

**ESNEK ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE
BİR UYGULAMA**

Emrah AYDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Emrah AYDEMİR tarafından hazırlanan ESNEK ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ertan GÜNER

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Orhan TÜRKBEY

Üye : Doç. Dr. Salih ÇELEBİOĞLU

Üye : Doç. Dr. Ertan GÜNER

Tarih : 29/09/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Emrah AYDEMİR

**ESNEK ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE
BİR UYGULAMA
(Yüksek Lisans Tezi)**

Emrah AYDEMİR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006**

ÖZET

Araç rotalama maliyetleri, lojistik sistem içindeki taşıma ve dağıtım maliyetlerinin önemli bir parçasıdır. Tipik araç rotalama probleminin amacı, bir araç filosu için en küçük maliyetli rota kümesini tasarlamaktır. Her rota bir depodan üretilir ve talepleri bilinen bir müşteri kümesine hizmet sağladıktan sonra yine aynı depoda sonlanır. Zaman pencereli araç rotalama problemi ise, müşteri servisinin başlayacağı en erken ve en geç zamanların bir zaman aralığı ile tanımlandığı araç rotalama probleminin genelleştirilmiş bir halidir. Esnek zaman pencereli araç rotalama problemi (EZPARP) ise zaman pencerelerinin ceza değerleri ödenerek aşılabildiği zaman pencereli araç rotalama probleminin bir çeşididir.

Bu çalışmada esnek zaman pencereli araç rotalama problemi için bir amaç programlama yaklaşımı ile tam zamanında üretim sistemi uygulayan 42 tedarikçili büyük bir otomotiv fabrikasının tedarikçilerinden malzeme temin etmek için kullandığı araçların rotalanması üç farklı amacı sağlayacak şekilde EZARP olarak ele alınmış ve önerilen amaç programlama yaklaşımı ile optimal sonuç elde edilmiştir. Modelin amaçları; toplam işlem maliyetini en küçükmek,

tedarikçilerin zaman aralığı tercihlerini sağlamak, araç kapasitelerinin eksik kullanımını önlemektir.

Önerilen modeli çözmek için öncelikle mümkün rotaları bulan daha sonra bu rotalardan en iyiler kümesini seçen “saymayı takip eden optimizasyon yaklaşımı” sunulmuş ve uygulama problemi bu yöntem ile çözülmüştür. Mümkün rotaların üretilmesi ve üretilen rotaların filtrelenmesi için Visual Basic 6.0 programlama dili ile program kodlanmış ve elde edilen rotalar Lingo 8.0 optimizasyon yazılımına aktarılarak optimal çözüm elde edilmiştir.

Bu metodoloji kabul edilebilir hesaplama zamanında optimal sonuç vermektedir ve gerçek uygulamada orta büyüklükteki problemlerin çözümü için önerilmektedir.

Otomotiv fabrikasının mevcut rotaları ve optimum rotalar karşılaştırıldığında belirlenen üç amaca göre optimum rotalama ile %13,2 oranında iyileşme sağlayacağı gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Lojistik, araç rotalama problemi, zaman pencereleri
Sayfa Adedi : 68
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ertan GÜNER

**VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH SOFT TIME WINDOWS
AND A CASE STUDY**

(M.Sc. Thesis)

Emrah AYDEMİR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2006

ABSTRACT

The cost of routing vehicles represents an important component of many transportation and distribution costs in a logistics system. The typical vehicle routing problem involves in designing a set of minimum-cost routes for a fleet of vehicle. Each route originates and terminates at a single depot and serves a set of customer with known demands. The vehicle routing problem with time windows is a generalization of the vehicle routing problem where the service of a customer can begin within the time window defined by the earliest and the latest times when the customer will permit the start of service. The vehicle routing problem with soft time windows (VRPSTW) is a variation of vehicle routing problem with time windows in which time windows can be violated by paying appropriate penalties.

