilgileri ise Microsoft Office Excel'e tablo halinde aktarılmakta ve kayıt edilmektedir.

Şekil 5.2: Geliştirilen DGA İçin Akış Şeması



Şekil 5.3: DGA İçin Oluşturulan Ara Yüz

The screenshot shows the VRPBTW software interface. At the top, there is a title bar with the text 'VRPBTW'. Below it is a menu bar with options like 'Dosya', 'Görünüm', 'Veri', 'Yardım'. The main window is divided into several sections:

- Customer List Table:** A table with columns: Müşteri No, Müşteri Adresi, Müşteri Talebi, Müşteri En Erken Teslim Zamanı, Müşteri en Geç Teslim Zamanı, Toplama En Erken Zamanı, Toplama En Geç Zamanı. It contains 7 rows of data.
- Vehicle Information Table:** A table with columns: Araç Numarası, Kapasitesi. It contains 3 rows of data.
- Parameter Settings (PARAMETRE İŞLEMLERİ):** A section with input fields for BİREY SAYISI (10), İTERASYON SAYISI (50000), F DEĞERİ (1), and ÇAPRAZLAMA ORANI (0.10). There are also buttons for 'MÜŞTERİ BİLGİLERİNİ AKTAR', 'ARAÇ BİLGİLERİNİ AKTAR', 'ÇALIŞTIR', and 'ÇIKIŞ'.
- Results (SONUÇ):** A section showing the final result '224,6' and the algorithm execution time 'ALGORİTMA SÜRESİ' as '52'.

Algoritma sonunda bulunan en iyi sonuç ve algoritma süresi hazırlanan ara yüzde görülebilmektedir. Bulunan en iyi sonuca ait detaylı rota bilgileri ise oluşturulan bir Excel sayfasına aktarılarak kayıt edilmektedir. Örnek bir Excel çıktı tablosu Çizelge 5.8’de yer almaktadır. Tabloda 16 müşterili ve üç araçlı örnek bir problemin rotaları verilmektedir.

Çizelge 5.8: DGA Örnek Sonuç Tablosu

ARAÇ 1	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 2	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 3	İŞLEM TÜRÜ
11	DAĞITIM	3	DAĞITIM		
12	DAĞITIM	6	DAĞITIM		
7	DAĞITIM	8	DAĞITIM		
15	DAĞITIM	9	DAĞITIM		
16	DAĞITIM	2	DAĞITIM		
14	DAĞITIM	10	DAĞITIM		
13	DAĞITIM	1	DAĞITIM		
13	TOPLAMA	5	DAĞITIM		
15	TOPLAMA	4	DAĞITIM		
16	TOPLAMA	4	TOPLAMA		
14	TOPLAMA	5	TOPLAMA		
7	TOPLAMA	1	TOPLAMA		
12	TOPLAMA	10	TOPLAMA		
11	TOPLAMA	2	TOPLAMA		
		9	TOPLAMA		
		8	TOPLAMA		
		6	TOPLAMA		
		3	TOPLAMA		

5.4. DGA Parametre Değerlerinin Tespit Edilmesi ve Deneysel Tasarım

Genetik algorithmada olduğu gibi diferansiyel gelişim algoritmasında da parametre değerleri çözüm üzerinde etkili bir rol oynamaktadır. Özellikle büyük boyutlu problemlerde bu parametrelerin en iyi şekilde belirlenmesi, çözüm uzayında yapılacak olan aramanın etkinliğini arttırmaktadır. Bu nedenle DGA'da belirlenmesi gereken üç önemli parametre; popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı ve F sabiti değeridir (Mayer ve ark., 2005).

Bu bölümde geliştirilen DGA için en iyi parametre değerlerinin tespiti için deneysel tasarım çalışması yapılmıştır. Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı ve F sabiti faktör olarak alınarak sonuç üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılacak deneylerde ise Bölüm 5.2'de açıklanan 16 müşterili ve optimum sonucu bilinen örnek problem ele alınmıştır. Böylece algoritma çözümünün optimum sonuca ne kadar yakın sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Deneysel tasarımda 2^3 full-factorial ve merkez nokta ile birlikte dokuz farklı nokta ve kullanılmıştır. Her bir nokta için üç tekrar ve toplamda 27 adet deney yapılmıştır. Yapılan deneylerde literatürde yer alan; popülasyon büyüklüğü için (4 – 20), çaprazlama oranı için (0 – 1) ve F sabiti değeri için (0 -2) alt ve üst sınırları kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen en iyi rota uzunluğu 229.1 km olarak bulunmuştur. Yapılan deneyler; kodlanmış değerler ve sonuçları Çizelge 5.9'da yer almaktadır.

Çizelge 5.9'da tasarlanan deneylere ait analizler Statistica 6.0 programından elde edilmiştir. %95 güven aralığında oluşan pareto diyagramı Şekil 5.4 de yer almaktadır. Diyagramda her bir faktörün tek başına ve çaprazlama oranı - F sabiti etkileşiminin sonuçlar üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu faktörler arasında, pareto diyagramından da görüleceği gibi, çaprazlama oranının sonuçlar üzerindeki etkisi diğer faktörlere göre daha büyüktür. Ayrıca diyagramda yer alan merkez noktaların $p=0.05$ değerini geçmediği tespit edilmiştir. Yani faktörlerin alt ve üst sınırları arasında

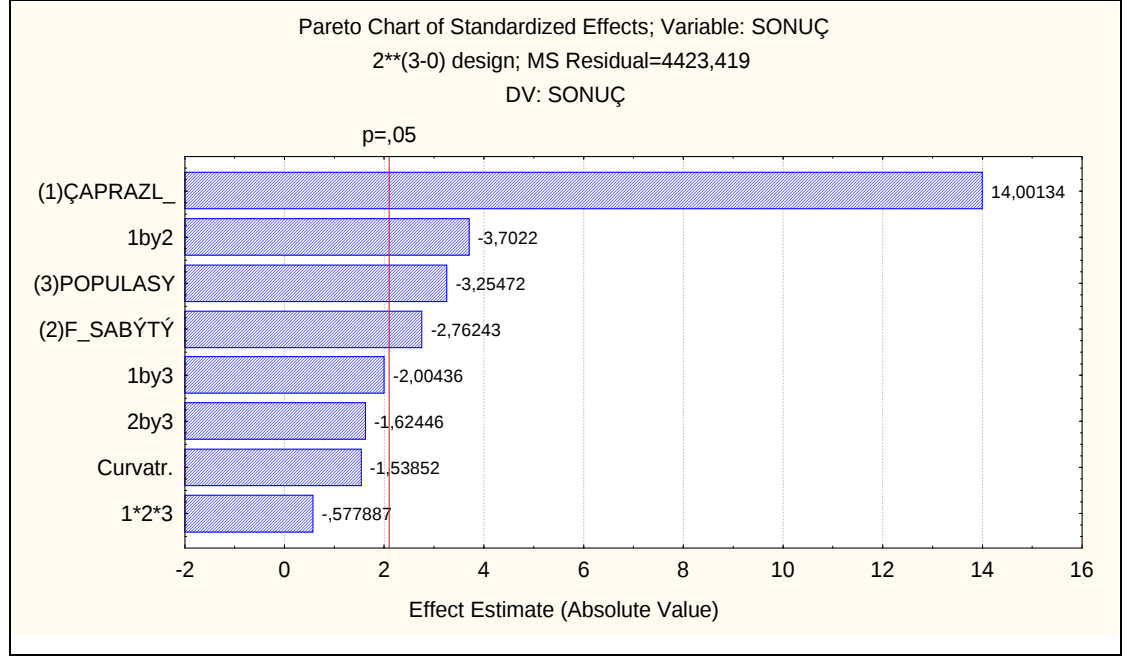
doğrusal bir ilişki vardır. Analizler sonucunda elde edilen Anova tablosu Ek 4'te yer almaktadır.

Çizelge 5.9: Deneysel Tasarım Çalışması Deney Tablosu

SIRA	ÇAPRAZLAMA ORANI	F_SABİTİ	POPULASYON BÜYÜKLÜĞÜ	SONUÇ
1	-1	-1	-1	244,9
2	-1	-1	1	229,1
3	-1	1	-1	288
4	-1	1	1	229,1
5	1	-1	-1	815,23
6	1	-1	1	532,27
7	1	1	-1	562,99
8	1	1	1	472,69
9	0	0	0	331,15
10	-1	-1	-1	235,9
11	-1	-1	1	244,5
12	-1	1	-1	353
13	-1	1	1	235,2
14	1	-1	-1	813,66
15	1	-1	1	786,35
16	1	1	-1	664,64
17	1	1	1	474,9
18	0	0	0	374,45
19	-1	-1	-1	243,3
20	-1	-1	1	233,9
21	-1	1	-1	244,9
22	-1	1	1	234,5
23	1	-1	-1	653,47
24	1	-1	1	714,75
25	1	1	-1	707,54
26	1	1	1	379,8
27	0	0	0	430,74

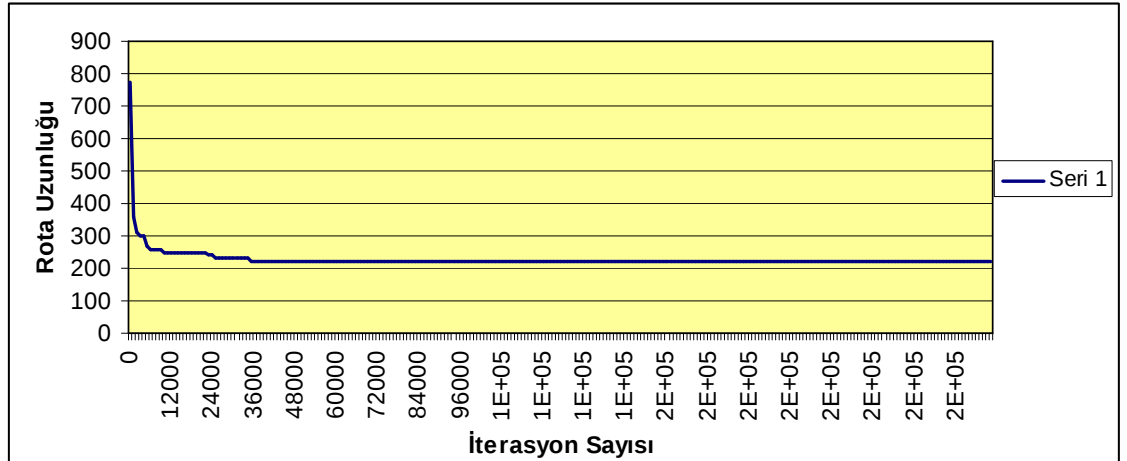
Yapılan deneysel tasarım çalışmasında çaprazlama oranı parametresinin sonuç üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenden dolayı, uygulama aşamasında yapılan örnek problemlerde, değişik çaprazlama oranlarında yapılacak denemelere ağırlık verilmiştir.

Şekil 5.4: Deneysel Tasarım Çalışması Pareto Diyagramı



Yapılan deneyler ile elde edilen en iyi sonuç, optimum sonuç karşılaştırıldığında, geliştirilen algoritmanın %4.4 fark ile etkin bir çözüm ürettiğini göstermektedir. Bu sonucun iyileştirilmesi için, algoritmada 229.1 km sonucunu veren parametre değerleri kullanılarak, iterasyon sayısı 250000'e çıkartılarak algoritma çalıştırılmıştır. 250000 iterasyon sonunda toplam rota uzunluğu 229.1 km'den 222.4 km'ye düşmüştür. Elde edilen bu yeni sonuç ile optimum sonuç arasındaki fark %1.3 olmuştur. Bu sonuçlara ilişkin iterasyon sayısına bağlı grafiği Şekil 5.5'te yer almaktadır.

Şekil 5.5: 16 Müşterili Örnek Problem İçin Sonuç – İterasyon Sayısı Grafiği



6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Uygulama Sonuçları

Diferansiyel Gelişim Algoritması için yapılan deneysel tasarım çalışmasında, algoritma sonucunun optimum sonuca %1.3 oranında bir farkla etkin bir sonuç ürettiği ve çaprazlama oranının algoritmanın etkinliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Yemek dağıtım firmasına ait 74 müşterilik problem için çözüm üretilirken, deneysel tasarım çalışmasında olduğu gibi algoritma, farklı parametre değerlerinde çalıştırılarak deneyler yapılmıştır. Bu aşamada parametre değerleri belirlenirken, deneysel tasarım çalışmasından elde edilen sonuçlara dayanarak çaprazlama oranı üzerinde daha fazla test noktası oluşturulmuş ve sonuçlar (ortalama sonuç ve bulunan en iyi sonuç olarak) değerlendirilmiştir. Problem için üretilen test noktaları ve bu noktalara ait test sonuçları Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’de yer almaktadır.

Çizelge 6.1: Çaprazlama Oranı; 0.9, 0.5 ve 0.2 İçin Yapılan Test Sonuçları

		Çaprazlama Oranı											
		0.9				0.5				0.2			
NP	F	Ortalama Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	En iyi Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	Ortalama Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	En İyi Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	Ortalama Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	En iyi Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)
5	0.5	4040.85	185	3973.05	184	3801.46	110	3712.27	112	3152.24	72	3093.59	73
	1.0	4160.59	184	4145.04	186	3763.77	111	3732.46	113	3153.42	72	3108.4	72
	1.5	4055.06	188	3995.19	183	3834.25	110	3780.69	110	3121.97	73	3016.62	74
10	0.5	4046.51	375	3982.19	371	3770.97	220	3656.55	221	3131.4	144	3071.43	143
	1.0	4044.45	378	3980.56	378	3798.15	233	3708.9	232	3213.41	157	3193.37	157
	1.5	4031.34	379	3967.15	380	3810.93	236	3722.52	234	3048.92	157	2990.79	156
15	0.5	4006.03	569	3967.7	570	3771.59	351	3696.69	352	3053.54	233	3033.7	232
	1.0	4002.58	569	3969.39	569	3754.15	350	3700.7	348	3106.53	235	3005.72	234
	1.5	4002.86	569	3952.37	570	3789.59	350	3745.14	351	3034.17	235	2994.09	237

Çizelge 6.2: Çaprazlama Oranı; 0.1, 0.08 ve 0.06 İçin Yapılan Test Sonuçları

		Çaprazlama Oranı											
		0.1				0.08				0.06			
NP	F	Ortalama Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	En iyi Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	Ortalama Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	En İyi Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	Ortalama Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	En iyi Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)
5	0.5	2484.61	64	2442.13	64	2521.22	61	2383.48	61	2127.81	60	1959.68	60
	1.0	2519.97	63	2445.18	64	2281.65	63	2218.12	62	2292.2	61	2180.43	60
	1.5	2526.09	64	2461.69	67	2519.74	64	2378.23	62	2238.67	61	2151.23	60
10	0.5	2610.09	126	2527	126	2340.95	124	2254.46	125	2281.39	121	2202.07	122
	1.0	2496.98	127	2440.99	126	2543.53	125	2497.59	126	2206.1	122	2165.18	123
	1.5	2521.42	126	2444.41	126	2583.32	124	2407.26	126	2178.4	121	2100.82	121
15	0.5	2761.41	191	2394.34	193	2544.87	185	2321.38	187	2129.84	182	2033.05	183
	1.0	2458.99	191	2415.12	192	2490.68	186	2247.81	185	2192.8	181	2145.7	181
	1.5	2214.18	184	2072.71	184	2399.45	185	2319.89	187	2233.07	182	2146.39	183

Çizelge 6.3: Çaprazlama Oranı; 0.04, 0.02 ve 0.01 İçin Yapılan Test Sonuçları

		Çaprazlama Oranı											
		0.04				0.02				0.01			
NP	F	Ortalama Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	En iyi Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	Ortalama Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	En İyi Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	Ortalama Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)	En iyi Sonuç (km)	İşlem Süresi (sn)
5	0.5	1741.38	59	1700.35	58	1383.89	60	1373.76	62	1317.41	61	1287.15	61
	1.0	1741.24	60	1705.71	61	1453.68	60	1425.56	60	1255.64	61	1245.9	60
	1.5	1847.77	60	1801.91	61	1462.37	61	1381.26	59	1245.06	60	1217.27	60
10	0.5	1769.03	119	1720.26	117	1150.82	120	1118.63	118	1281.35	120	1267.87	120
	1.0	1731.2	119	1614.73	118	1119.12	120	1058.03	120	1282.96	120	1205.89	119
	1.5	1760.96	119	1719.9	120	1218.97	119	1180.49	119	1280.96	121	1242.08	120
15	0.5	1705.81	179	1674.72	179	1256.43	179	1175.53	179	1233.82	180	1177.98	181
	1.0	1829.05	178	1783.02	177	1289.84	178	1266.31	182	1267.32	182	1205.2	181
	1.5	1764.57	180	1655.15	179	1229.41	180	1154.29	182	1248.98	181	1233.08	181

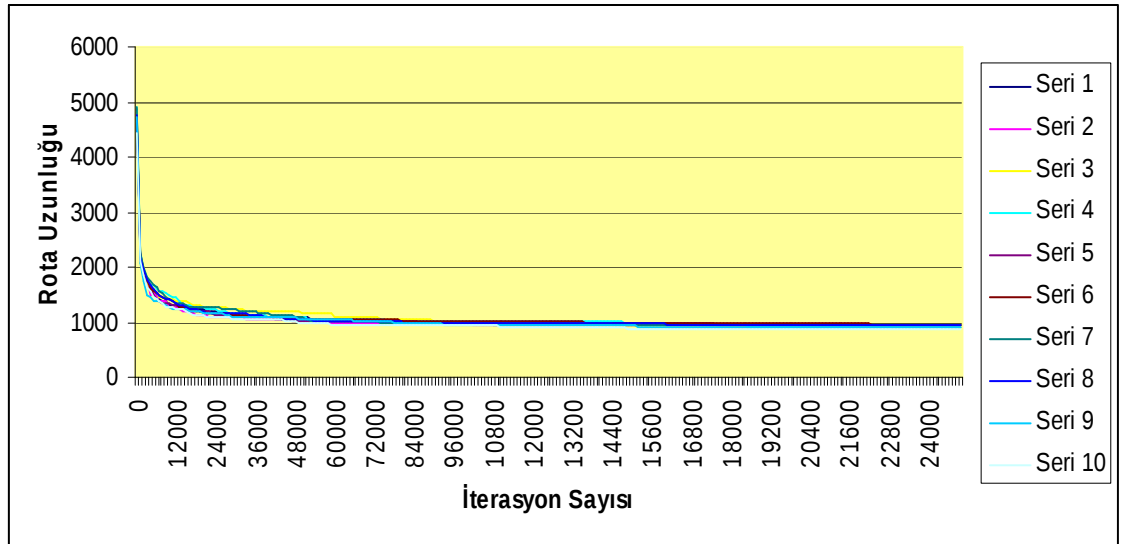
Yapılan testlerin sonuçları incelendiğinde, en iyi sonuç (1058.03 km) ve en iyi ortalama sonuç (1119.12 km); CR = 0.02, F = 1.0 ve NP = 10 olan parametre değerleri ile elde edilmiştir. Tespit edilen bu parametre değerleri kullanılarak, daha iyi bir sonuç

elde etmek amacıyla iterasyon sayısı 250000'e çıkartılarak DGA çalıştırılmıştır. Yapılan 10 tekrar ile elde edilen sonuçlar Çizelge 6.4'de yer almaktadır. Elde edilen sonuçların iterasyon sayısına bağlı grafiği Şekil 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.4: Parametre Değerleri; CR = 0.02, F = 1.0 ve NP = 10 Olan Deneme Sonuçları

Tekrar No	Rota Uzunluğu (km)	Tekrar No	Rota Uzunluğu (km)
1	931.8	6	940.61
2	912.7	7	941.34
3	817.96	8	929.81
4	900.83	9	904.32
5	893.9	10	884.82

Şekil 6.1: 74 Müşterili Araç Rotalama problemi İçin Sonuç – İterasyon Sayısı Grafiği



6.2. Sonuçların Karşılaştırılması

DGA ile elde edilen sonuçların etkinliğini belirlemek için yemek firmasının müşterileri için kullandığı mevcut rotalar incelenmiştir. Firmadan alınan bilgilere göre araçlara ait rotalar Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'da yer almaktadır. Bu rota bilgileri ile Ek 2'de yer alan müşteriler arası uzaklık matrisi kullanılarak elde edilen mevcut rota uzunluğu 1052.52 km olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5: Firmada Araçların (1-5) Mevcut Rotaları

ARAÇ 1	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 2	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 3	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 4	İŞLEM TÜRÜ
38	DAĞITIM	42	DAĞITIM	55	DAĞITIM	22	DAĞITIM
17	DAĞITIM	69	DAĞITIM	1	DAĞITIM	23	DAĞITIM
36	DAĞITIM	19	DAĞITIM	56	DAĞITIM	40	DAĞITIM
53	DAĞITIM	32	DAĞITIM	54	DAĞITIM	43	DAĞITIM
66	DAĞITIM	37	DAĞITIM	27	DAĞITIM	3	DAĞITIM
15	DAĞITIM	14	DAĞITIM	51	DAĞITIM	3	TOPLAMA
16	DAĞITIM	17	DAĞITIM	26	DAĞITIM	43	TOPLAMA
18	DAĞITIM	47	DAĞITIM	29	DAĞITIM	40	TOPLAMA
20	DAĞITIM	50	DAĞITIM	5	DAĞITIM	23	TOPLAMA
13	DAĞITIM	35	DAĞITIM	39	DAĞITIM	22	TOPLAMA
67	DAĞITIM	16	DAĞITIM	39	TOPLAMA		
69	DAĞITIM	16	TOPLAMA	5	TOPLAMA		
53	DAĞITIM	35	TOPLAMA	29	TOPLAMA		
53	TOPLAMA	50	TOPLAMA	26	TOPLAMA		
69	TOPLAMA	47	TOPLAMA	51	TOPLAMA		
67	TOPLAMA	17	TOPLAMA	27	TOPLAMA		
13	TOPLAMA	14	TOPLAMA	54	TOPLAMA		
20	TOPLAMA	37	TOPLAMA	56	TOPLAMA		
18	TOPLAMA	32	TOPLAMA	1	TOPLAMA		
16	TOPLAMA	19	TOPLAMA	55	TOPLAMA		
15	TOPLAMA	69	TOPLAMA				
66	TOPLAMA	42	TOPLAMA				
53	TOPLAMA						
36	TOPLAMA						
17	TOPLAMA						
38	TOPLAMA						

Çizelge 6.6: Firmada Araçların (6 – 10) Mevcut Rotaları

ARAÇ 5	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 6	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 7	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 8	İŞLEM TÜRÜ
70	DAĞITIM	60	DAĞITIM	4	DAĞITIM	9	DAĞITIM
11	DAĞITIM	24	DAĞITIM	52	DAĞITIM	65	DAĞITIM
63	DAĞITIM	12	DAĞITIM	74	DAĞITIM	6	DAĞITIM
72	DAĞITIM	7	DAĞITIM	41	DAĞITIM	28	DAĞITIM
73	DAĞITIM	7	TOPLAMA	62	DAĞITIM	68	DAĞITIM
11	DAĞITIM	12	TOPLAMA	10	DAĞITIM	44	DAĞITIM
25	DAĞITIM	24	TOPLAMA	34	DAĞITIM	58	DAĞITIM
25	TOPLAMA	60	TOPLAMA	49	DAĞITIM	71	DAĞITIM
11	TOPLAMA			30	DAĞITIM	8	DAĞITIM
73	TOPLAMA			2	DAĞITIM	46	DAĞITIM
72	TOPLAMA			48	DAĞITIM	21	DAĞITIM
63	TOPLAMA			57	DAĞITIM	45	DAĞITIM
11	TOPLAMA			33	DAĞITIM	64	DAĞITIM
70	TOPLAMA			31	DAĞITIM	59	DAĞITIM
				31	TOPLAMA	61	DAĞITIM
				33	TOPLAMA	61	TOPLAMA
				57	TOPLAMA	59	TOPLAMA
				48	TOPLAMA	64	TOPLAMA
				2	TOPLAMA	45	TOPLAMA
				30	TOPLAMA	21	TOPLAMA
				49	TOPLAMA	46	TOPLAMA
				34	TOPLAMA	8	TOPLAMA
				10	TOPLAMA	71	TOPLAMA
				62	TOPLAMA	58	TOPLAMA
				41	TOPLAMA	44	TOPLAMA
				74	TOPLAMA	68	TOPLAMA
				52	TOPLAMA	28	TOPLAMA
				4	TOPLAMA	6	TOPLAMA
						65	TOPLAMA
						9	TOPLAMA

Çizelge 6.4’de, DGA ile bulunan sonuçlar incelendiğinde 10 tekrar sonucunda ortalama rota uzunluğu 905.81 km ve en iyi bulunan rota uzunluğu 817.96 km’dir. Mevcut rota uzunluğu (1052.52 km) ile DGA’dan elde edilen en iyi rota uzunluğu (817.96 km) karşılaştırıldığında; mevcut rota uzunluğuna göre % 22.32’lük bir iyileştirme yapılmıştır. Elde edilen yeni çözüme ait rota bilgileri Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8’de yer almaktadır.

Çizelge 6.7: DGA İle Elde Edilen Çözümde Araçların (1-5) Yeni Rotaları

ARAÇ 1	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 2	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 3	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 4	İŞLEM TÜRÜ
45	DAĞITIM	23	DAĞITIM	73	DAĞITIM	65	DAĞITIM
38	DAĞITIM	40	DAĞITIM	24	DAĞITIM	6	DAĞITIM
12	DAĞITIM	8	DAĞITIM	69	DAĞITIM	33	DAĞITIM
67	DAĞITIM	46	DAĞITIM	7	DAĞITIM	62	DAĞITIM
14	DAĞITIM	46	TOPLAMA	35	DAĞITIM	4	DAĞITIM
16	DAĞITIM	45	TOPLAMA	37	DAĞITIM	52	DAĞITIM
32	DAĞITIM	60	TOPLAMA	50	DAĞITIM	5	DAĞITIM
17	DAĞITIM	12	TOPLAMA	61	DAĞITIM	1	DAĞITIM
53	DAĞITIM	24	TOPLAMA	13	TOPLAMA	29	DAĞITIM
20	DAĞITIM	44	TOPLAMA	35	TOPLAMA	56	DAĞITIM
66	DAĞITIM			7	TOPLAMA	27	DAĞITIM
59	DAĞITIM			64	TOPLAMA	51	DAĞITIM
13	DAĞITIM			69	TOPLAMA	26	DAĞITIM
18	DAĞITIM			19	TOPLAMA	54	DAĞITIM
36	DAĞITIM			38	TOPLAMA	55	DAĞITIM
15	DAĞITIM			73	TOPLAMA	34	DAĞITIM
47	DAĞITIM			72	TOPLAMA	48	TOPLAMA
47	TOPLAMA			62	TOPLAMA	31	TOPLAMA
50	TOPLAMA			10	TOPLAMA	28	TOPLAMA
37	TOPLAMA			56	TOPLAMA		
14	TOPLAMA			29	TOPLAMA		
16	TOPLAMA			5	TOPLAMA		
15	TOPLAMA			1	TOPLAMA		
61	TOPLAMA			41	TOPLAMA		
20	TOPLAMA			68	TOPLAMA		
66	TOPLAMA						
67	TOPLAMA						
36	TOPLAMA						
32	TOPLAMA						
17	TOPLAMA						
53	TOPLAMA						
59	TOPLAMA						
18	TOPLAMA						
42	TOPLAMA						
21	TOPLAMA						

Çizelge 6.8: DGA İle Elde Edilen Çözümde Araçların (6-10) Yeni Rotaları

ARAÇ 5	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 6	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 7	İŞLEM TÜRÜ	ARAÇ 8	İŞLEM TÜRÜ
44	DAĞITIM	58	DAĞITIM	3	DAĞITIM	28	DAĞITIM
68	DAĞITIM	71	DAĞITIM	70	DAĞITIM	22	DAĞITIM
72	DAĞITIM	43	DAĞITIM	2	DAĞITIM	22	TOPLAMA
25	DAĞITIM	57	DAĞITIM	30	DAĞITIM	58	TOPLAMA
11	DAĞITIM	48	DAĞITIM	49	DAĞITIM	71	TOPLAMA
21	DAĞITIM	31	DAĞITIM	30	TOPLAMA		
60	DAĞITIM	9	DAĞITIM	49	TOPLAMA		
64	DAĞITIM	39	DAĞITIM	2	TOPLAMA		
19	DAĞITIM	10	DAĞITIM	70	TOPLAMA		
42	DAĞITIM	41	DAĞITIM	3	TOPLAMA		
63	DAĞITIM	74	DAĞITIM				
63	TOPLAMA	74	TOPLAMA				
25	TOPLAMA	52	TOPLAMA				
11	TOPLAMA	4	TOPLAMA				
6	TOPLAMA	34	TOPLAMA				
65	TOPLAMA	57	TOPLAMA				
39	TOPLAMA	43	TOPLAMA				
33	TOPLAMA	23	TOPLAMA				
55	TOPLAMA	40	TOPLAMA				
51	TOPLAMA	8	TOPLAMA				
54	TOPLAMA						
26	TOPLAMA						
27	TOPLAMA						
9	TOPLAMA						

SONUÇ

Günümüzde taşıma maliyetleri, lojistik maliyetler içinde büyük bir paya sahip olarak büyük bir önem kazanmıştır. Taşımacılık faaliyetleri içinde yer alan dağıtım sistemlerinde malların tedarik ve servisinin etkili bir şekilde planlanması hem üretim sektöründe hem de hizmet sektöründe büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, Araç Rotalama Problemleri'nin çözümü üzerine yapılan çalışmalar gelişerek günden güne artmaktadır.

Yapılan bu çalışmada; Bursa'da hizmet veren bir catering firmasına ait araç filosunun dağıtım ve toplama rotalarının oluşturulması problemi ele alınmıştır. Problemin tanımlanabilmesi için Araç Rotalama Problemi ve literatürde yer alan çeşitleri ile araştırılmıştır. Firmanın sistemi ve müşteri talepleri dikkate alındığında klasik VRP'ye ek olarak üç önemli kısıt ön plana çıkmıştır. Servis işlemlerinde dağıtım işleminin toplama işleminden önce yapılması mecburiyeti, araçların belirli bir kapasiteye sahip olması ve müşterilerin belirli bir zaman aralığında servis görmek istemesi ile problem VRP'nin uzantısı olan Önce Dağıtım Sonra Toplamalı ve Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi olarak belirlenmiştir.

Problemin çözümü aşamasında, Araç Rotalama Problemleri için literatürde yer alan çözüm yöntemleri incelenmiştir ve ele alınan problemde araç rotalarının optimum şekilde bulunabilmesi için problemin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Problem girdilerinin çok fazla olması ve problem yapısının NP-Zor sınıfına girmesi nedeniyle kurulan matematiksel modelde optimum sonuca ulaşamamıştır. Bu sorunu aşmak ve probleme uygun bir çözüm üretmek için VRP'nin çözümü için sıklıkla kullanılan meta sezgisel bir yöntemle çözüm üretilmesine karar verilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda problemin çözümünde popülasyon tabanlı olan Diferansiyel Gelişim Algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir. Genetik algoritmaya benzer bir yapıya sahip olan DGA; gerçek sayılarla çalışabilmesi, kolay kodlanabilir olması ve geniş bir

arama yapısına sahip olması nedeniyle diğer meta sezgisel yöntemlere göre tercih sebebi olmuştur.

İlk olarak 1995 yılında Storn ve Price tarafından oluşturulan DGA, bu çalışmada ele alınan problem için geliştirilerek Visual Studio 2008 programında Visual Basic 9.0 dili ile kodlanmıştır. Oluşturulan arayüzün esnek bir yapıya sahip olması nedeniyle DGA, incelenen VRPBTW ile aynı yapıdaki problemler için de çözüm üretebilmektedir. Algoritmanın etkinliğinin test edilmesi için gerçek sistemde yer alan veriler kullanılarak küçük boyutlu bir örnek problem oluşturulmuştur. Örnek probleme ait optimum sonuç, CPLEX 11 ile bulunmuş ve DGA'nın etkinliği test edilmiştir. Yapılan karşılaştırmada DGA'dan elde edilen en iyi sonuç ile optimum sonuç arasında %1.3'lük bir fark olduğu tespit edilmiştir.

DGA, örnek problem için etkin bir sonuç üretmesi üzerine 74 adet müşteriye sahip olan gerçek sistem ele alınmıştır. Farklı parametre değerleri ile yapılan testlerde çeşitli rota uzunluklarına sahip çözümler üretilmiştir. Bu çözümler arasında en iyi sonuç, 817.96 km olarak bulunmuştur. Bulunan yeni çözüm ile mevcut sistemdeki araçların toplam rota uzunluğu olan 1052.52 km ile karşılaştırıldığında, sistemde %22.32'lik bir iyileştirme yapılmıştır.

KAYNAKLAR

AGHDAGHI, M., F. JOLAI. 2008. A Goal Programming Model for Vehicle Routing Problem With Backhauls and Soft Time Windows. *Journal of Industrial Engineering International*. 4(6): s. 7 – 18.

ANONİM. 2006. Türkiye Lojistik Sektörü Altyapı Analizi. No:14, 127 s.

AYDEMİR, E. 2006. Esnek Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. 68 s.

AZI, N., M. GENDREAU, J. Y. POTVIN. 2010. An Exact Algorithm for A Vehicle Routing Problem With Time Windows and Multiple Use of Vehicles. *European Journal of Operational Research*. 202: s. 756 – 763.

BALLOU, R.H., 1973. *Business Logistics Management*. New Jersey: Prentice Hall, 688 s.

BAYZAN, Ş., M. ÇETİN, A. UĞUR. 2002. Araç Rotalama Problemlerinde Araç Rotalarının Tespitinde En Kısa Yol Yaklaşımı: Denizli Örneği. 5 s.

BREEDAM, A.V. 2001. Comparing Descent Heuristics and Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem. *Computers&Operations Research*. 28: s. 289 – 315.

CANEN, A.G., N.D. PIZZOLATO. 1994. The Vehicle Routing Problem. *Logistics Information Management*, 1994, Vol. 7 No. 1, s. 11–13, MCB University Press, 0957-6053

CHEUNG, R.K., D.D. HANG. 2003. Multi-attribute Label Matching Algorithms for Vehicle Routing Problems With Time Windows and Backhauls. *IIE Transactions*, 35 (3): s. 191–205.