In this study an automotive factory which has 42 suppliers and implements just in time system has been considered and its routing problem with suppliers has been sold as VRPSTW and the optimal solution has been provided. Goals of the case study are minimizing total operational cost, satisfying time window preferences of suppliers and avoid underutilization of vehicles capacity.

For solving the problem first phase enumerates all feasible routes. Then to find best routes enumeration-followed-by-optimization approach has been represented and this approach has been implemented to case study. For enumerating feasible routes and for filtering them a programme has been coded with Visual Basic 6.0 and the feasible routes are solved by Lingo 8.0, an optimization software, to get the optimal solution.

This methodology is recommended for solving real-life medium-sized problems. It provides optimal solutions in a acceptable computational time.

Automotive factory's existing routes and the optimal routes are compared and at a ratio of % 13, 2 improvement has been provided.

Science Code	: 906.1.141
Key Words	: Logistics, vehicle routing problem, time windows
Page Number	: 68
Adviser	: Assoc. Prof. Dr. Ertan GÜNER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Doç. Dr. Ertan GÜNER'e, değerli katkılarından dolayı arkadaşlarım Musa DEMİRCİOĞLU, Fatih YİĞİT ve Özge Deniz YILDIRIM'a, benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. LOJİSTİK	3
2.1. Lojistik Kavramı	3
2.2. Bütünleşik Lojistik Kavramı	5
2.3. Lojistik İşlemleri	7
2.4. Lojistik Maliyetleri	10
2.5. Lojistik Performansı Elemanları	13
2.6. Lojistik Yönetimde Ulaştırmanın Önemi	14
3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ.....	17
3.1. Araç Rotalama Problemi Tanımı.....	17
3.2. Araç Rotalama Probleminin Temel Bileşenleri.....	19
3.3. ARP Optimizasyon Kriterleri ve Rotalama Kısıtları	20
3.4. Araç Rotalama Problemi Literatürü.....	21
3.4.1. Zaman pencereli araç rotalama problemi	21

	Sayfa
3.4.2. Esnek zaman pencereli araç rotalama problemi	23
3.5. Araç Rotalama Problemi ve Amaç Programlama	24
4. ESNEK ZAMAN PENCERELİ ARP'YE AMAÇ PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI	27
4.1. Model Formülasyonu	28
4.2. Çözüm Metodolojisi	36
4.2.1. Mümkün rotaların hesaplanması	38
4.2.2. Mümkün rotaların filtrelenmesi.....	41
5. UYGULAMA.....	43
5.1. Problemin Tanımı	43
5.2. Amaç Programlama İçin Amaçlar ve Amaçlar İçin Ceza Katsayılarının Belirlenmesi	47
5.3. Problemin Çözümü ve Sonuçları	48
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR	55
EKLER	58
EK-1 Tedarikçi çiftleri arasında uzaklıklar	59
EK-2 Tedarikçi çiftleri arasında uzaklıklar	60
EK-3 Tedarikçi çiftleri arası seyahat süreleri.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÇİZELGELER

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Tipik lojistik işlemleri.....	9
Çizelge 5.1 Araçların kalkış saatleri.....	43
Çizelge 5.2 Araç bilgileri çizelgesi.....	45
Çizelge 5.3 Otomotiv fabrikası tarafından mevcutta kullanılan rotalar.....	46
Çizelge 5.4 Amaç programlama modeli için ceza katsayıları.....	47
Çizelge 5.5. Elde edilen optimal rotalar.....	50

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil.2.1. Bütünleşik lojistik yönetimi.....	6