CHO, Y.C., S.D. WANG. 2005. A Threshold Accepting Meta-Heuristic for the Vehicle Routing Problem With Backhauls and Time Windows. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6: s. 3022 – 3037.

CHOPRA, S., P. MEINDL. 2004. *Supply Chain Management, Planning, and Operations*. Prentice-Hall, Second Edition. 528 s.

COYLE, J. J., E. J. BARDI, C. J. LANGLEY. 2002. *Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective*. South – Western College Pub, 7 Edition. 672 s.

CRUZ, I.L.L., L.G.V. WILLIGENBURG, G.V. STRATEN. 2003. Applied Soft Computing. 3: s. 97 – 122.

CURRENT J., M. MARSH. 1993. Multiobjective Transportation Network Design and Routing Problems: Taxonomy and Annotation. European Journal of Operation Research. 65: s. 4 – 19.

ÇANCI, M., ERDAL, M. 2009. Lojistik Yönetimi. UTİKAD Yayınları. 275 s.

DEMİR, V. 2006. Lojistik Faaliyetler ve Maliyetleri. İSMMMO Yayın Organı. Sayı 74.

DUHAMEL, C., J. POTVIN, J. ROUSSEAU, 1997. A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem With Backhauls and Time Windows. Transportation Science, 31 (1): s. 49–59.

EKER, Ö. 2006. Lojistik Yönetimi ve Tedarik Lojistiği Sürecinde Performansın Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı. 101 s.

EKSIOGLU, B., A.V. VURAL, A. REISMAN. 2009. The Vehicle Routing Problem: A Taxonomic Review. Computers and Industrial Engineering. 12 s.

ERBAO, C., L. MINGYONG. 2009. A Hybrid Differential Evolution Algorithm to Vehicle Routing Problem With Fuzzy Demands. Journal of Computational and Applied Mathematics. 231: s. 302–310

ERDAL, M. 2009. Küresel Lojistik Kavramı ve Lojistik Üsler. s. 26.

ERKAYMAN, B. 2007. Lojistikte Taşıma Şekillerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. 90 s.

ERYAVUZ, M., C. GENCER. 2001. Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Y.2001, 6(1): s.139–155.

GELINAS, S., M. DESROCHERS, J. DESROSIERS, M.M. SOLOMON. Vehicles Transportation Industry Algortihms Shipment of Goods Trucking Branching Processes. Analysis of Operation Research. Vol 61. s. 91 -109.

GENCER, C., Ö. YAŞA. 2007. Ulaştırma Komutanlığı Ring Seferlerinin Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Karar Destek Sistemi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(3): s. 437–449

GERDAN, O. 2007. Müşteriler Arası Malzeme Akışlı Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Yapılan Araç Rotalama Problemi ve Sezgisel Çözümü, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. 142 s.

GHIANI, G., G. LAPORTE, R. MUSMANNO. 2004. Introduction to Logistics Systems Planning and Control. Chichester: John Wiley & Sons, 352 s.

GÜMÜŞ, Y. 2007. Üretim İşletmelerinde Lojistik Maliyetlerinin Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Yöntemine Göre Hesaplanması ve Bir Uygulama. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı.

HUANG, M., X. HU, A.Z. ZENG, Q. CHENG. 2008. An Intelligent Solution Approach to Vehicle Routing Problem. Poms 19th Annual Conference. California, 9-12 May. 2008, La Jolla, s. 008 – 0041.

http://tr.wikipedia.org/wiki/Tedarik_zinciri_y%C3%B6netimi, Erişim Tarihi: 15.11.2009. Konu: Tedarik Zinciri

<http://maps.google.com/>, Erişim Tarihi: 01.06.2010. Konu: Yol Tarifi

<http://www.samidirek.com/genel/lojistik-maliyetler>, Erişim Tarihi: 27.11.2009. Konu: Lojistik Maliyetler.

<http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html>, Erişim Tarihi: 12.02.2010. Konu: Diferansiyel Gelişim Algoritması.

JI, P., K. CHEN. 2007. The Vehicle Routing Problem: The Case of The Hong Kong Postal Service. Transportation Planning and Technology. 30(2): s. 167 – 182.

KARABOĞA, D., S. ÖKTEM. 2004. A Simple and Global Optimization Algorithm for Engineering Problems: Differential Evolution Algorithm. Turk J Elec Engin, 12(1).

KARAHAN, A. 2003. Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Faaliyetlerinin Optimize Edilmesine Yönelik Bir Model Tasarımı. 105 s.

KESKİNTÜRK, T. 2006. Diferansiyel Gelişim Algoritması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri, 5(9): s.85–99.

LAMBERT, D.M., J.R. STOCK. 1999. Strategic Logistics Management, Irwin/McGraw-Hill Edition, 3. Baskı, s. 3.

LIN, S.W., Z.J. LEE, K.C. YING, C.Y. LEE. 2007. Applying Hybrid Meta-Heuristics for Capacitated Vehicle Routing Problem. Expert System With Applications. 36: s. 1505 – 1512.

MAYER, D.G., B.P. KINGHORN, A.A. ARCHER. 2005. Differential Evolution – An Easy and Efficient Evolutionary Algorithm for Model Optimisation. Agricultural Systems. 83: s. 315 – 328.

MIN, H., G. ZHOU. 2002. Supply Chain Modelling: Past, Present and Future. Computers & Industrial Engineering. 43: s. 231 – 249.

MINGYONG, L., C. ERBAO. 2010. An Improved Differential Evolution Algorithm for Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pickups and Deliveries and Time Windows. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 23: s. 188–195.

NAGY, G., S. SALHI. 2004. Heuristic Algorithm for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems With Pickups and Deliveries. *European Journals of Operational Research*. 162: s. 126 – 141.

ONWUBOLU, G.C., 2008. Design of Hybrid Differential Evolution and Group Method of Data Handling Networks for Modeling and Prediction. *Information Sciences*. 178: s. 3616 – 3634.

ONWUBOLU, G., D. DAVENDRA. 2004. Scheduling Flow Shops Using Differential Evolution Algorithm. *European Journal of Operational Research*. 171: s. 674 – 692.

ÖZAYDIN, E. 2003. Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. s. 89.

ÖZDEMİR, F.S. 2007. Lojistik Maliyet Yönetiminde Optimizasyonla Sağlanan Etkinlik Artışının İşletmelerin Finansal Yapısı Üzerindeki Etkisinin Taşıma Maliyetleri Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Muhasebe Bilim Dalı. 221 s.

ÖZKAN, P. 2006. Araç Rotalama Problemleri ve Çizelgeleme, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. 152 s.

PAKSOY, T. 2005. Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-Dağıtım Modeli. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı 14: 435–454.

PESKO, S., 2006. Differential Evolution for Small TSPs With Constraints. 4th International Scientific Conference “Challenges in Transport and Communication” Pardubice, September 14th -15th, 2006.

POLAT, S. 2007. Lojistik Şirketlerde Muhasebe Organizasyonu ve Lojistik Maliyetler, Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Muhasebe-Finansman Bilim Dalı. 153 s.

QIAN, W., A. LI. 2008. Adaptive Differential Evolution Algorithm for Multiobjective Optimization Problems. *Applied Mathematic and Computation*. 201: s. 431 – 440.

RACHMAN, A., A. DHINI, N. MUSTAFA. 2009. Vehicle Routing Problems With Differential Evolution Algorithm to Minimize Cost. The 20th National Conference of Australian Society for Operations Research & the 5th International Intelligent Logistics System Conference. 78: s. 1 – 13

RALPHS, T.K. 2002. Parallel Branch and Cut for Capacitated Vehicle Routing. *Parallel Computing*.29: s. 607 – 629.

REIMAN, M., K. DOERNER, R.F. HARTL. 2002. Insertion Based Ants for Vehicle Routing Problems With Backhauls and Time Windows. *Ant Algorithms*, Springer. s. 135 – 147.

ROPKE, S., D. PISINGER. 2006. A Unified Heuristic for A Large Class of Vehicle Routing Problems With Backhauls. *European Journal of Operational Research*. 171: s. 750 – 775.

SANTOS, L., J. COUTINHO, J. CURRENT. 2008. An Improved Heuristic for the Capacitated Arc Routing Problem. *Computer and Operation Research*. 36: s. 2632 – 2637.

SCHMIDT, H., G. THIERAUF. 2005. A Combined Heuristic Optimization Technique. *Advances in Engineering Software*. 36: s. 11 – 19.

SEZGİN, T. 2008. Lojistik Kavramı ve Türkiye’deki Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı. 131 s.

SOLOMON, M.M. 1987. Algorithms for The Vehicle Routing and Scheduling Problems With Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2) s. 254 – 265.

STOCK, J. R., D. M. LAMBERT. 2000. *Strategic Logistics Management*. Mc-Graw Hill, Irwin. 896 s.

STORN, R., K. PRICE. 1995. Differential Evolution - A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization Over Continuous Spaces.

ŞEKER, Ş. 2007. Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. 125 s.

ŞEN, E. 2006. Kobi’lerin Uluslar Arası Rekabet Güçlerini Arttırmada Tedarik Zinciri Yönetiminin Önemi. *İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi*, 2006, s. 4–10.

TAHA, H.A. 2007. *Yöneylem Araştırması*. İstanbul: Literatür Yayıncılık, 910 s.

TAN, K.C., L.H. LEE, Q.L. ZHU, K. OU. 2001. Heuristic Methods for Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Engineering Applications in Engineering*. 15: s. 281 – 295.

TAN, K.C., L.H. LEE, K. OU. 2001. Artificial Intelligence Heuristics in Solving Vehicle Routing Problems With Time Window Constraints. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 15: s. 281 – 295.

TASGETIREN, M.F., P.N. SUGANTHAN, Q.K. PAN. 2010. An Ensemble of Discrete Differential Evolution Algorithms for Solving The Generalized Traveling Salesman Problem. *Applied Mathematics and Computation*. 215: s. 3356–3368.

THANGIAH, S. R., J. Y. POTVIN, T. SUN. 1996. Heuristic Approaches to Vehicle Routing With Backhauls and Time Windows.

TOKAYLI, M.A. 2005. Zaman Pencereyi Araç Rotalama Problemi İçin Bir Karar Destek Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. 116 s.

TOTH, P., D. VIGO. 2002. Models, Relaxations and Exact Approaches for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Discrete Applied Mathematics*. 123: s. 487 – 512.

YANG, F., H. XIAO. 2007. Models and Algorithms for Vehicle Routing Problem With Transshipment Centers. *Systems Engineering – Theory&Practice*. 27: s. 28 – 35.

ZAHARIE, D., 2009. Influence of Crossover on The Behavior of Differential Evolution Algorithms. *Applied Soft Computing*. 9: s. 1126 – 1138.

ZHONG, Y., M.H. COLE. 2005. A Vehicle Routing Problem With Backhauls and Time Windows: A Guided Local Search Solution. *Transportation Research. Part E* 41 s. 131 – 144.

EKLER**EK – 1: Müşteri Bilgileri Tablosu**

Müşteri No	Müşteri Adresi Koordinatları	Müşteri Talebi (kap)	Müşteri En Erken Teslim Zamanı	Müşteri En Geç Teslim Zamanı	Toplama En Erken Zamanı	Toplama En Geç Zamanı
0	40 12' 55.24"N, 29 08' 20.44"E	0	0	0	0	960
1	40 13' 08.17"N, 28 48' 19.82"E	19	510	720	720	960
2	40 14' 14.85"N, 28 58' 28.07"E	8	510	720	720	960
3	40 11' 48.52"N, 29 06' 32.66"E	16	510	720	720	960
4	40 13' 26.93"N, 28 46' 11.53"E	33	510	720	720	960
5	40 12' 48.21"N, 28 47' 39.03"E	16	510	720	720	960
6	40 11' 12.27"N, 29 05' 02.27"E	2	510	720	720	960
7	40 06' 03.00"N, 29 28' 27.43"E	12	510	720	720	960
8	40 13' 16.44"N, 29 04' 22.59"E	5	510	720	720	960
9	40 12' 04.56"N, 29 01' 51.87"E	28	510	720	720	960
10	40 12' 28.27"N, 28 57' 33.51"E	24	510	720	720	960
11	40 12' 09.34"N, 29 11' 35.14"E	58	510	720	720	960
12	40 12' 13.71"N, 29 21' 25.07"E	64	510	720	720	960
13	40 04' 16.07"N, 29 31' 52.11"E	21	510	720	720	960
14	40 04' 21.13"N, 29 31' 59.42"E	66	510	720	720	960
15	40 04' 20.48"N, 29 31' 59.42"E	13	510	720	720	960
16	40 04' 17.84"N, 29 31' 58.87"E	55	510	720	720	960
17	40 04' 13.62"N, 29 32' 11.40"E	36	510	720	720	960
18	40 04' 16.79"N, 29 31' 52.78"E	13	510	720	720	960
19	40 06' 22.18"N, 29 27' 55.63"E	28	510	720	720	960
20	40 04' 17.84"N, 29 31' 58.87"E	12	510	720	720	960
21	40 12' 16.39"N, 29 12' 12.90"E	25	510	720	720	960
22	40 12' 32.01"N, 29 05' 53.70"E	25	510	720	720	960
23	40 14' 15.49"N, 29 04' 27.56"E	10	510	720	720	960
24	40 12' 20.62"N, 29 21' 51.19"E	10	510	720	720	960

EK – 1 (Devam): Müşteri Bilgileri Tablosu

Müşteri No	Müşteri Adresi Koordinatları	Müşteri Talebi (kap)	Müşteri En Erken Teslim Zamanı	Müşteri En Geç Teslim Zamanı	Toplama En Erken Zamanı	Toplama En Geç Zamanı
25	40 12' 06.33"N, 29 11' 24.02"E	17	510	720	720	960
26	40 10' 46.04"N, 28 49' 14.70"E	37	510	720	720	960
27	40 10' 37.53"N, 28 49' 10.71"E	65	510	720	720	960
28	40 12' 08.88"N, 29 07' 22.60"E	8	510	720	720	960
29	40 10' 33.65"N, 28 47' 09.19"E	16	510	720	720	960
30	40 14' 22.92"N, 28 55' 39.79"E	35	510	720	720	960
31	40 12' 13.69"N, 29 01' 52.52"E	15	510	720	720	960
32	40 04' 15.69"N, 29 32' 13.49"E	31	510	720	720	960
33	40 12' 09.43"N, 28 59' 02.01"E	24	510	720	720	960
34	40 12' 32.55"N, 28 56' 38.65"E	15	510	720	720	960
35	40 05' 52.81"N, 29 29' 37.29"E	83	510	720	720	960
36	40 04' 17.84"N, 29 31' 58.87"E	22	510	720	720	960
37	40 05' 24.56"N, 29 29' 54.40"E	38	510	720	720	960
38	40 12' 32.62"N, 29 16' 42.10"E	37	510	720	720	960
39	40 12' 20.29"N, 28 59' 39.32"E	40	510	720	720	960
40	40 14' 14.37"N, 29 04' 24.15"E	15	510	720	720	960
41	40 12' 51.32"N, 28 54' 38.94"E	4	510	720	720	960
42	40 06' 24.79"N, 29 27' 50.73"E	8	510	720	720	960
43	40 17' 50.26"N, 29 03' 42.03"E	20	510	720	720	960
44	40 12' 04.22"N, 29 08' 09.23"E	8	510	720	720	960
45	40 12' 40.84"N, 29 16' 26.84"E	6	510	720	720	960
46	40 11' 17.70"N, 29 11' 09.39"E	36	510	720	720	960
47	40 05' 40.58"N, 29 30' 12.51"E	64	510	720	720	960
48	40 12' 31.74"N, 29 00' 33.07"E	3	510	720	720	960
49	40 14' 21.45"N, 28 55' 23.92"E	43	510	720	720	960

EK – 1 (Devam): Müşteri Bilgileri Tablosu

Müşteri No	Müşteri Adresi Koordinatları	Müşteri Talebi (kap)	Müşteri En Erken Teslim Zamanı	Müşteri En Geç Teslim Zamanı	Toplama En Erken Zamanı	Toplama En Geç Zamanı
50	40 05' 40.58"N, 29 30' 12.51"E	50	510	720	720	960
51	40 10' 34.27"N, 28 49' 12.19"E	40	510	720	720	960
52	40 13' 07.97"N, 28 50' 00.02"E	50	510	720	720	960
53	40 04' 16.99"N, 29 32' 08.99"E	47	510	720	720	960
54	40 10' 38.12"N, 28 49' 18.17"E	10	510	720	720	960
55	40 11' 00.00"N, 28 55' 20.00"E	30	510	720	720	960
56	40 10' 33.02"N, 28 49' 19.37"E	40	510	720	720	960
57	40 12' 25.71"N, 29 00' 18.99"E	9	510	720	720	960
58	40 13' 10.48"N, 29 07' 17.86"E	33	510	720	720	960
59	40 04' 17.84"N, 29 31' 58.87"E	9	510	720	720	960
60	40 12' 12.91"N, 29 21' 03.85"E	10	510	720	720	960
61	40 04' 17.69"N, 29 31' 55.87"E	6	510	720	720	960
62	40 12' 29.82"N, 28 58' 15.27"E	15	510	720	720	960
63	40 12' 43.28"N, 29 15' 58.18"E	94	510	720	720	960
64	40 05' 41.22"N, 29 26' 00.53"E	75	510	720	720	960
65	40 11' 14.96"N, 29 05' 14.31"E	26	510	720	720	960
66	40 04' 17.95"N, 29 31' 58.92"E	20	510	720	720	960
67	40 04' 15.36"N, 29 31' 38.65"E	59	510	720	720	960
68	40 12' 05.44"N, 29 08' 04.48"E	40	510	720	720	960
69	40 05' 56.36"N, 29 28' 38.98"E	3	510	720	720	960
70	40 11' 32.56"N, 29 06' 49.04"E	12	510	720	720	960
71	40 13' 20.10"N, 29 07' 19.39"E	12	510	720	720	960
72	40 12' 27.31"N, 29 12' 48.09"E	115	510	720	720	960
73	40 12' 12.94"N, 29 12' 57.15"E	5	510	720	720	960
74	40 12' 55.28"N, 28 48' 19.22"E	5	510	720	720	960

EK – 2 : Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0,00	32,60	19,30	4,90	35,30	33,30	8,10	37,50	8,20	13,60	20,50	8,60	21,70
1	32,60	0	17,6	28,5	10,9	0,7	26,1	75,9	25,9	21,1	14,5	36,5	60,1
2	19,30	17,6	0	14,4	27,6	19,6	11,9	64,7	11,8	7	5,5	22,4	48,9
3	4,90	28,5	14,4	0	30,9	28,9	3,4	39,3	6,4	9,2	16,1	10,4	23,4
4	35,30	10,9	27,6	30,9	0	11,6	29	77,9	40,1	24,4	17,2	37,9	62
5	33,30	0,7	19,6	28,9	11,6	0	27	78,9	41,1	22,4	15,7	35,9	63
6	8,10	26,1	11,9	3,4	29	27	0	40,3	6,1	6,4	12,8	10,1	24,4
7	37,50	75,9	64,7	39,3	77,9	78,9	40,3	0	42,3	45,8	52,2	32,8	17,8
8	8,20	25,9	11,8	6,4	40,1	41,1	6,1	42,3	0	8,4	12,7	12	26,3
9	13,60	21,1	7	9,2	24,4	22,4	6,4	45,8	8,4	0	7,8	16,1	30,5
10	20,50	14,5	5,5	16,1	17,2	15,7	12,8	52,2	12,7	7,8	0	23,1	51,3
11	8,60	36,5	22,4	10,4	37,9	35,9	10,1	32,8	12	16,1	23,1	0	15,1
12	21,70	60,1	48,9	23,4	62	63	24,4	17,8	26,3	30,5	51,3	15,1	0
13	43,50	81,9	70,7	45,3	83,8	84,8	46,2	5,9	48,1	52,2	73,1	36,9	22,9
14	43,60	82	70,8	45,4	83,9	84,9	46,3	6	48,2	52,3	73,2	37	23
15	43,60	82	70,8	45,4	83,9	84,9	46,3	6,1	48,2	52,4	73,2	37	23
16	43,60	82	70,8	45,4	83,9	84,9	46,3	6,1	48,2	52,5	73,2	37	23
17	43,90	82,3	71,1	45,7	84,3	85,2	46,7	6,4	48,5	52,7	73,5	37,5	23,4
18	43,50	81,9	70,7	45,3	83,8	84,8	46,2	5,9	48,1	52,2	73,1	36,9	22,9
19	36,60	75	63,8	38,4	76,9	77,9	39,3	1	41,2	45,3	66,2	30	16
20	43,60	82	70,8	45,4	83,9	84,9	46,3	6	48,2	52,3	73,2	37	23,2
21	8,30	36,2	22,1	10,1	39,3	37,3	11,6	31,3	13,4	17,6	24,5	2,2	15,4
22	5,60	30	15,9	2,2	30,6	28,6	3,6	39,4	5	8,9	15,8	10,5	23,6
23	10,50	34,5	16	8,8	37,6	38,6	9,9	55,8	5,5	11,5	18,5	15,6	39,9
24	23,40	61,8	50,6	25,2	63,7	64,7	26,1	19,6	28	32,2	53	16,8	1,9
25	8,70	36,6	22,4	10,4	37,5	35,5	9,8	32,5	11,7	15,8	22,7	0,4	16,6
26	33,30	13,3	19,6	28,9	16,2	7,3	26,5	79,4	26,4	21,6	14,6	37	63,5
27	33,30	13,3	19,6	28,9	16,2	7,3	26,5	79,4	26,4	21,6	14,6	37	63,5
28	2,80	29,9	15,8	2,1	32,6	30,6	4,9	37	6,2	10,9	17,8	8	21,2
29	37,20	5,8	23,5	32,8	11,5	5,1	30,4	83,3	30,3	25,5	18,5	40,9	67,4
30	23,20	15,9	6,1	18,8	18,6	16,6	17,3	63,7	17,2	12,3	5,6	27,7	47,8
31	15,60	20,6	6,5	11,2	24,2	22,2	5,5	44,9	7,2	1,1	9,4	16	29
32	43,90	82,4	71,2	45,7	84,3	85,3	46,7	6,4	48,6	52,7	73,5	37,5	23,4
33	17,30	18,4	6,2	12,8	20,9	18,9	10,9	50,3	10,8	6	3	21,3	34,4
34	20,80	13	7,1	16,4	16,1	14,1	14,3	53,7	14,2	9,4	2,8	24,8	37,8
35	39,20	77,6	66,4	41	79,6	80,6	42	1,7	43,8	48	68,8	32,7	18,7
36	43,60	82	70,8	45,4	83,9	84,9	46,3	6,1	48,2	52,4	73,2	37	23,1
37	39,90	78,3	67,1	41,7	80,3	81,3	42,7	2,4	44,5	48,7	69,5	33,3	19,4
38	14,50	62,3	28,3	16,3	60,5	61,5	20,1	23	22	26,1	33	10,8	7,1

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0	21,70	43,50	43,60	43,60	43,60	43,90	43,50	36,60	43,60	8,30	5,60	10,50	23,40
1	60,1	81,9	82	82	82	82,3	81,9	75	82	36,2	30	34,5	61,8
2	48,9	70,7	70,8	70,8	70,8	71,1	70,7	63,8	70,8	22,1	15,9	16	50,6
3	23,4	45,3	45,4	45,4	45,4	45,7	45,3	38,4	45,4	10,1	2,2	8,8	25,2
4	62	83,8	83,9	83,9	83,9	84,3	83,8	76,9	83,9	39,3	30,6	37,6	63,7
5	63	84,8	84,9	84,9	84,9	85,2	84,8	77,9	84,9	37,3	28,6	38,6	64,7
6	24,4	46,2	46,3	46,3	46,3	46,7	46,2	39,3	46,3	11,6	3,6	9,9	26,1
7	17,8	5,9	6	6,1	6,1	6,4	5,9	1	6	31,3	39,4	55,8	19,6
8	26,3	48,1	48,2	48,2	48,2	48,5	48,1	41,2	48,2	13,4	5	5,5	28
9	30,5	52,2	52,3	52,4	52,5	52,7	52,2	45,3	52,3	17,6	8,9	11,5	32,2
10	51,3	73,1	73,2	73,2	73,2	73,5	73,1	66,2	73,2	24,5	15,8	18,5	53
11	15,1	36,9	37	37	37	37,5	36,9	30	37	2,2	10,5	15,6	16,8
12	0	22,9	23	23	23	23,4	22,9	16	23,2	15,4	23,6	39,9	1,9
13	22,9	0	0,1	0,1	0,13	0,45	0,01	6,9	0,13	37,2	45,4	61,7	25,5
14	23	0,1	0	0,1	0,03	0,35	0,1	7	0,03	37,3	45,5	61,8	25,6
15	23	0,1	0,1	0	0,02	0,35	0,1	7	0,02	37,3	45,5	61,9	25,7
16	23	0,13	0,03	0,02	0	0,3	0,12	7	0,01	37,4	45,5	61,9	25,7
17	23,4	0,45	0,35	0,35	0,3	0	0,45	7,4	0,3	37,3	45,8	61,9	25,7
18	22,9	0,01	0,1	0,1	0,12	0,45	0	6,9	0,12	37,2	45,4	61,9	25,7
19	16	6,9	7	7	7	7,4	6,9	0	7	30,3	38,5	54,8	18,6
20	23,2	0,13	0,03	0,02	0,01	0,3	0,12	7	0	37,4	45,5	61,9	25,6
21	15,4	37,2	37,3	37,3	37,4	37,3	37,2	30,3	37,4	0	10,2	15,3	15,3
22	23,6	45,4	45,5	45,5	45,5	45,8	45,4	38,5	45,5	10,2	0	7,1	25,4
23	39,9	61,7	61,8	61,9	61,9	61,9	61,9	54,8	61,9	15,3	7,1	0	41,3
24	1,9	25,5	25,6	25,7	25,7	25,7	25,7	18,6	25,6	15,3	25,4	41,3	0
25	16,6	38,4	38,5	38,5	38,5	38,9	38,4	31,5	38,5	3,3	9	11	18,3
26	63,5	85,3	85,4	85,4	85,4	84,3	85,4	78,4	84,5	36,7	30,5	37,9	65,2
27	63,5	85,3	85,4	85,4	85,4	84,3	85,3	78,4	84,5	36,7	30,5	37,9	65,2
28	21,2	42,9	43	43	43	43	43	36	43,1	7,8	3,6	8,6	22,8
29	67,4	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	82,3	89,3	40,6	34,4	41,8	69,1
30	47,8	69,6	69,6	69,6	69,6	69,6	69,6	62,7	69,8	27,4	21,2	22,2	49,5
31	29	50,8	50,8	50,8	50,8	50,8	50,8	43,9	51	15,7	7,7	9,6	30,8
32	23,4	0,45	0,35	0,35	0,35	0,02	0,45	7,4	0,35	35,9	45,9	61,9	25,1
33	34,4	56,2	56,3	56,2	56,2	56,2	56,2	49,3	56,3	21,1	14,8	15	36,1
34	37,8	59,6	59,6	59,6	59,6	59,6	59,6	52,7	59,6	24,5	18,3	18,4	39,5
35	18,7	4,2	4,3	4,3	4,4	4,7	4,2	2,7	4,4	31,1	41,2	57,2	20,4
36	23,1	0,13	0,03	0,02	0,01	0,3	0,12	7	0,01	35,5	45,6	61,5	24,8
37	19,4	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,4	3,7	31,8	41,9	57,8	21,1
38	7,1	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	22	29,1	9,3	19,3	38,1	8,8

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
0	8,70	33,30	33,30	2,80	37,20	23,20	15,60	43,90	17,30	20,80	39,20	43,60	39,90
1	36,6	13,3	13,3	29,9	5,8	15,9	20,6	82,4	18,4	13	77,6	82	78,3
2	22,4	19,6	19,6	15,8	23,5	6,1	6,5	71,2	6,2	7,1	66,4	70,8	67,1
3	10,4	28,9	28,9	2,1	32,8	18,8	11,2	45,7	12,8	16,4	41	45,4	41,7
4	37,5	16,2	16,2	32,6	11,5	18,6	24,2	84,3	20,9	16,1	79,6	83,9	80,3
5	35,5	7,3	7,3	30,6	5,1	16,6	22,2	85,3	18,9	14,1	80,6	84,9	81,3
6	9,8	26,5	26,5	4,9	30,4	17,3	5,5	46,7	10,9	14,3	42	46,3	42,7
7	32,5	79,4	79,4	37	83,3	63,7	44,9	6,4	50,3	53,7	1,7	6,1	2,4
8	11,7	26,4	26,4	6,2	30,3	17,2	7,2	48,6	10,8	14,2	43,8	48,2	44,5
9	15,8	21,6	21,6	10,9	25,5	12,3	1,1	52,7	6	9,4	48	52,4	48,7
10	22,7	14,6	14,6	17,8	18,5	5,6	9,4	73,5	3	2,8	68,8	73,2	69,5
11	0,4	37	37	8	40,9	27,7	16	37,5	21,3	24,8	32,7	37	33,3
12	16,6	63,5	63,5	21,2	67,4	47,8	29	23,4	34,4	37,8	18,7	23,1	19,4
13	38,4	85,3	85,3	42,9	89,3	69,6	50,8	0,45	56,2	59,6	4,2	0,13	3,5
14	38,5	85,4	85,4	43	89,3	69,6	50,8	0,35	56,3	59,6	4,3	0,03	3,6
15	38,5	85,4	85,4	43	89,3	69,6	50,8	0,35	56,2	59,6	4,3	0,02	3,6
16	38,5	85,4	85,4	43	89,3	69,6	50,8	0,35	56,2	59,6	4,4	0,01	3,6
17	38,9	84,3	84,3	43	89,3	69,6	50,8	0,02	56,2	59,6	4,7	0,3	3,6
18	38,4	85,4	85,3	43	89,3	69,6	50,8	0,45	56,2	59,6	4,2	0,12	3,6
19	31,5	78,4	78,4	36	82,3	62,7	43,9	7,4	49,3	52,7	2,7	7	3,4
20	38,5	84,5	84,5	43,1	89,3	69,8	51	0,35	56,3	59,6	4,4	0,01	3,7
21	3,3	36,7	36,7	7,8	40,6	27,4	15,7	35,9	21,1	24,5	31,1	35,5	31,8
22	9	30,5	30,5	3,6	34,4	21,2	7,7	45,9	14,8	18,3	41,2	45,6	41,9
23	11	37,9	37,9	8,6	41,8	22,2	9,6	61,9	15	18,4	57,2	61,5	57,8
24	18,3	65,2	65,2	22,8	69,1	49,5	30,8	25,1	36,1	39,5	20,4	24,8	21,1
25	0	37	37	8,1	40,9	27,8	16	37,4	21,4	24,8	32,7	37,1	33,4
26	37	0	0,05	30,6	3,9	18,4	22,2	85,8	16,3	13,5	81,1	85,4	81,8
27	37	0,05	0	30,6	3,9	18,4	22,2	85,8	16,3	13,5	81,1	85,4	81,8
28	8,1	30,6	30,6	0	34,3	21,2	9,4	43,2	14,8	18,2	38,5	42,9	39,2
29	40,9	3,9	3,9	34,3	0	22,3	26,1	89,7	20,2	17,4	81	89,3	85,7
30	27,8	18,4	18,4	21,2	22,3	0	12,1	69,1	7,9	6,2	64,4	68,8	65,1
31	16	22,2	22,2	9,4	26,1	12,1	0	54,8	5,5	8,9	50	54,4	50,7
32	37,4	85,8	85,8	43,2	89,7	69,1	54,8	0	56,7	60,1	4,7	0,35	4
33	21,4	16,3	16,3	14,8	20,2	7,9	5,5	56,7	0	6,7	69,5	73,8	70,2
34	24,8	13,5	13,5	18,2	17,4	6,2	8,9	60,1	6,7	0	68,2	72,6	68,9
35	32,7	81,1	81,1	38,5	81	64,4	50	4,7	69,5	68,2	0	4,4	0,7
36	37,1	85,4	85,4	42,9	89,3	68,8	54,4	0,35	73,8	72,6	4,4	0	3,7
37	33,4	81,8	81,8	39,2	85,7	65,1	50,7	4	70,2	68,9	0,7	3,7	0
38	10,8	62	62	16,6	65,9	45,3	28,2	29,4	29,8	33,3	24,7	29,1	25,4