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
a_i	i müşterisine varış zamanı (servis başlangıcı)
c_k	k aracının faaliyete geçme maliyeti
c_{ij}^k	i'den j'ye seyahat maliyeti
e_i^h	i. müşterinin servisinin başlayabileceği en erken kesin zaman
e_i^s	i. müşterinin servisinin başlayabileceği en erken esnek zaman
l_i^h	i. müşterinin servisinin en geç kesin bitiş zamanı
l_i^s	i. müşterinin servisinin en geç esnek bitiş zamanı
M	Büyük bir sayı
p_i	i müşterisinden kalkış zamanı (servis bitışı)
p_1^k	k aracının merkez depodan kalkış zamanı
q_i	i. müşterinin talebi
s_i	i. müşterinin servis zamanı
s_i^f	i. müşterinin servis zamanı sabit terimi
s_i^v	i. müşterinin servis zamanı değişken terimi
t_{ij}	i'den j'ye (i,j) arkı boyunca olan seyahat zamanı
$t_{\max}$	sürücünün günlük olarak toplam çalışma zamanı

Simgeler**Açıklama** $\tilde{t}_{\max}$

sürücünün günlük olarak toplam sürüş zamanı

 U_k

k aracının sabit kapasitesi

 V

mümkün en büyük filo büyüklüğü

 x_{ij}^k

k aracı i'den j'ye düğümüne gidiyorsa 1, diğer durumlarda 0.

 z_k

eğer k aracı kullanılıyorsa 1, diğer durumlarda 0.

Kısaltmalar**Açıklama****AP**

Amaç Programlama

ARP

Araç Rotalama Problemi

EZPARP

Esnek Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

KA

Küme Ayırıştırma

KTAP

Karmaşık Tamsayılı Amaç Programlama

STO

Saymayı Takip Eden Optimizasyon

ZPARP

Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

1. GİRİŞ

Günümüzde üretim maliyetleri yaklaşık değerler arz etmektedir. Üretim maliyetlerinin yaklaşık olduğu bir ortamda rekabet edebilir olabilmek için, lojistik kullanılabilecek en önemli araçtır. Lojistik faaliyetler üzerinde yapılacak oynamalarla rakiplerin bir adım önünde olmak mümkün olabilmektedir. Böyle bir rekabet ortamında pazar payının arttırabilmesinin ve muhafazasının en önemli ayağı, düşük maliyetle girdi temini ve malların rekabet edebilir fiyatlarla ve zamanında piyasaya sunulmasını sağlayan lojistik faaliyetlerdir.

Lojistik sistemde, ulaştırma ve müşteriye verilen hizmet kalitesi arasında bir denge kurulmalıdır. Optimum ulaştırma dengesini kurmak lojistik yönetiminin temel amaçlarından biridir. Ulaştırmanın temel amacı ise; ürünleri, başlangıç noktasından istenilen noktaya zaman, finans ve çevresel kaynakları minimum düzeyde kullanarak ulaştırmaktır.

Lojistik problemlerine bakıldığında ulaştırmanın bir konusu olarak araç rotalama problemi (ARP) tüketim malzemelerinin perakendecilere ulaştırılması, satış otomatları ve telefonlardan paranın toplanması, yakıt dağıtımı gibi uygulamacıların sıklıkla karşılaştıkları jenerik bir modeldir.

Tipik araç rotalama probleminin amacı bir araç filosu için minimum maliyetli rota kümesini tasarlamaktır. Her rota bir depodan üretilir ve talepleri bilinen bir müşteri kümesine hizmet sağladıktan sonra yine aynı depoda sonlanır. Her müşteri bir araca atanmalı ve araca atanan müşterilerin toplam talebi o aracın kapasitesini aşmamalıdır. Araç rotalama problemine farklı kısıtlar eklenmesiyle problemin çözüm yöntemleri ve zorluğu değişmektedir.

Araç rotalama problemine her bir müşterinin servisinin başlayacağı en erken ve en geç zaman kısıtlarının eklenmesiyle problem zaman pencereli araç

rotalama problemine (ZPARP) dönüşür. Gerçek uygulamadaki problemlere bakıldığında ZPARP'nin akaryakıt dağıtımı, posta dağıtımı, tam zamanlı üretim için satıcı dağıtımı gibi problemlere daha uyumlu olduğu görülmektedir. Esnek zaman pencereli araç rotalama problemi (EZPARP) ise zaman pencerelerinin belirli cezalar ile ihmal edilebildiği ZPARP problemidir. Servisin en erken zamandan önce ya da en geç zamandan sonra başlaması durumunda tanımlanmış ceza fonksiyonları ile ceza değerleri hesaplanır.