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
0	14,50	16,70	10,60	22,70	36,40	17,20	1,90	14,20	6,90	40,20	15,40	23,70	40,20
1	62,3	17,9	34,5	10,7	74,8	32,2	30,8	61,9	34,8	78,6	19,9	15,4	78,6
2	28,3	5,6	16	8,9	63,6	21	16,7	27,9	20,7	67,4	5,7	6,6	67,4
3	16,3	12,3	8,8	18,2	38,2	16,1	3,7	15,9	8,7	42	11	19,2	42
4	60,5	20,6	37,7	12,7	76,8	37	33,6	60,9	38,4	80,5	21,8	18,2	80,5
5	61,5	18,6	38,7	10,7	77,8	37,9	31,6	61,9	36,4	81,5	19,8	16,2	81,5
6	20,1	10	9,9	19,9	39,2	16,6	5,9	20,5	10,7	42,9	8	17,5	42,9
7	23	49,4	55,9	75,8	1,1	55,1	36	23,4	33,3	2,7	47,3	64,4	2,7
8	22	9,9	3,4	19,8	41	13,3	6,8	22,4	12,5	44,8	7,8	17,4	44,8
9	26,1	5,1	11,6	15	45,2	18,2	11,9	26,5	16,7	49	2,9	12,6	49
10	33	3,6	18,5	8,4	66	26,2	18,8	33,4	23,6	69,8	4,8	5,9	69,8
11	10,8	20,5	15,6	30,4	29,8	25,8	7,1	11,2	4,3	33,6	18,4	28	33,6
12	7,1	33,5	40	59,9	15,9	39,2	20,1	7,5	17,4	19,7	31,5	48,5	19,7
13	28,9	55,3	61,8	81,8	7	61,1	42	29,3	39,2	3,3	53,3	70,3	3,3
14	28,9	55,3	61,8	81,8	7,1	61,1	42	29,3	39,2	3,4	53,3	70,4	3,4
15	28,9	55,3	61,8	81,8	7,2	61,1	42	29,3	39,2	3,4	53,3	70,4	3,4
16	28,9	55,3	61,8	81,8	7,2	61,1	42	29,3	39,2	3,4	53,3	70,3	3,4
17	28,9	55,3	61,8	81,8	7,5	61,1	42	29,3	39,2	3,4	53,3	70,4	3,4
18	28,9	55,3	61,8	81,8	7	61,1	42	29,3	39,2	3,4	53,3	70,4	3,4
19	22	48,4	54,9	74,9	0,14	54,2	35,1	22,4	32,3	3,6	46,4	63,4	3,6
20	29,1	55,3	61,9	81,9	7,2	61,2	42,1	29,5	39,3	3,4	53,4	70,5	3,4
21	9,3	20,2	15,4	30,1	28,3	43,2	6,8	9,6	4,1	32,1	18,1	27,7	32,1
22	19,3	13,9	7,2	23,9	38,4	17,3	4,2	19,7	9,9	42,2	11,8	21,4	42,2
23	38,1	14,1	0,05	24	54,3	10,2	9,2	38,5	14,9	58,1	11	22,9	58,1
24	8,8	35,2	41,7	61,7	17,6	41	21,9	9,2	19,1	21,4	33,2	50,2	21,4
25	10,8	20,5	15,7	30,4	29,9	25,9	7,1	11,2	4,4	33,7	18,5	28	33,7
26	62	18,6	39,2	12,3	78,3	38,5	31,6	62,4	36,4	82	19,8	18,7	82
27	62	18,6	39,2	12,3	78,3	38,5	31,6	62,4	36,4	82	19,8	18,7	82
28	16,6	13,9	9,9	23,8	35,7	20,5	1,5	17	7,2	39,5	11,9	21,4	39,5
29	65,9	22,5	43,1	16,2	82,2	42,4	35,5	66,3	40,3	85,9	23,7	22,6	85,9
30	45,3	8,5	22,5	7,2	61,6	21,8	21,5	45,7	26,3	65,4	9,7	0,5	65,4
31	28,2	4,6	11,4	14,5	47,2	18	13,9	28,6	18,8	51	2,5	12,1	51
32	29,4	55,8	62,3	82,2	7,5	61,5	42,4	29,8	39,7	3,7	53,8	70,8	3,7
33	29,8	1,4	15,3	12,3	66,7	21,9	15,6	30,2	20,4	70,4	2,6	8,3	70,4
34	33,3	6,1	18,8	6,9	65,4	25,6	19,1	33,7	23,9	69,2	7,3	6,2	69,1
35	24,7	51,1	57,6	77,5	2,8	56,8	37,7	25,1	35	1	49,1	66,1	1
36	29,1	55,5	61,9	81,9	7,2	61,2	42,1	29,5	39,3	3,4	53,4	70,5	3,4
37	25,4	51,8	58,3	78,2	3,5	57,5	38,4	25,8	35,7	0,27	49,7	66,8	0,27
38	0	26,4	21,6	36,3	26,7	41,5	13	0,4	10,3	30,4	24,4	33,9	30,4

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
0	33,30	29,40	43,80	33,30	23,90	32,90	17,50	5,20	43,60	25,80	43,50	18,20	18,20
1	8	4,9	82,2	8	13,9	8	18,6	30,5	82	64,2	81,9	16,4	58,4
2	19,6	15,6	71	19,6	10,1	19,1	6,1	16,4	70,8	53	70,7	4,2	47,2
3	28,9	24,9	45,6	28,9	19,4	28,4	13,1	3,5	45,4	22,3	44,9	13,9	15
4	19	6	84,2	16,2	16,7	15,8	21,5	44,3	83,9	61,3	83,9	18,5	64,4
5	7,3	4	85,2	7,3	14,7	13,8	19,5	31	84,9	62,3	84,9	16,5	65,4
6	26,5	27,9	46,6	26,5	17,1	26,1	10,1	6,4	46,3	23,7	46,3	11,4	16,4
7	79,4	79,8	6,3	79,4	56,5	78,9	49,5	39,5	6,1	20,4	6	50,8	26,9
8	26,4	27,8	48,4	26,4	17	26	8,2	5,5	48,2	25,6	48,1	11,3	18,3
9	21,6	23	52,6	21,6	12,2	21,1	3,3	13,3	52,4	29,8	52,3	6,5	22,5
10	14,6	16,4	73,4	14,6	5,1	14,1	4,4	18,2	73,2	50,6	73,1	1,5	29,4
11	37	38,3	37,2	37	27,5	36,5	20,5	10,6	37	14,4	36,9	21,9	7,1
12	63,5	63,9	23,3	63,5	40,6	63,1	33,6	23,6	23,1	4,5	23	34,9	11
13	85,3	85,7	0,35	85,3	62,4	84,9	55,4	45,4	0,13	26,3	0,06	56,7	32,9
14	85,3	85,8	0,26	85,3	62,5	85	55,5	45,6	0,26	26,3	0,04	56,7	33
15	85,3	85,3	0,25	85,3	62,4	85	55,5	45,6	0,18	26,3	0,05	56,7	33
16	85,3	85,3	0,23	85,3	62,4	85	55,5	45,6	0,01	26,3	0,06	56,7	33
17	85,3	85,3	0,09	85,3	62,5	85,3	55,9	45,6	0,3	26,3	0,4	56,7	33
18	85,3	85,3	0,35	85,3	62,4	84,9	55,4	45,6	0,12	26,3	0,06	56,7	33
19	78,4	78,7	7,3	78,4	55,5	78	48,5	38,5	7	19,4	7	49,9	26
20	85,4	85,8	0,23	85,4	62,5	85	55,5	45,6	0,01	26,5	0,06	56,9	33
21	36,7	67,8	35,7	36,7	27,3	36,3	20,3	10,3	35,5	12,9	35,4	21,6	5,6
22	30,5	31,8	45,8	30,5	21	30	12,2	2,6	45,6	23	45,5	15,4	15,7
23	37,9	38,3	61,7	37,9	21,1	37,5	11,4	7,9	61,5	38,9	61,4	15,5	20,6
24	65,2	65,6	25	65,2	42,3	64,8	35,3	25,4	24,8	6,2	24,7	36,7	12,8
25	37	69,4	37,3	37	27,6	36,6	20,6	10,6	37,1	14,5	37	21,9	7,2
26	0,01	11,5	85,7	0,01	9,4	0,45	19,4	31	85,4	62,8	85,4	15,5	42,2
27	0,01	11,5	85,7	0,01	9,4	0,45	19,4	31	85,4	62,8	85,4	15,5	42,2
28	30,4	31,8	43,1	30,4	21	30	14	4,8	42,9	20,3	42,8	15,3	12,9
29	3,9	9,3	89,6	3,9	13,3	4,3	23,3	34,9	89,3	66,7	89,3	19,4	46,1
30	18,2	17,7	69	18,2	8,8	17,8	9,3	20,9	68,8	46,2	68,7	6,2	49,2
31	21,1	22,5	54,6	21,1	11,7	20,7	4,7	13,1	54,4	31,8	54,3	6	24,5
32	85,8	86,2	0,11	85,8	62,9	85,4	55,9	45,9	0,35	26,8	0,4	57,2	33,3
33	16,2	20,3	74,1	16,2	6,7	15,7	2,2	15	73,8	51,2	73,8	1,7	26,1
34	13,4	14,9	72,8	13,4	3,9	12,9	6,9	18,5	72,6	50	72,5	3	29,7
35	81,1	81,5	4,6	81,1	58,2	80,7	51,2	41,2	4,4	22,1	4,3	52,5	28,6
36	85,4	85,8	0,23	85,4	62,5	85	55,5	45,6	0,01	26,5	0,06	56,9	33
37	81,8	82,2	3,9	81,8	58,9	81,3	51,9	41,9	3,7	22,8	3,6	53,2	29,3
38	42,9	66,2	34,1	42,9	33,5	42,5	26,5	16,5	33,8	11,2	33,8	27,8	3,9

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
0	39,40	7,30	43,60	43,20	1,80	37,90	5,10	3,60	11,10	9,40	33,10
1	77,8	27,8	82	81,6	30,8	76,3	28	30,7	39	37,3	1,9
2	66,6	13,7	70,8	70,4	16,6	65,1	13,9	16,6	24,9	23,1	19,4
3	40,7	3,2	44,9	44,5	3,4	39,2	0,9	3,3	10,5	13,4	28,9
4	79,7	29,7	83,9	83,5	33,6	78,2	31	44,4	39,6	66,8	11,3
5	80,7	27,7	84,9	84,5	31,6	79,2	29	31,2	37,6	67,8	2,1
6	42,1	0,5	46,3	45,9	5,8	40,6	3,2	6,5	11,9	14,8	26,4
7	4,1	40,1	6,1	5,7	35,8	0,35	39,6	39,6	31,6	29,3	76,3
8	44	7,6	48,2	47,8	6,7	42,5	6,7	5,7	13,8	16,7	26,3
9	48,2	5,8	52,4	52	11,8	46,6	9,3	13,4	17,9	20,8	21,5
10	69	14,9	73,2	72,8	18,8	67,5	16,2	18,4	24,8	27,7	14,9
11	32,8	11,2	37	36,6	6,9	31,3	10,6	10,7	2,6	5,5	36,9
12	18,8	24,3	23,1	22,7	20	17,3	23,7	23,8	15,7	13,4	60,4
13	10	46,1	0,13	0,27	41,8	5,6	45,5	45,6	37,5	35,3	82,3
14	10,1	46,1	0,03	0,35	41,9	5,6	45,5	45,6	37,5	35,4	82,4
15	10	46,1	0,02	0,4	41,8	5,6	45,5	45,6	37,5	35,3	82,4
16	10	46,1	0,01	0,4	41,9	5,6	45,5	45,6	37,5	35,4	82,4
17	10	46,1	0,3	0,7	41,9	5,6	45,5	45,6	37,5	35,3	82,7
18	10	46,1	0,12	0,28	41,9	5,6	45,5	45,6	37,5	35,3	82,3
19	3,1	39,1	7	6,6	34,9	1,3	38,6	38,7	30,7	28,4	75,4
20	10,1	46,2	0,01	0,4	41,9	5,7	45,6	45,7	37,7	35,4	82,4
21	31,3	10,9	35,5	35,1	6,6	29,8	10,4	10,4	1,1	4	36,6
22	41,4	4,5	45,6	45,2	4	39,8	3	2,7	11,1	14	30,4
23	57,3	10,1	61,5	61,1	9	55,8	11,3	8	16,1	19	34,9
24	20,6	26	24,8	24,4	21,7	19	25,4	25,5	17,5	15,2	62,2
25	32,9	11,3	37,1	36,7	7	31,4	10,7	10,8	2,6	5,5	36,9
26	81,2	27,7	85,4	85	31,5	79,7	29	31,2	37,6	40,5	13,7
27	81,2	27,7	85,4	85	31,5	79,7	29	31,2	37,6	40,5	13,7
28	38,6	4,7	42,9	42,5	1,3	37,1	1,9	5	8,4	11,3	30,3
29	85,1	31,6	89,3	88,9	35,4	83,6	32,9	35,1	41,5	44,4	17,6
30	64,6	17,6	68,8	68,4	21,4	63	18,9	21,1	27,5	30,4	16,2
31	50,2	6	54,4	54	13,9	48,7	11,3	13,2	20	22,9	21
32	10,5	46,5	0,35	0,75	42,3	6,1	46	46,1	38	35,7	82,7
33	69,6	11,7	73,8	73,4	15,5	68,1	12,9	15,1	21,6	24,5	18,8
34	68,4	15,2	72,6	72,2	19	66,9	16,5	18,7	25,1	28	13,4
35	5,8	41,8	4,4	4	37,6	1,4	41,3	41,4	33,3	31	78
36	10,1	46,2	0,01	0,4	41,9	5,7	45,6	45,7	37,7	35,4	82,4
37	6,5	42,5	3,7	3,3	38,3	2,1	42	42	34	31,7	78,7
38	29,6	17,1	33,8	33,4	12,9	28,1	16,6	16,7	8,6	6,3	62,7

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	0	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13
39	16,70	17,9	5,6	12,3	20,6	18,6	10	49,4	9,9	5,1	3,6	20,5	33,5
40	10,60	34,5	16	8,8	37,7	38,7	9,9	55,9	3,4	11,6	18,5	15,6	40
41	22,70	10,7	8,9	18,2	12,7	10,7	19,9	75,8	19,8	15	8,4	30,4	59,9
42	36,40	74,8	63,6	38,2	76,8	77,8	39,2	1,1	41	45,2	66	29,8	15,9
43	17,20	32,2	21	16,1	37	37,9	16,6	55,1	13,3	18,2	26,2	25,8	39,2
44	1,90	30,8	16,7	3,7	33,6	31,6	5,9	36	6,8	11,9	18,8	7,1	20,1
45	14,20	61,9	27,9	15,9	60,9	61,9	20,5	23,4	22,4	26,5	33,4	11,2	7,5
46	6,90	34,8	20,7	8,7	38,4	36,4	10,7	33,3	12,5	16,7	23,6	4,3	17,4
47	40,20	78,6	67,4	42	80,5	81,5	42,9	2,7	44,8	49	69,8	33,6	19,7
48	15,40	19,9	5,7	11	21,8	19,8	8	47,3	7,8	2,9	4,8	18,4	31,5
49	23,70	15,4	6,6	19,2	18,2	16,2	17,5	64,4	17,4	12,6	5,9	28	48,5
50	40,20	78,6	67,4	42	80,5	81,5	42,9	2,7	44,8	49	69,8	33,6	19,7
51	33,30	8	19,6	28,9	19	7,3	26,5	79,4	26,4	21,6	14,6	37	63,5
52	29,40	4,9	15,6	24,9	6	4	27,9	79,8	27,8	23	16,4	38,3	63,9
53	43,80	82,2	71	45,6	84,2	85,2	46,6	6,3	48,4	52,6	73,4	37,2	23,3
54	33,30	8	19,6	28,9	16,2	7,3	26,5	79,4	26,4	21,6	14,6	37	63,5
55	23,90	13,9	10,1	19,4	16,7	14,7	17,1	56,5	17	12,2	5,1	27,5	40,6
56	32,90	8	19,1	28,4	15,8	13,8	26,1	78,9	26	21,1	14,1	36,5	63,1
57	17,50	18,6	6,1	13,1	21,5	19,5	10,1	49,5	8,2	3,3	4,4	20,5	33,6
58	5,20	30,5	16,4	3,5	44,3	31	6,4	39,5	5,5	13,3	18,2	10,6	23,6
59	43,60	82	70,8	45,4	83,9	84,9	46,3	6,1	48,2	52,4	73,2	37	23,1
60	25,80	64,2	53	22,3	61,3	62,3	23,7	20,4	25,6	29,8	50,6	14,4	4,5
61	43,50	81,9	70,7	44,9	83,9	84,9	46,3	6	48,1	52,3	73,1	36,9	23
62	18,20	16,4	4,2	13,9	18,5	16,5	11,4	50,8	11,3	6,5	1,5	21,9	34,9
63	18,20	58,4	47,2	15	64,4	65,4	16,4	26,9	18,3	22,5	29,4	7,1	11
64	39,40	77,8	66,6	40,7	79,7	80,7	42,1	4,1	44	48,2	69	32,8	18,8
65	7,30	27,8	13,7	3,2	29,7	27,7	0,5	40,1	7,6	5,8	14,9	11,2	24,3
66	43,60	82	70,8	44,9	83,9	84,9	46,3	6,1	48,2	52,4	73,2	37	23,1
67	43,20	81,6	70,4	44,5	83,5	84,5	45,9	5,7	47,8	52	72,8	36,6	22,7
68	1,80	30,8	16,6	3,4	33,6	31,6	5,8	35,8	6,7	11,8	18,8	6,9	20
69	37,90	76,3	65,1	39,2	78,2	79,2	40,6	0,35	42,5	46,6	67,5	31,3	17,3
70	5,10	28	13,9	0,9	31	29	3,2	39,6	6,7	9,3	16,2	10,6	23,7
71	3,60	30,7	16,6	3,3	44,4	31,2	6,5	39,6	5,7	13,4	18,4	10,7	23,8
72	11,10	39	24,9	10,5	39,6	37,6	11,9	31,6	13,8	17,9	24,8	2,6	15,7
73	9,40	37,3	23,1	13,4	66,8	67,8	14,8	29,3	16,7	20,8	27,7	5,5	13,4
74	33,10	1,9	19,4	28,9	11,3	2,1	26,4	76,3	26,3	21,5	14,9	36,9	60,4

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
39	55,3	55,3	55,3	55,3	55,3	55,3	48,4	55,3	20,2	13,9	14,1	35,2	20,5
40	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	54,9	61,9	15,4	7,2	0,05	41,7	15,7
41	81,8	81,8	81,8	81,8	81,8	81,8	74,9	81,9	30,1	23,9	24	61,7	30,4
42	7	7,1	7,2	7,2	7,5	7	0,14	7,2	28,3	38,4	54,3	17,6	29,9
43	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1	54,2	61,2	43,2	17,3	10,2	41	25,9
44	42	42	42	42	42	42	35,1	42,1	6,8	4,2	9,2	21,9	7,1
45	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	22,4	29,5	9,6	19,7	38,5	9,2	11,2
46	39,2	39,2	39,2	39,2	39,2	39,2	32,3	39,3	4,1	9,9	14,9	19,1	4,4
47	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,6	3,4	32,1	42,2	58,1	21,4	33,7
48	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	46,4	53,4	18,1	11,8	11	33,2	18,5
49	70,3	70,4	70,4	70,3	70,4	70,4	63,4	70,5	27,7	21,4	22,9	50,2	28
50	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,6	3,4	32,1	42,2	58,1	21,4	33,7
51	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	78,4	85,4	36,7	30,5	37,9	65,2	37
52	85,7	85,8	85,3	85,3	85,3	85,3	78,7	85,8	67,8	31,8	38,3	65,6	69,4
53	0,35	0,26	0,25	0,23	0,09	0,35	7,3	0,23	35,7	45,8	61,7	25	37,3
54	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	78,4	85,4	36,7	30,5	37,9	65,2	37
55	62,4	62,5	62,4	62,4	62,5	62,4	55,5	62,5	27,3	21	21,1	42,3	27,6
56	84,9	85	85	85	85,3	84,9	78	85	36,3	30	37,5	64,8	36,6
57	55,4	55,5	55,5	55,5	55,9	55,4	48,5	55,5	20,3	12,2	11,4	35,3	20,6
58	45,4	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	38,5	45,6	10,3	2,6	7,9	25,4	10,6
59	0,13	0,26	0,18	0,01	0,3	0,12	7	0,01	35,5	45,6	61,5	24,8	37,1
60	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	19,4	26,5	12,9	23	38,9	6,2	14,5
61	0,06	0,04	0,05	0,06	0,4	0,06	7	0,06	35,4	45,5	61,4	24,7	37
62	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7	49,9	56,9	21,6	15,4	15,5	36,7	21,9
63	32,9	33	33	33	33	33	26	33	5,6	15,7	20,6	12,8	7,2
64	10	10,1	10	10	10	10	3,1	10,1	31,3	41,4	57,3	20,6	32,9
65	46,1	46,1	46,1	46,1	46,1	46,1	39,1	46,2	10,9	4,5	10,1	26	11,3
66	0,13	0,03	0,02	0,01	0,3	0,12	7	0,01	35,5	45,6	61,5	24,8	37,1
67	0,27	0,35	0,4	0,4	0,7	0,28	6,6	0,4	35,1	45,2	61,1	24,4	36,7
68	41,8	41,9	41,8	41,9	41,9	41,9	34,9	41,9	6,6	4	9	21,7	7
69	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	1,3	5,7	29,8	39,8	55,8	19	31,4
70	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	38,6	45,6	10,4	3	11,3	25,4	10,7
71	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	38,7	45,7	10,4	2,7	8	25,5	10,8
72	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	30,7	37,7	1,1	11,1	16,1	17,5	2,6
73	35,3	35,4	35,3	35,4	35,3	35,3	28,4	35,4	4	14	19	15,2	5,5
74	82,3	82,4	82,4	82,4	82,7	82,3	75,4	82,4	36,6	30,4	34,9	62,2	36,9

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
39	18,6	18,6	13,9	22,5	8,5	4,6	55,8	1,4	6,1	51,1	55,5	51,8	26,4
40	39,2	39,2	9,9	43,1	22,5	11,4	62,3	15,3	18,8	57,6	61,9	58,3	21,6
41	12,3	12,3	23,8	16,2	7,2	14,5	82,2	12,3	6,9	77,5	81,9	78,2	36,3
42	78,3	78,3	35,7	82,2	61,6	47,2	7,5	66,7	65,4	2,8	7,2	3,5	26,7
43	38,5	38,5	20,5	42,4	21,8	18	61,5	21,9	25,6	56,8	61,2	57,5	41,5
44	31,6	31,6	1,5	35,5	21,5	13,9	42,4	15,6	19,1	37,7	42,1	38,4	13
45	62,4	62,4	17	66,3	45,7	28,6	29,8	30,2	33,7	25,1	29,5	25,8	0,4
46	36,4	36,4	7,2	40,3	26,3	18,8	39,7	20,4	23,9	35	39,3	35,7	10,3
47	82	82	39,5	85,9	65,4	51	3,7	70,4	69,2	1	3,4	0,27	30,4
48	19,8	19,8	11,9	23,7	9,7	2,5	53,8	2,6	7,3	49,1	53,4	49,7	24,4
49	18,7	18,7	21,4	22,6	0,5	12,1	70,8	8,3	6,2	66,1	70,5	66,8	33,9
50	82	82	39,5	85,9	65,4	51	3,7	70,4	69,1	1	3,4	0,27	30,4
51	0,01	0,01	30,4	3,9	18,2	21,1	85,8	16,2	13,4	81,1	85,4	81,8	42,9
52	11,5	11,5	31,8	9,3	17,7	22,5	86,2	20,3	14,9	81,5	85,8	82,2	66,2
53	85,7	85,7	43,1	89,6	69	54,6	0,11	74,1	72,8	4,6	0,23	3,9	34,1
54	0,01	0,01	30,4	3,9	18,2	21,1	85,8	16,2	13,4	81,1	85,4	81,8	42,9
55	9,4	9,4	21	13,3	8,8	11,7	62,9	6,7	3,9	58,2	62,5	58,9	33,5
56	0,45	0,45	30	4,3	17,8	20,7	85,4	15,7	12,9	80,7	85	81,3	42,5
57	19,4	19,4	14	23,3	9,3	4,7	55,9	2,2	6,9	51,2	55,5	51,9	26,5
58	31	31	4,8	34,9	20,9	13,1	45,9	15	18,5	41,2	45,6	41,9	16,5
59	85,4	85,4	42,9	89,3	68,8	54,4	0,35	73,8	72,6	4,4	0,01	3,7	33,8
60	62,8	62,8	20,3	66,7	46,2	31,8	26,8	51,2	50	22,1	26,5	22,8	11,2
61	85,4	85,4	42,8	89,3	68,7	54,3	0,4	73,8	72,5	4,3	0,06	3,6	33,8
62	15,5	15,5	15,3	19,4	6,2	6	57,2	1,7	3	52,5	56,9	53,2	27,8
63	42,2	42,2	12,9	46,1	49,2	24,5	33,3	26,1	29,7	28,6	33	29,3	3,9
64	81,2	81,2	38,6	85,1	64,6	50,2	10,5	69,6	68,4	5,8	10,1	6,5	29,6
65	27,7	27,7	4,7	31,6	17,6	6	46,5	11,7	15,2	41,8	46,2	42,5	17,1
66	85,4	85,4	42,9	89,3	68,8	54,4	0,35	73,8	72,6	4,4	0,01	3,7	33,8
67	85	85	42,5	88,9	68,4	54	0,75	73,4	72,2	4	0,4	3,3	33,4
68	31,5	31,5	1,3	35,4	21,4	13,9	42,3	15,5	19	37,6	41,9	38,3	12,9
69	79,7	79,7	37,1	83,6	63	48,7	6,1	68,1	66,9	1,4	5,7	2,1	28,1
70	29	29	1,9	32,9	18,9	11,3	46	12,9	16,5	41,3	45,6	42	16,6
71	31,2	31,2	5	35,1	21,1	13,2	46,1	15,1	18,7	41,4	45,7	42	16,7
72	37,6	37,6	8,4	41,5	27,5	20	38	21,6	25,1	33,3	37,7	34	8,6
73	40,5	40,5	11,3	44,4	30,4	22,9	35,7	24,5	28	31	35,4	31,7	6,3
74	13,7	13,7	30,3	17,6	16,2	21	82,7	18,8	13,4	78	82,4	78,7	62,7

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
39	0	14,7	11,8	66,1	21,3	15	29,6	19,8	69,9	1,4	9,3	69,9	18,3
40	14,7	0	23,1	54,4	10,2	9,2	38,5	14,9	58,2	11	23	58,2	38
41	11,8	23,1	0	69,4	29,6	21	35,6	25,8	73,2	9,2	5,5	73,2	13,5
42	66,1	54,4	69,4	0	54	34,9	22,3	32,2	3,8	46,2	63,3	3,8	78,3
43	21,3	10,2	29,6	54	0	15,8	36,2	21,5	55,8	15,9	20,6	55,8	35,6
44	15	9,2	21	34,9	15,8	0	16,1	6,3	38,5	13,7	22,3	38,5	31,3
45	29,6	38,5	35,6	22,3	36,2	16,1	0	9,9	30	24	33,5	30	42,5
46	19,8	14,9	25,8	32,2	21,5	6,3	9,9	0	37,5	16,8	26,3	37,5	35,3
47	69,9	58,2	73,2	3,8	55,8	38,5	30	37,5	0	50	67,1	0,01	82,1
48	1,4	11	9,2	46,2	15,9	13,7	24	16,8	50	0	11,3	70	20,3
49	9,3	23	5,5	63,3	20,6	22,3	33,5	26,3	67,1	11,3	0	65,8	18,7
50	69,9	58,2	73,2	3,8	55,8	38,5	30	37,5	0,01	70	65,8	0	82,1
51	18,3	38	13,5	78,3	35,6	31,3	42,5	35,3	82,1	20,3	18,7	82,1	0
52	19,7	38,4	12,6	78,7	36	32,7	65,8	36,7	82,4	21,7	17,3	82,4	11,5
53	73,5	61,8	76,8	7,4	59,4	42,2	33,7	41,1	3,6	73,6	69,5	3,6	85,7
54	18,3	38	13,2	78,3	35,6	31,3	42,5	35,3	82,1	20,3	18,7	82,1	0,01
55	8,9	21,2	4,1	55,4	26	21,9	33,1	25,9	59,1	10,9	9,3	59,1	9,4
56	17,9	37,5	13,1	77,8	35,2	30,9	42,1	34,9	81,6	19,9	18,2	81,6	0,45
57	1,1	11,4	8,8	48,4	16,2	14,1	26,1	18,9	52,1	0,4	9,8	52,1	19,4
58	14,4	7,9	20,4	38,4	14,5	3,9	16,1	8,9	42,2	12,8	21,4	42,2	31
59	73,3	61,6	76,6	7,2	59,2	41,9	33,4	40,9	3,4	73,4	69,2	3,4	85,4
60	50,7	39	54	19,3	36,6	19,4	10,9	18,3	23,1	50,8	46,6	23,1	62,8
61	73,2	61,5	76,5	7,1	59,1	41,9	33,4	40,8	3,3	73,3	69,2	3,3	85,4
62	2,5	15,5	5,9	49,7	20,4	16,2	27,4	20,2	53,5	3,7	6,7	53,5	15,5
63	25,6	20,7	31,5	25,8	39,7	12	3,5	10,9	29,6	24,2	49,7	29,6	42,2
64	69,1	57,4	72,4	3	55	37,7	29,2	36,6	6,7	69,2	65	6,7	81,2
65	11,1	10,1	17,1	39	14,9	5,5	16,8	9,5	42,8	9,8	18,1	42,8	27,7
66	73,3	61,6	76,6	7,2	59,2	41,9	33,4	40,9	3,4	73,4	69,2	3,4	85,4
67	72,9	61,2	76,2	6,8	58,8	41,5	33	40,5	3	73	68,8	3	85
68	14,9	9,1	20,9	34,8	15,7	0,16	12,5	5,3	38,5	13,6	21,9	38,5	31,5
69	67,5	55,8	70,9	1,4	53,5	36,2	27,7	35,1	2,3	67,7	63,5	2,3	79,7
70	12,4	11,4	18,3	38,5	16,2	4	16,2	9	42,2	11	19,3	42,2	29
71	14,6	8	20,5	38,5	14,6	4,1	16,3	9,1	42,3	13	21,5	42,3	31,2
72	21	16,1	27	30,5	22,8	7,5	8,2	6,4	34,3	19,7	28	34,3	37,6
73	23,9	19	29,9	28,2	42,1	10,4	5,9	9,3	32	22,6	30,9	32	40,5
74	18,2	34,9	11,1	75,2	32,5	31,2	62,3	35,2	79	20,2	15,8	79	13,7

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
39	19,7	73,5	18,3	8,9	17,9	1,1	14,4	73,3	50,7	73,2	2,5	25,6
40	38,4	61,8	38	21,2	37,5	11,4	7,9	61,6	39	61,5	15,5	20,7
41	12,6	76,8	13,2	4,1	13,1	8,8	20,4	76,6	54	76,5	5,9	31,5
42	78,7	7,4	78,3	55,4	77,8	48,4	38,4	7,2	19,3	7,1	49,7	25,8
43	36	59,4	35,6	26	35,2	16,2	14,5	59,2	36,6	59,1	20,4	39,7
44	32,7	42,2	31,3	21,9	30,9	14,1	3,9	41,9	19,4	41,9	16,2	12
45	65,8	33,7	42,5	33,1	42,1	26,1	16,1	33,4	10,9	33,4	27,4	3,5
46	36,7	41,1	35,3	25,9	34,9	18,9	8,9	40,9	18,3	40,8	20,2	10,9
47	82,4	3,6	82,1	59,1	81,6	52,1	42,2	3,4	23,1	3,3	53,5	29,6
48	21,7	73,6	20,3	10,9	19,9	0,4	12,8	73,4	50,8	73,3	3,7	24,2
49	17,3	69,5	18,7	9,3	18,2	9,8	21,4	69,2	46,6	69,2	6,7	49,7
50	82,4	3,6	82,1	59,1	81,6	52,1	42,2	3,4	23,1	3,3	53,5	29,6
51	11,5	85,7	0,01	9,4	0,45	19,4	31	85,4	62,8	85,4	15,5	42,2
52	0	78,9	10,3	10,8	9,9	15,5	27,1	78,6	56	78,6	12,6	59,1
53	78,9	0	85,7	62,8	85,2	55,8	45,8	0,23	26,1	0,3	57,1	33,2
54	10,3	85,7	0	9,4	0,45	19,4	31	85,4	62,8	85,4	15,5	42,2
55	10,8	62,8	9,4	0	9	10	21,6	75,7	53,1	75,6	6	32,7
56	9,9	85,2	0,45	9	0	19	30,6	85	62,4	84,9	15	41,7
57	15,5	55,8	19,4	10	19	0	13,2	73,8	52,1	73,7	3,3	26,3
58	27,1	45,8	31	21,6	30,6	13,2	0	45,2	22,7	45,2	15,9	15,3
59	78,6	0,23	85,4	75,7	85	73,8	45,2	0	26,5	0,06	56,9	33
60	56	26,1	62,8	53,1	62,4	52,1	22,7	26,5	0	25,8	39,1	15,2
61	78,6	0,3	85,4	75,6	84,9	73,7	45,2	0,06	25,8	0	56,8	32,9
62	12,6	57,1	15,5	6	15	3,3	15,9	56,9	39,1	56,8	0	27,1
63	59,1	33,2	42,2	32,7	41,7	26,3	15,3	33	15,2	32,9	27,1	0
64	74,4	10,4	81,2	71,5	80,8	69,6	41	10,1	21,6	10,1	67,7	25,7
65	23,8	46,4	27,7	18,3	27,3	11,9	6,1	46,2	28,4	46,1	12,2	20,8
66	78,6	0,23	85,4	75,7	85	73,8	45,2	0,01	25,8	0,06	71,9	29,9
67	78,2	0,65	85	75,3	84,6	73,4	44,8	0,4	25,4	0,35	71,5	29,5
68	27,6	42,2	31,5	22,1	31,1	15,7	3,7	41,9	24,1	41,9	16,5	16,5
69	72,9	6	79,7	69,9	79,3	68,1	39,5	5,7	20,1	5,7	66,1	24,2
70	25	45,9	29	19,5	28,5	13,1	3,7	45,6	27,8	45,6	13,9	20,2
71	27,2	45,9	31,2	21,7	30,7	13,4	0,55	45,7	27,9	45,7	16,1	20,3
72	33,7	37,9	37,6	28,2	37,2	21,8	10,8	37,7	19,9	37,6	22,6	12,3
73	36,6	35,6	40,5	31,1	40,1	24,7	13,7	35,4	17,6	35,3	25,5	10
74	5,3	82,6	13,7	14,3	13,3	19	30,9	82,4	64,6	82,3	16,8	58,8