Bu çalışmada orta büyüklükteki esnek ve kesin zaman pencereli heterojen araç filosuna ve çoklu amaçlara sahip dağıtım problemi incelenmiştir. Çalışmanın amacı amaç programlamayı ARP'yi modellemek için kullanarak, çok amaçlı gerçek uygulamalar için kabul edilebilir hesaplama zamanında optimum çözümü verecek bir yaklaşım sunmak ve bu yaklaşım ile 42 tedarikçili bir otomotiv fabrikasından, tedarikçilerine yapılan araç rotalama problemini gerçek veriler kullanarak çözmektir.

İkinci bölümde lojistik kavramı ele alınmış lojistik işlemleri, lojistik maliyetleri, lojistik performans elemanları ve lojistikte ulaştırmanın önemine değinilmiştir. Daha sonra araç rotalama problemi, literatürde yapılan çalışmalar anlatılmış ve çok amaçlı araç rotalama probleminin çözümünde kullanılacak amaç programlamaya değinilmiştir. Dördüncü bölümde ise çok amaçlı EZPARP için model önerisi sunulmuş ve bu modeli çözmek için kullanılacak metodoloji açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise bir otomotiv fabrikasının malzeme temini için tedarikçilerine gönderdiği araçların rotalanması problemi ele alınmış ve sunulan çözüm yöntemi sonrasında mevcut rotalama ile iyileştirmesi karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar yorumlanmış ve öneriler sunulmuştur.

2. LOJİSTİK

2.1 Lojistik Kavramı

Lojistik en genel tanımıyla bir ürünü kaynağından (tedarikçiler) nihai tüketicisine (müşteriler) ulaştırmak için gerekli tüm faaliyetler olarak tanımlanabilir. Bu faaliyetler tedarik zinciri olarak adlandırılan bir akış içinde gerçekleştirilir. Geleneksel tedarik zincirinin içinde ise tedarikçiler, üreticiler, toptancı/dağıtımıcılar, mağaza ve müşteriler yer almaktadır [1].

Lojistik ya da diğer bir deyişle fiziksel dağıtım konuları müşteri hizmetleri, stok kontrolü, koruyucu paketleme, sipariş işleme, işletme içinde ve dışarıya taşıma, depo yeri seçimi ve depolama gibi alanları kapsamaktadır. Lojistik yönetiminin temel amacı, ürün ve hizmetleri, tüketicilerin arzuladıkları yer, zaman ve koşullarda, en düşük maliyetle sunmak için gerekli tüm faaliyetleri yerine getirmektir [2].

İnsanlar ürün alırken sadece onların görünür özelliklerini almazlar. Bunun yanında paketleme, fiyat, servis, güvenilirlik gibi bazı görünmez özelliklerini de satın alırlar. Bu özelliklerden bazıları müşterilerin ürün seçiminde doğrudan etki eder. İşte lojistik tüm bu özellikleri sağlamakla alakalıdır[3]:

"Doğru zamanda, doğru yerde, doğru müşteriye doğru ürünü sunmak lojistiğin görevidir."

Dağıtım kanallarında, üretici firmanın kanal üyeleri ile ilişkilerinde önem vermesi gereken konulardan biri lojistik performanstır. Hem son kullanıcıya hem de aracılara zaman ve yer faydası sağlayan fiziksel dağıtım etkin pazarlamacılık anlayışının gereğidir [2].

Eğer siz talebi harekete geçirmek için bu rolü üstlenirseniz, lojistiğin rolünü tamamlamış olursunuz. Lojistik bir fonksiyonel işlem değildir, fakat bir

iskelettir; bir operasyonel fonksiyon değildir ancak bir planlama mekanizmasıdır; düşünmenin bir yoludur [3].