EK – 2 (Devam): Müşteriler Arasındaki Uzaklık (km) Matrisi

Müşteri No	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
39	69,1	11,1	73,3	72,9	14,9	67,5	12,4	14,6	21	23,9	18,2
40	57,4	10,1	61,6	61,2	9,1	55,8	11,4	8	16,1	19	34,9
41	72,4	17,1	76,6	76,2	20,9	70,9	18,3	20,5	27	29,9	11,1
42	3	39	7,2	6,8	34,8	1,4	38,5	38,5	30,5	28,2	75,2
43	55	14,9	59,2	58,8	15,7	53,5	16,2	14,6	22,8	42,1	32,5
44	37,7	5,5	41,9	41,5	0,16	36,2	4	4,1	7,5	10,4	31,2
45	29,2	16,8	33,4	33	12,5	27,7	16,2	16,3	8,2	5,9	62,3
46	36,6	9,5	40,9	40,5	5,3	35,1	9	9,1	6,4	9,3	35,2
47	6,7	42,8	3,4	3	38,5	2,3	42,2	42,3	34,3	32	79
48	69,2	9,8	73,4	73	13,6	67,7	11	13	19,7	22,6	20,2
49	65	18,1	69,2	68,8	21,9	63,5	19,3	21,5	28	30,9	15,8
50	6,7	42,8	3,4	3	38,5	2,3	42,2	42,3	34,3	32	79
51	81,2	27,7	85,4	85	31,5	79,7	29	31,2	37,6	40,5	13,7
52	74,4	23,8	78,6	78,2	27,6	72,9	25	27,2	33,7	36,6	5,3
53	10,4	46,4	0,23	0,65	42,2	6	45,9	45,9	37,9	35,6	82,6
54	81,2	27,7	85,4	85	31,5	79,7	29	31,2	37,6	40,5	13,7
55	71,5	18,3	75,7	75,3	22,1	69,9	19,5	21,7	28,2	31,1	14,3
56	80,8	27,3	85	84,6	31,1	79,3	28,5	30,7	37,2	40,1	13,3
57	69,6	11,9	73,8	73,4	15,7	68,1	13,1	13,4	21,8	24,7	19
58	41	6,1	45,2	44,8	3,7	39,5	3,7	0,55	10,8	13,7	30,9
59	10,1	46,2	0,01	0,4	41,9	5,7	45,6	45,7	37,7	35,4	82,4
60	21,6	28,4	25,8	25,4	24,1	20,1	27,8	27,9	19,9	17,6	64,6
61	10,1	46,1	0,06	0,35	41,9	5,7	45,6	45,7	37,6	35,3	82,3
62	67,7	12,2	71,9	71,5	16,5	66,1	13,9	16,1	22,6	25,5	16,8
63	25,7	20,8	29,9	29,5	16,5	24,2	20,2	20,3	12,3	10	58,8
64	0	57	10,1	9,7	37,7	4,4	41,4	41,5	33,5	31,2	78,2
65	57	0	46,1	45,7	5,6	40,3	3	6,2	11,6	14,5	28,2
66	10,1	46,1	0	0,4	41,9	5,7	45,6	45,7	37,7	35,4	82,4
67	9,7	45,7	0,4	0	41,5	5,3	45,2	45,3	37,3	35	82
68	37,7	5,6	41,9	41,5	0	36,1	3,8	3,9	7,3	10,2	31,1
69	4,4	40,3	5,7	5,3	36,1	0	39,9	40	31,9	29,7	76,7
70	41,4	3	45,6	45,2	3,8	39,9	0	4,2	9,5	12,4	28,4
71	41,5	6,2	45,7	45,3	3,9	40	4,2	0	10,9	13,8	31,1
72	33,5	11,6	37,7	37,3	7,3	31,9	9,5	10,9	0	2,9	39,4
73	31,2	14,5	35,4	35	10,2	29,7	12,4	13,8	2,9	0	37,6
74	78,2	28,2	82,4	82	31,1	76,7	28,4	31,1	39,4	37,6	0

EK – 3: Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	44	24	7	42	51	13	32	12	21	27	11	22
1	44	0	26	38	19	5	35	55	33	29	22	46	45
2	24	26	0	18	23	34	14	44	13	9	10	26	34
3	7	38	18	0	36	45	7	33	11	16	21	13	24
4	42	19	23	36	0	26	34	49	33	29	22	43	40
5	51	5	34	45	26	0	43	61	43	38	31	52	51
6	13	35	14	7	34	43	0	38	12	11	18	14	29
7	32	55	44	33	49	61	38	0	38	43	51	28	15
8	12	33	13	11	33	43	12	38	0	12	17	16	30
9	21	29	9	16	29	38	11	43	12	0	13	23	38
10	27	22	10	21	22	31	18	51	17	13	0	28	40
11	11	46	26	13	43	52	14	28	16	23	28	0	16
12	22	45	34	24	40	51	29	15	30	38	40	16	0
13	37	61	48	39	54	66	43	4	45	52	54	30	18
14	36	61	49	39	54	66	43	4	45	52	54	30	18
15	37	61	49	39	54	66	43	4	45	52	54	30	18
16	37	61	49	39	54	66	43	4	45	52	54	30	18
17	37	61	49	39	54	66	44	5	45	52	54	31	18
18	37	61	48	39	54	66	43	4	45	52	54	30	18
19	31	55	43	34	49	60	38	1	39	46	49	25	13
20	37	61	49	39	54	66	44	5	45	52	54	30	18
21	13	48	28	15	45	54	16	25	18	25	30	3	15
22	10	38	18	6	36	45	10	34	9	16	21	13	24
23	18	35	20	16	36	41	16	40	11	18	25	21	30
24	24	47	35	26	41	52	30	16	32	39	41	17	4
25	12	47	27	14	43	53	15	28	16	23	28	1	18
26	41	22	24	36	23	15	33	56	31	28	19	44	46
27	41	22	24	36	23	15	33	56	31	28	19	44	46
28	6	40	20	6	40	49	11	33	12	19	24	11	22
29	52	9	35	46	20	12	44	68	42	39	30	55	57
30	32	26	13	26	25	34	24	47	23	19	11	36	37
31	22	27	6	14	28	37	8	41	10	2	13	10	31
32	37	61	49	39	54	66	44	5	45	52	54	31	18
33	23	26	8	18	26	35	17	50	16	12	8	29	40
34	27	20	10	21	21	30	19	51	17	13	6	30	41
35	33	57	45	36	51	62	40	1	41	48	51	27	15
36	37	61	49	39	54	66	43	4	45	52	54	30	18

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamamı (dk) Matrisi

Müşteri No	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0	37	36	37	37	37	37	31	37	13	10	18	24	12
1	61	61	61	61	61	61	55	61	48	38	35	47	47
2	48	49	49	49	49	48	43	49	28	18	20	35	27
3	39	39	39	39	39	39	34	39	15	6	16	26	14
4	54	54	54	54	54	54	49	54	45	36	36	41	43
5	66	66	66	66	66	66	60	66	54	45	41	52	53
6	43	43	43	43	44	43	38	44	16	10	16	30	15
7	4	4	4	4	5	4	1	5	25	34	40	16	28
8	45	45	45	45	45	45	39	45	18	9	11	32	16
9	52	52	52	52	52	52	46	52	25	16	18	39	23
10	54	54	54	54	54	54	49	54	30	21	25	41	28
11	30	30	30	30	31	30	25	30	3	13	21	17	1
12	18	18	18	18	18	18	13	18	15	24	30	4	18
13	0	1	1	1	1	1	5	1	30	34	45	21	33
14	1	0	1	1	1	1	5	1	30	39	45	21	33
15	1	1	0	1	1	1	5	1	30	39	45	21	33
16	1	1	1	0	1	1	5	1	30	39	45	21	33
17	1	1	1	1	0	1	5	1	30	39	45	21	33
18	1	1	1	1	1	0	5	1	30	39	45	21	33
19	5	5	5	5	5	5	0	5	24	33	40	16	27
20	1	1	1	1	1	1	5	0	30	39	45	21	33
21	30	30	30	30	30	30	24	30	0	15	23	16	9
22	34	39	39	39	39	39	33	39	15	0	12	30	14
23	45	45	45	45	45	45	40	45	23	12	0	32	21
24	21	21	21	21	21	21	16	21	16	30	32	0	20
25	33	33	33	33	33	33	27	33	9	14	21	20	0
26	62	62	62	62	62	62	56	62	46	36	36	48	45
27	62	62	62	62	62	62	56	62	46	36	36	48	45
28	37	37	37	37	37	37	32	37	13	10	17	24	12
29	73	73	73	73	73	73	67	73	57	47	47	59	56
30	52	52	52	52	52	52	46	72	37	28	27	38	36
31	46	46	46	46	46	46	40	46	22	14	14	33	20
32	1	1	1	1	1	1	5	1	29	43	45	20	31
33	55	55	55	55	55	55	49	55	30	21	23	41	29
34	56	56	56	56	56	56	51	56	32	22	25	43	31
35	3	3	3	3	3	3	2	3	26	39	41	17	27
36	1	1	1	1	1	1	5	1	29	43	45	20	31

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
0	41	41	6	52	32	22	37	23	27	33	37	34	15
1	22	22	40	9	26	27	61	26	20	57	61	57	47
2	24	24	20	35	13	6	49	8	10	45	49	46	30
3	36	36	6	46	26	14	39	18	21	36	39	36	17
4	23	23	40	20	25	28	54	26	21	51	54	51	37
5	15	15	49	12	34	37	66	35	30	62	66	63	48
6	33	33	11	44	24	8	44	17	19	40	43	40	23
7	56	56	33	68	47	41	5	50	51	1	4	1	16
8	31	31	12	42	23	10	45	16	17	41	45	42	24
9	28	28	19	39	19	2	52	12	13	48	52	49	32
10	19	19	24	30	11	13	54	8	6	51	54	51	37
11	44	44	11	55	36	10	31	29	30	27	30	27	10
12	46	46	22	57	37	31	18	40	41	15	18	15	6
13	62	62	37	73	52	46	1	55	56	3	1	2	21
14	62	62	37	73	52	46	1	55	56	3	1	2	21
15	62	62	37	73	52	46	1	55	56	3	1	2	21
16	62	62	37	73	52	46	1	55	56	3	1	2	21
17	62	62	37	73	52	46	1	55	56	3	1	2	21
18	62	62	37	73	52	46	1	55	56	3	1	2	21
19	56	56	32	67	46	40	5	49	51	2	5	2	16
20	62	62	37	73	72	46	1	55	56	3	1	3	21
21	46	46	13	57	37	22	29	30	32	26	29	26	9
22	36	36	10	47	28	14	43	21	22	39	43	40	22
23	36	36	17	47	27	14	45	23	25	41	45	42	28
24	48	48	24	59	38	33	20	41	43	17	20	17	8
25	45	45	12	56	36	20	31	29	31	27	31	28	11
26	0	1	39	7	26	28	62	25	18	57	61	58	44
27	1	0	39	7	26	28	62	25	18	57	61	58	44
28	39	39	0	49	30	14	39	23	24	35	39	36	18
29	7	7	49	0	36	38	72	35	28	68	72	69	54
30	26	26	30	36	0	18	49	17	12	46	49	46	32
31	28	28	14	38	18	0	51	9	11	47	50	47	30
32	62	62	39	72	49	51	0	55	56	3	1	3	21
33	25	25	23	35	17	9	55	0	10	49	53	50	34
34	18	18	24	28	12	11	56	10	0	50	54	51	37
35	57	57	35	68	46	47	3	49	50	0	3	1	18
36	61	61	39	72	49	50	1	53	54	3	0	3	21

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
0	22	18	28	31	22	4	15	9	34	22	33	34	41
1	25	35	16	54	32	40	46	44	57	27	25	57	15
2	7	20	11	43	18	20	30	24	46	6	14	46	24
3	17	16	22	33	19	6	17	11	36	17	27	36	36
4	25	31	14	49	26	39	38	45	51	26	24	51	23
5	34	42	23	60	37	48	48	54	63	35	33	63	15
6	14	16	24	38	20	10	23	16	40	14	25	40	33
7	47	41	48	1	36	30	17	27	2	46	48	2	56
8	13	7	22	39	16	11	25	17	42	11	23	42	31
9	9	16	19	46	23	18	32	24	49	5	20	49	28
10	9	25	11	49	26	23	37	29	51	10	12	51	19
11	26	21	35	25	30	9	10	6	28	25	36	28	44
12	37	30	38	13	26	20	7	17	15	36	37	15	46
13	52	45	53	5	41	35	21	32	2	51	52	2	62
14	52	45	53	5	41	35	21	32	2	51	52	2	62
15	52	45	53	5	41	35	21	32	2	51	52	2	62
16	52	45	53	5	41	35	21	32	2	51	52	2	62
17	52	45	53	5	41	35	21	32	2	51	52	2	62
18	52	45	53	5	41	35	21	32	2	51	52	2	62
19	46	40	47	1	36	29	16	22	2	46	47	2	56
20	21	45	53	5	41	35	22	32	2	51	52	2	62
21	28	23	37	23	30	11	9	8	26	27	38	26	46
22	18	12	27	37	21	9	23	15	40	16	28	40	36
23	20	1	30	39	14	16	28	23	42	16	27	42	36
24	39	32	39	14	28	22	8	19	17	38	39	17	48
25	26	22	36	25	31	10	11	7	28	26	37	28	45
26	24	37	17	55	33	38	44	44	58	26	27	58	1
27	24	37	17	55	33	38	44	44	58	26	27	58	1
28	20	16	29	33	25	4	19	11	36	19	30	36	38
29	35	48	27	66	44	49	55	55	69	36	37	69	8
30	15	25	14	43	21	28	32	35	46	16	1	46	26
31	6	17	16	45	21	17	30	23	47	6	17	47	25
32	52	46	53	5	42	35	22	32	3	51	53	3	62
33	4	22	15	47	26	20	34	26	50	5	16	50	22
34	10	25	9	48	26	24	37	30	51	11	12	51	18
35	48	42	49	2	38	31	18	29	1	48	49	1	58
36	52	45	53	5	41	35	22	32	2	51	52	2	62

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
0	34	37	41	31	41	24	8	37	29	37	24	19
1	11	61	15	21	15	26	40	61	52	61	23	43
2	17	49	24	14	24	7	20	49	40	49	6	31
3	28	39	36	25	35	18	7	39	23	40	19	16
4	7	54	23	20	22	26	38	54	37	54	22	41
5	8	66	15	29	31	35	49	66	48	66	31	52
6	30	43	33	22	32	15	12	43	26	43	16	19
7	48	4	56	55	56	47	35	4	16	4	48	20
8	29	45	31	21	31	11	9	45	28	45	14	21
9	25	52	28	17	27	6	20	52	35	52	10	28
10	17	54	19	8	19	10	25	54	37	54	3	33
11	42	31	44	34	44	26	14	30	13	30	27	6
12	38	18	46	45	46	37	25	18	5	18	38	10
13	53	1	62	60	61	52	40	1	20	1	53	25
14	53	1	62	60	61	52	40	1	20	1	53	25
15	53	1	62	60	61	52	40	1	20	1	53	25
16	53	1	62	60	61	52	40	1	20	1	53	25
17	53	1	62	60	62	52	40	1	20	1	53	25
18	53	1	62	60	61	52	40	1	20	1	53	25
19	47	5	56	54	55	46	34	5	15	5	47	20
20	53	1	62	60	61	52	40	1	20	1	53	25
21	41	29	46	35	46	28	16	29	12	29	29	5
22	34	43	36	26	36	16	6	43	26	43	19	19
23	28	45	36	28	36	17	15	45	28	45	21	26
24	40	20	48	46	48	39	27	20	7	20	40	12
25	43	31	45	34	44	27	15	31	14	31	28	7
26	18	62	1	10	1	25	40	61	44	61	20	48
27	18	62	1	10	1	25	40	61	44	61	20	48
28	36	39	38	28	38	20	9	39	22	39	21	15
29	20	72	10	21	10	36	50	72	54	72	31	58
30	22	49	26	15	25	16	30	49	32	49	12	36
31	22	50	25	14	24	6	18	50	33	50	7	26
32	53	1	62	60	62	52	40	1	21	1	53	25
33	21	53	22	12	22	5	22	53	36	50	3	30
34	15	54	18	7	17	11	25	54	37	54	6	33
35	49	3	58	56	57	48	36	3	17	3	49	22
36	53	1	62	60	61	52	40	1	20	1	53	25

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamamı (dk) Matrisi

Müşteri No	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
0	62	12	37	37	3	32	9	7	13	13	41
1	85	36	61	60	39	56	36	40	48	48	5
2	73	16	49	48	19	44	15	20	28	28	23
3	65	8	40	40	5	35	2	6	12	17	35
4	80	36	54	54	38	50	35	38	44	45	15
5	91	45	66	65	47	61	44	49	53	56	12
6	69	1	43	43	9	39	5	12	15	21	31
7	12	38	4	4	29	1	34	35	24	24	52
8	70	13	45	44	10	40	10	9	17	22	30
9	77	14	52	52	18	47	14	20	24	29	26
10	80	21	54	54	23	50	19	25	29	34	18
11	55	17	30	30	8	26	13	14	3	8	43
12	43	28	18	18	19	14	24	25	14	14	42
13	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
14	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
15	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
16	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
17	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
18	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
19	9	37	5	5	29	1	33	34	24	23	51
20	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
21	54	18	29	29	10	24	15	16	1	7	44
22	68	12	43	42	8	38	7	6	15	20	35
23	70	17	45	44	15	40	16	15	21	28	32
24	35	29	20	20	21	15	26	27	16	16	43
25	56	17	31	31	9	26	14	15	3	9	43
26	86	35	61	61	37	56	34	40	44	49	19
27	86	35	61	61	37	56	34	40	44	49	19
28	54	11	39	38	3	34	4	9	11	16	37
29	87	46	72	72	48	67	44	50	54	60	29
30	64	26	49	49	28	44	24	30	34	40	23
31	56	14	50	50	16	46	13	18	22	28	23
32	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
33	78	18	58	52	20	48	16	22	26	31	23
34	79	21	54	53	23	49	20	25	29	35	16
35	15	39	3	3	31	1	35	36	26	25	53
36	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37	34	57	46	36	51	63	40	1	42	49	51	27	15
38	15	47	30	17	37	48	23	16	24	32	37	10	6
39	22	25	7	17	25	34	14	47	13	9	9	26	37
40	18	35	20	16	31	42	16	41	7	16	25	21	30
41	28	16	11	22	14	23	24	48	22	19	11	35	38
42	31	54	43	33	49	60	38	1	39	46	49	25	13
43	22	32	18	19	26	37	20	36	16	23	26	30	26
44	4	40	20	6	39	48	10	30	11	18	23	9	20
45	15	46	30	17	38	48	23	17	25	32	37	10	7
46	9	44	24	11	45	54	16	27	17	24	29	6	17
47	34	57	46	36	51	63	40	2	42	49	51	28	15
48	22	27	6	17	26	35	14	46	11	5	10	25	36
49	33	25	14	27	24	33	25	48	23	20	12	36	37
50	34	57	46	36	51	63	40	2	42	49	51	28	15
51	41	15	24	36	23	15	33	56	31	28	19	44	46
52	34	11	17	28	7	8	30	48	29	25	17	42	38
53	37	61	49	39	54	66	43	4	45	52	54	31	18
54	41	15	24	36	23	15	33	56	31	28	19	44	46
55	31	21	14	25	20	29	22	55	21	17	8	34	45
56	41	15	24	35	22	31	32	56	31	27	19	44	46
57	24	26	7	18	26	35	15	47	11	6	10	26	37
58	8	40	20	7	38	49	12	35	9	20	25	14	25
59	37	61	49	39	54	66	43	4	45	52	54	30	18
60	29	52	40	23	37	48	26	16	28	35	37	13	5
61	37	61	49	40	54	66	43	4	45	52	54	30	18
62	24	23	6	19	22	31	16	48	14	10	3	27	38
63	19	43	31	16	41	52	19	20	21	28	33	6	10
64	62	85	73	65	80	91	69	12	70	77	80	55	43
65	12	36	16	8	36	45	1	38	13	14	21	17	28
66	37	61	49	40	54	66	43	4	45	52	54	30	18
67	37	60	48	40	54	65	43	4	44	52	54	30	18
68	3	39	19	5	38	47	9	29	10	18	23	8	19
69	32	56	44	35	50	61	39	1	40	47	50	26	14
70	9	36	15	2	35	44	5	34	10	14	19	13	24
71	7	40	20	6	38	49	12	35	9	20	25	14	25
72	13	48	28	12	44	53	15	24	17	24	29	3	14
73	13	48	28	17	45	56	21	24	22	29	34	8	14
74	41	5	23	35	15	12	31	52	30	26	18	43	42

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
37	2	2	2	2	2	2	2	3	26	40	42	17	28
38	21	21	21	21	21	21	16	21	9	22	28	8	11
39	52	52	52	52	52	52	46	21	28	18	20	39	26
40	45	45	45	45	45	45	40	45	23	12	1	32	22
41	53	53	53	53	53	53	47	53	37	27	30	39	36
42	5	5	5	5	5	5	1	5	23	37	39	14	25
43	41	41	41	41	41	41	36	41	30	21	14	28	31
44	35	35	35	35	35	35	29	35	11	9	16	22	10
45	21	21	21	21	21	21	16	22	9	23	28	8	11
46	32	32	32	32	32	32	22	32	8	15	23	19	7
47	2	2	2	2	2	2	2	2	26	40	42	17	28
48	51	51	51	51	51	51	46	51	27	16	16	38	26
49	52	52	52	52	52	52	47	52	38	28	27	39	37
50	2	2	2	2	2	2	2	2	26	40	42	17	28
51	62	62	62	62	62	62	56	62	46	36	36	48	45
52	53	53	53	53	53	53	47	53	41	34	28	40	43
53	1	1	1	1	1	1	5	1	29	43	45	20	31
54	62	62	62	62	62	62	56	62	46	36	36	48	45
55	60	60	60	60	60	60	54	60	35	26	28	46	34
56	61	61	61	61	62	61	55	61	46	36	36	48	44
57	52	52	52	52	52	52	46	52	28	16	17	39	27
58	40	40	40	40	40	40	34	40	16	6	15	27	15
59	1	1	1	1	1	1	5	1	29	43	45	20	31
60	20	20	20	20	20	20	15	20	12	26	28	7	14
61	1	1	1	1	1	1	5	1	29	43	45	20	31
62	53	53	53	53	53	53	47	53	29	19	21	40	28
63	25	25	25	25	25	25	20	25	5	19	26	12	7
64	25	25	25	25	25	25	9	25	54	68	70	35	56
65	43	43	43	43	43	43	37	43	18	12	17	29	17
66	1	1	1	1	1	1	5	1	29	43	45	20	31
67	1	1	1	1	1	1	5	1	29	42	44	20	31
68	34	34	34	34	34	34	29	34	10	8	15	21	9
69	4	4	4	4	4	4	1	4	24	38	40	15	26
70	39	39	39	39	39	39	33	39	15	7	16	26	14
71	40	40	40	40	40	40	34	40	16	6	15	27	15
72	29	29	29	29	29	29	24	29	1	15	21	16	3
73	29	29	29	29	29	29	23	29	7	20	28	16	9
74	57	57	57	57	57	57	51	57	44	35	32	43	43

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
37	58	58	36	69	46	47	3	50	51	1	3	0	18
38	44	44	18	54	32	30	21	34	37	18	21	18	0
39	24	24	20	35	15	6	52	4	10	48	52	49	30
40	37	37	16	48	25	17	46	22	25	42	45	42	25
41	17	17	29	27	14	16	53	15	9	49	53	50	40
42	55	55	33	66	43	45	5	47	48	2	5	2	22
43	33	33	25	44	21	21	42	26	26	38	41	38	28
44	38	38	4	49	28	17	35	20	24	31	35	32	13
45	44	44	19	55	32	30	22	34	37	18	22	19	1
46	44	44	11	55	35	23	32	26	30	29	32	29	10
47	58	58	36	69	46	47	3	50	51	1	2	1	24
48	26	26	19	36	16	6	51	5	11	48	51	48	29
49	27	27	30	37	1	17	53	16	12	49	52	49	41
50	58	58	36	69	46	47	3	50	51	1	2	1	24
51	1	1	38	8	26	25	62	22	18	58	62	58	49
52	18	18	36	20	22	22	53	21	15	49	53	50	40
53	62	62	39	72	49	50	1	53	54	3	1	3	27
54	1	1	38	10	26	25	62	22	18	58	62	58	49
55	10	10	28	21	15	14	60	12	7	56	60	57	38
56	1	1	38	10	25	24	62	22	17	57	61	58	48
57	25	25	20	36	16	6	52	5	11	48	52	49	30
58	40	40	9	50	30	18	40	22	25	36	40	37	18
59	61	61	39	72	49	50	1	53	54	3	1	3	27
60	44	44	22	54	32	33	21	36	37	17	20	17	10
61	61	61	39	72	49	50	1	50	54	3	1	2	27
62	20	20	21	31	12	7	53	3	6	49	53	50	31
63	48	48	15	58	36	26	25	30	33	22	25	22	3
64	86	86	54	87	64	56	25	78	79	15	25	15	42
65	35	35	11	46	26	14	43	18	21	39	43	40	21
66	61	61	39	72	49	50	1	58	54	3	1	3	27
67	61	61	38	72	49	50	1	52	53	3	1	2	27
68	37	37	3	48	28	16	34	20	23	31	34	31	12
69	56	56	34	67	44	46	4	48	49	1	4	1	23
70	34	34	4	44	24	13	39	16	20	35	39	36	17
71	40	40	9	50	30	18	40	22	25	36	40	37	18
72	44	44	11	54	34	22	29	26	29	26	29	26	7
73	49	49	16	60	40	28	29	31	35	25	29	26	7
74	19	19	37	29	23	23	57	23	16	53	57	54	43

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
37	49	42	50	2	38	32	19	29	1	48	49	1	58
38	30	25	40	22	28	13	1	10	24	29	41	24	49
39	0	21	14	46	25	19	33	25	49	3	15	49	23
40	21	0	28	39	15	16	28	23	42	16	28	42	37
41	14	28	0	50	28	25	38	31	53	12	10	53	17
42	46	39	50	0	36	29	16	26	2	45	47	2	56
43	25	15	28	36	0	19	22	26	36	18	22	36	31
44	19	16	25	29	19	0	17	9	34	18	30	34	38
45	33	28	38	16	22	17	0	10	24	29	40	24	48
46	25	23	31	26	26	9	10	0	33	23	35	33	43
47	49	42	53	2	36	34	24	33	0	48	50	1	58
48	3	16	12	45	18	18	29	23	48	0	17	48	25
49	15	28	10	47	22	30	40	35	50	17	0	47	27
50	49	42	53	2	36	34	24	33	1	48	47	0	58
51	23	37	17	56	31	38	48	43	58	25	27	58	0
52	20	28	12	47	22	35	39	40	50	22	21	50	18
53	52	45	56	5	39	37	27	36	2	51	50	2	62
54	23	37	17	56	31	38	48	43	58	25	27	58	1
55	13	28	6	54	30	27	38	32	57	14	16	57	10
56	23	36	16	55	30	37	48	42	58	24	26	58	1
57	2	17	12	46	19	19	30	24	49	1	17	49	25
58	21	15	26	34	18	7	18	12	37	21	31	37	40
59	52	45	55	5	39	37	27	36	2	51	50	2	61
60	35	28	39	15	22	20	10	19	18	34	33	18	44
61	51	45	55	5	39	37	27	36	2	51	50	2	61
62	5	21	8	47	23	21	31	25	50	7	13	50	20
63	29	26	34	19	26	13	3	12	22	29	37	22	48
64	77	60	81	9	65	52	42	56	15	76	76	15	86
65	17	18	22	37	19	10	21	15	40	16	27	40	35
66	52	45	55	5	39	37	27	36	2	51	50	2	61
67	51	44	55	5	39	37	27	36	2	51	50	2	61
68	19	15	24	28	18	1	12	6	31	18	29	31	37
69	47	40	51	1	34	32	22	32	1	46	46	1	56
70	15	16	20	33	18	6	17	11	36	15	26	36	34
71	21	15	26	34	18	7	18	12	37	21	31	37	40
72	25	22	30	23	25	9	7	8	26	25	35	26	44
73	30	28	36	23	29	14	7	14	26	30	41	26	49
74	21	32	13	51	26	36	43	41	54	23	22	54	19

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
37	50	3	58	57	58	49	37	3	17	2	50	22
38	40	27	49	38	48	30	18	27	10	27	31	3
39	20	52	23	13	23	2	21	52	35	51	5	29
40	28	45	37	28	36	17	15	45	28	45	21	26
41	12	56	17	6	16	12	26	55	39	55	8	34
42	47	5	56	54	55	46	34	5	15	5	47	19
43	22	39	31	30	30	19	18	39	22	39	23	26
44	35	37	38	27	37	19	7	37	20	37	21	13
45	39	27	48	38	48	30	18	27	10	27	31	3
46	40	36	43	32	42	24	12	36	19	36	25	12
47	50	2	58	57	58	49	37	2	18	2	50	22
48	22	51	25	14	24	1	21	51	34	51	7	29
49	21	50	27	16	26	17	31	50	33	50	13	37
50	50	2	58	57	58	49	37	2	18	2	50	22
51	18	62	1	10	1	25	40	61	44	61	20	48
52	0	50	15	13	14	18	32	50	33	50	14	37
53	50	0	62	60	61	52	40	1	21	1	53	25
54	15	62	0	10	1	25	40	61	44	61	20	48
55	13	60	10	0	10	15	29	58	41	58	10	37
56	14	61	1	10	0	39	61	44	61	20	47	86
57	18	52	25	15	25	0	21	52	35	52	7	31
58	32	40	40	29	39	21	0	41	24	41	21	17
59	50	1	61	58	61	52	41	0	20	1	53	25
60	33	21	44	41	44	35	24	20	0	25	45	17
61	50	1	61	58	61	52	41	1	25	0	53	25
62	14	53	20	10	20	7	21	53	45	53	0	30
63	37	25	48	37	47	31	17	25	17	25	30	0
64	75	25	86	83	86	77	56	25	40	25	76	38
65	28	43	35	25	35	18	11	43	34	43	18	25
66	50	1	61	58	61	52	41	1	25	1	51	23
67	50	1	61	57	61	51	40	1	25	1	51	23
68	30	34	37	27	37	20	6	34	26	34	20	16
69	45	4	56	53	56	47	36	4	21	4	46	19
70	27	39	34	23	34	17	6	39	31	39	17	21
71	32	40	40	29	39	21	2	40	32	40	23	22
72	36	29	44	33	43	27	13	29	21	29	27	11
73	42	29	49	39	49	32	18	29	21	29	32	11
74	7	57	19	18	18	23	36	57	48	57	20	39

EK – 3 (Devam): Müşteriler Arasındaki Ulaşım Zamanı (dk) Matrisi

Müşteri No	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
37	15	40	3	2	31	1	36	37	26	26	54
38	42	21	27	27	12	23	17	18	7	7	43
39	77	17	52	51	19	47	15	21	25	30	21
40	60	18	45	44	15	40	16	15	22	28	32
41	81	22	55	55	24	51	20	26	30	36	13
42	9	37	5	5	28	1	33	34	23	23	51
43	65	19	39	39	18	34	18	18	25	29	26
44	52	10	37	37	1	32	6	7	9	14	36
45	42	21	27	27	12	22	17	18	7	7	43
46	56	15	36	36	6	32	11	12	8	14	41
47	15	40	2	2	31	1	36	37	26	26	54
48	76	16	51	51	18	46	15	21	25	30	23
49	76	27	50	50	29	46	26	31	35	41	22
50	15	40	2	2	31	1	36	37	26	26	54
51	86	35	61	61	37	56	34	40	44	49	19
52	75	28	50	50	30	45	27	32	36	42	7
53	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
54	86	35	61	61	37	56	34	40	44	49	19
55	83	25	58	57	27	53	23	29	33	39	18
56	35	61	61	37	56	34	39	43	49	18	0
57	77	18	52	51	20	47	17	21	27	32	23
58	56	11	41	40	6	36	6	2	13	18	36
59	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
60	40	34	25	25	26	21	31	32	21	21	48
61	25	43	1	1	34	4	39	40	29	29	57
62	76	18	51	51	20	46	17	23	27	32	20
63	38	25	23	23	16	19	21	22	11	11	39
64	0	42	25	35	58	12	54	55	43	43	81
65	42	0	43	43	9	38	5	12	15	20	33
66	25	43	0	1	34	4	39	40	29	29	57
67	35	43	1	0	34	4	39	40	29	28	56
68	58	9	34	34	0	32	6	7	8	14	36
69	12	38	4	4	32	0	34	35	25	24	52
70	54	5	39	39	6	34	0	8	12	17	32
71	55	12	40	40	7	35	8	0	13	18	36
72	43	15	29	29	8	25	12	13	0	5	45
73	43	20	29	28	14	24	17	18	5	0	44
74	81	33	57	56	36	52	32	36	45	44	0

EK - 4 : Deneysel Tasarım Çalışması Anova Tablosu

ANOVA; Var.:SONUÇ; R-sqr=,9295; Adj:,89817					
Continue...		2**(3-0) design; MS Residual=4423,419 DV: SONUÇ			
Factor	SS	df	MS	F	p
Curvatr.	10470,	1	10470,5	2,3671	,141314
(1)ÇAPRAZL_	867156,	1	867156,4	196,0376	,000000
(2)F_SABİTİ	33755,	1	33755,3	7,6310	,012827
(3)POPULASY	46858,	1	46858,2	10,5932	,004399
1 by 2	60629,	1	60628,6	13,7063	,001631
1 by 3	17771,	1	17770,9	4,0174	,060314
2 by 3	11673,	1	11672,8	2,6389	,121659
1*2*3	1477,	1	1477,2	,3340	,570500
Error	79622,	18	4423,4		
Total SS	1129411,	26			

ÖZGEÇMİŞ

İlker Küçüköğlü, 12.09.1985 tarihinde İstanbul / Üsküdar'da doğmuştur. İlköğretimini 1999 yılında Bursa Setbaşı İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır ve ortaöğretimine Bursa Anadolu Lisesi'nde başlamıştır. 2002 yılında yatay geçiş yaparak ortaöğretimini Balıkesir Edremit Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. Lisans eğitimine 2004 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünde başlayarak 2008 yılında mezun olmuştur ve aynı yıl Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

TEŞEKKÜRLER

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Sayın Doç. Dr. Nursel ÖZTÜRK'e, tez çalışmamda uygulama imkanı sağlayan ve her türlü kolaylığı sağlayıp yardımcı olan Bursa Gıda Mühendisler Odası Başkanı Sayın Serkan DURMUŞ'a, değerli katkılarından dolayı arkadaşlarım Melek YARAŞIK ve Ayça YURTTAŞ'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan anne ve babama ve son olarak yüksek lisans eğitimim boyunca beni maddi açıdan destekleyen TÜBİTAK kurumuna teşekkürlerimi bir borç bilirim.