Ayrıca lojistik, dağıtıcılar, müşteriler ve dış tedarikçiler arasındaki eş zamanlılığı sağlayan yegane güçtür. Lojistik her ne kadar tedarik zinciri yönetimi ve toplam maliyet minimizasyonu açısından daha çok incelenirse de, bazen lojistik ürün-servis ilişkilerini de farklılaştırılabilir, üretim talebini iyileştirebilir ve şirket gelirlerini artırabilir. Bazı lojistik literatürlerinde müşteri servis seviyesinin ve pazar kazanç payının yüksekliği konusunda taşıma faaliyetlerinin kritik fonksiyon olduğu konusunda güçlü tezler vardır [4].

Lojistik düşüncesinin önemi diğer sistemlerin üstünde düşünülür. Ancak şirketteki hareket faaliyetinin sonuçlarının yaygınlığı tüm sistemle elde edilir. Bu nedenle pazarlama, üretim, dağıtım, finans ve satın alma yerine materyal akışı içindeki birbirinden habersiz çalışan tüm bölümlerin kendi lojistik aktivitelerini optimize etmeleri önerilir. Ancak lojistik tüm bu fonksiyonel birimlerin bir arada çalışmalarını önerir. Bu nedenle pazarlama birimi servisi düşük performansla karşılaşmamak için değişikliklere hazırlıklı olmalıdır veya üretim birimi değişikliklerin listesini hazırlamalıdır; nakliye birimi teslimatlarını daha sık hazırlamalıdır [3].

Lojistik Yönetimi Kurulu'nun (Council of Logistics Management) yaptığı lojistik tanım ise şu şekildedir [5]:

“Lojistik; hammaddelerin, üretilmekte olan maddelerin ve ürünlerin ve bunlarla ilgili bilgilerin ilk noktadan kullanım noktasına kadar, müşteri isteklerine uyması hedeflenerek akış ve stoklanmasının, maliyet unsuru göz önünde bulundurularak planlanması uygulanması ve kontrolünün sağlanmasıdır.”

Amerikan Üretim ve Envanter Kontrol Topluluğu (American Production and Inventory Control Society) sözlüğünde ise lojistiğin tanımı şu şekilde yapılmıştır [6]:

“Malzeme ve ürünün uygun yerde ve uygun miktarda eldesi, üretilmesi ve dağıtılması ile ilgili bilim ve sanat dalı.”

Lojistik Mühendisleri Birliği (Society of Logistics Engineers) ise şu tanıımı yapmaktadır [6]:

“Lojistik; mamullerin (veya sistemin) ömrü boyunca, verimli kaynak kullanımını sağlamak amacıyla, lojistik elemanlara gerekli ilginin sürekli gösterilmesi sonucu, herhangi bir anda gerekli müdahaleleri yaparak daha etkin kaynak harcaması yapılmasıdır. “

2.2 Bütünleşik Lojistik Kavramı

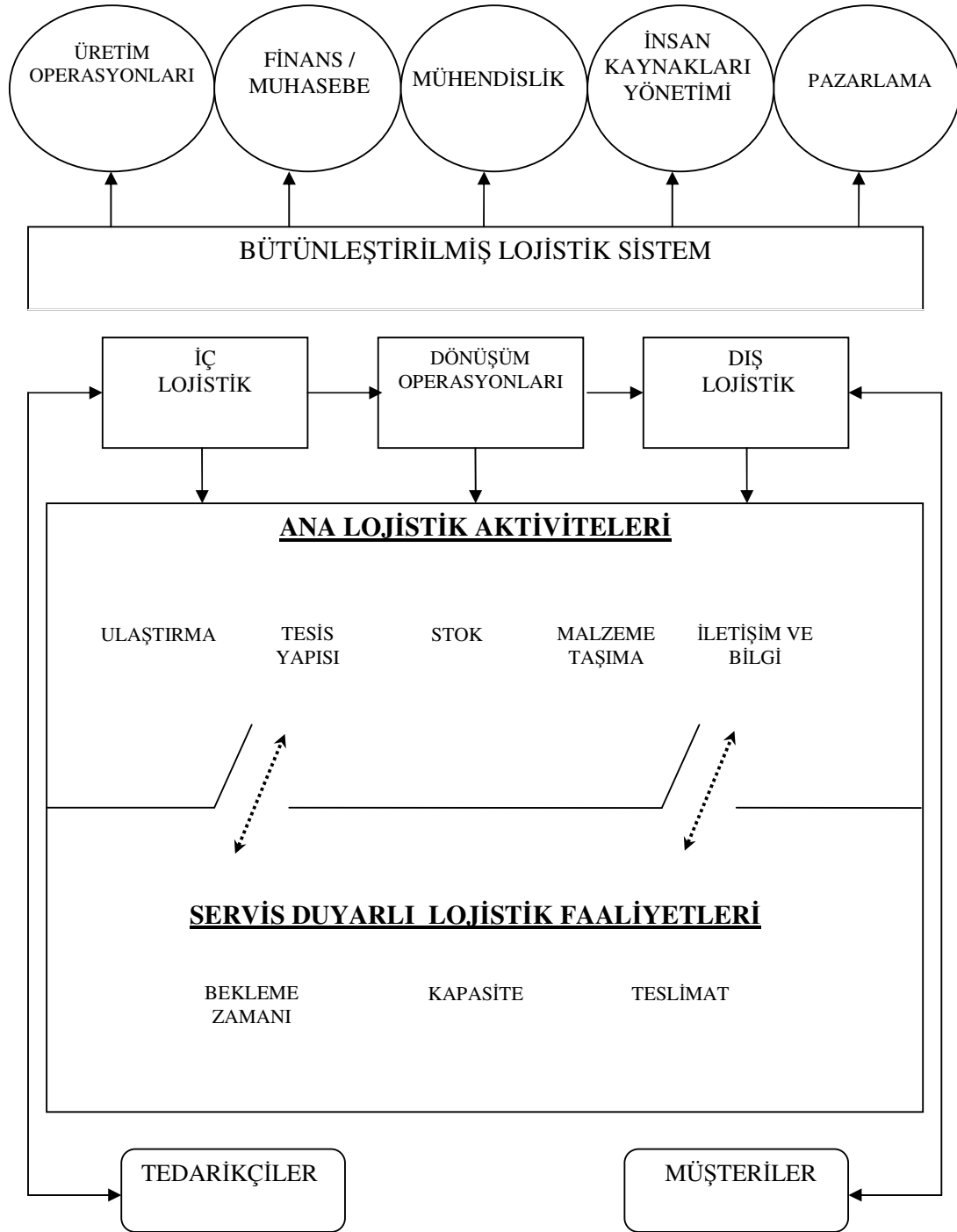
Bütünleşik lojistik şöyle tanımlanabilir [7]:

“Müşteri ihtiyaçları ve istekleri için gerekli sermaye, malzeme, işgücü, teknoloji ve bilgiden kazanım sağlayarak bu ihtiyaç ve istekler doğrultusunda hareket etme prosesidir; ürün veya hizmet üretim ağının optimize ederek müşteri ihtiyaçlarını karşılamak ve bu ağı müşteri ihtiyaçlarını zamanında karşılamak için kullanmaktır.”

Bütünleşik lojistik prosesi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Bütünleşik lojistik kavramı iki alt başlıktan oluşur: Lojistik operasyonlar ve lojistik koordinasyon.

Lojistik koordinasyon, gerekli taşımaların belirlenmesi ve tüm lojistik operasyonlarını bütünleşik eden planların oluşturulmasından sorumludur. Ürün ve pazar analizleri ve tahminleri, sipariş işleme, operasyonel planlama ve malzeme ihtiyaç planlama gibi konular lojistik koordinasyon kavramı kapsamındadır. Lojistik operasyonlar ise malzeme ve bitmiş ürün envanterinin yönetimi ve depolanmasıyla ilgilidir. Bu bağlamda fiziksel dağıtım operasyonları, malzeme yönetimi ve envanter yönetimi lojistik operasyonun kapsamındadır [8].



Şekil.2.1. Bütünleşik lojistik yönetimi [7]

2.3. Lojistik İşlemleri

Lojistik yönetiminin kapsadığı işlevleri başlıca 7 ana grupta toplamak mümkündür [10]: Talep tahmini, stok yönetimi, ulaştırma, depolama, ambalajlama, yer seçimi ve sipariş işleme.

Bunlara ilaveten, yedek parça ve servis desteği, iade mal işlemleri, hurda ve atık malların elden çıkarılması, teslim alma, işaretleme, etiketleme, lojistik iletişim ve üretim planlama da lojistik işlemleri arasında sayılabilir [10].

Talep Tahmini: Talep tahmini, lojistik planlama ve koordinasyon işlevlerinin yerine getirilmesinde gerekli bir araçtır. Genel olarak tahmin, belirli bir dönem içerisinde üretilmesi, sevk edilmesi veya satılması beklenen birim ürün sayısını ya da hacmini önceden öngörmektir. Lojistik anlamda ele alınırsa, tahmin, aylık ya da haftalık olarak, bir malın dağıtım merkezinden ne kadarının sevk edileceğinin önceden öngörülmesi şeklinde tanımlanır [9].

Stok Yönetimi: Lojistik yönetiminin merkezi stok bulundurmaktır. Ne miktarda stok bulundurulacağı, hangi niteliklerde ve ne sıklıkta stok yapılacağı verilmesi gereken kararlardan birkaçıdır. Stok seviyeleri müşteri servisi talep ettiği anda gerekli alana taşınabilmelidir ve envanter maliyetleri belirlenmelidir. Stok bulundurmak nakit paranın bağlaması ve ürünün modasının geçebilmesi ihtimallerini taşır. Yönetimin görevi müşteri servisinin karını belirleyip dengeyi sağlamaktır [10].

İletişim: Tüm fiziksel dağıtım aktiviteleri müşteri ve tedarikçi arasındaki iletişimle başlar. Lojistik bilgiyi buradan lojistik işlem sistemi, talep tahmini sistemi gibi bölümlere havale eder. İletişim destek sistemi olmadan lojistik sistemi müşteri servisinin kabul edebileceği maliyeti ve özellikleri asla tahmin edemez [11].

Ulaştırma: Lojistik konuları arasında, ürünlerin üretim yerinden müşterilere doğru taşınması ile ilgili konular en önemli karar noktalarından birini teşkil eder. Ulaştırma ile ilgili başlıca kararlar, ulaştırmanın hangi yol ile gerçekleştirileceği, taşıma rotasının belirlenmesi, sevkiyat işlemlerinin nasıl yapılacağı vb. konuları içermektedir [11].

Depolama: Stok bulundurmak depolara ihtiyaç doğurur. Depo, stok boyutu ve miktarıyla ilgilidir. Şirketlerin birçoğu bu depoları çok kısa dönemlerde birleştirirler ancak bu sorular uzun dönemlerde ortaya çıkar. Özellikle tesisatın büyümesi yada küçülmesinde bu sıklıkla görülür [10].

Ambalajlama: Ambalajlamanın temel amaçları ürüne koruma sağlamak, lojistik akış sürecinin tümünde ürünün kimliğinin tanınması ve ürünün etkin bir şekilde yaracağı yere ulaştırılmasıdır. Başlıca ambalajlama ilkelerini şu şekilde sıralamıştır: Amaca uygun olma, mamulü koruma, iş akışında rasyonellik sağlama, dağıtımı ve kullanımı kolaylaştırma, yeni gelişmelerden yararlanabilme ve gereksiz ambalajlama giderlerinden kaçınma [11].

Yer Secimi: Firmaların dağıtım kanallarını en etkin şekilde işletebilmeleri için vermeleri gereken kararların başında dağıtım depolarının hangi bölgelere yerleştirileceği gelmektedir. Hem üretimin yerinin hem de depoların stratejik yerleşimi müşterileri hizmetlerini arttırırken taşıma maliyetlerini de minimize eder. Yer seçiminde iki faktör göz önünde bulundurulmalıdır: Depolama ve malzeme taşıma maliyetleri ile depolardan müşterilere taşıma maliyetleri. İlk gruptaki maliyetler ölçek ekonomisine tabidir. Yani birim başına düşürüldüğünde hacim arttıkça maliyetler düşecektir [2].

Sipariş İşleme: Lojistik işlemlerinden bir diğeri olan sipariş işleme lojistik sürecinin başlangıç noktasıdır ve diğer lojistik faaliyetleri yönlendirir. Sipariş işlemenin hızı ve doğruluğu hem maliyetleri hem de müşteri hizmet seviyesini etkiler. Eğer sipariş işleme sistemi iyi değil ise işletme bu

yetersizliği ya fazla taşıma maliyeti yüklenerek ya da dağıtım merkezlerinin sayısını arttırarak kapatma yoluna gider [11].

Bazı lojistik işlemleri ve onları destekleyici aktiviteler Çizelge 2.1'deki gibi gösterilebilir:

Çizelge 2.1. Tipik lojistik işlemleri [12]

Anahtar İşlemler	Destek işlemleri
1.Taşımacılık	1. Depolama
a.Tarz ve servis seçimi	a. Boşlukların belirlenmesi
b.Nakliye programı	b. Stok beklemleri ve kısaltmaların tasarımı
c.Araçların programlanması	c. Stokları yerleştirme
2.Kayıtlar	d. Depoların Şekillendirilmesi
a. Bitmiş ürünlerin stoklanması	2. Malzemelerin işlenişi
b. Kayıtların saklanması	a. Ekipman seçimi
c. Satın almaların programlanması	b. Ekipman amortisman poliçeleri
d. Kısa dönemli satış tahminleri	c. Sipariş toplama işlemleri
3.Müşteri servisi	d. Stoklama, depolama ve düzenleme
a. Müşteri ihtiyaçlarını saptamak	3. Koruyucu paketleme
b. Müşteri servisinin yanıtının belirlenmesi	a. Elle tasarım
4. Sipariş işlemleri ve bilgi akışı	b. Depolama tasarımı
a. Satış siparişleri işlemleri	c. Koruyucu dizayn
b. Bilgi toplama, saklama ve kullanma	4. Üretim programlama
c. Bilgi analizi	a. Belirlenmiş toplam üretim miktarı
	b. Üretimin sıralanması ve zamanlanması

2.4. Lojistik Maliyetleri

Toplam maliyet yaklaşımının bileşenlerinden biri olan müşteri hizmeti maliyeti, kısa vadede kaybedilen satışlar ve karşılanmayan müşteri taleplerinin firmaya maliyeti olarak karşımıza çıkar. Müşteriyi kaybetmenin sadece o anda değil, gelecekte bazı maliyetlere neden olacağı açıktır. Bu maliyetlerin hesaplanmasının zorluğu nedeniyle toplam maliyet içindeki diğer bileşenler belirli bir hizmet düzeyinde minimize edilmeye çalışılmalıdır. Yöneticiler toplam maliyette karşılaştırmaya giderek, yaptıkları değişikliklerin müşteri hizmet düzeyinde ne gibi değişikliklere neden olduğunu artan satışlardan ya da gelen tepkilerden anlayabilirler.

Toplam maliyet yaklaşımı lojistik fonksiyonunun yerine getirilmesindeki en önemli analizlerden biridir. Yönetim lojistiğin içindeki faaliyetlere ait spesifik maliyetlerden çok, toplam maliyeti minimize etmek için çaba sarf etmelidir. Faaliyetleri teker teker düşürmek bu maliyetler arasındaki ilişkileri göz ardı etmek demektir. Yöneticiler faaliyetlerin maliyetlerini teker teker düşürmeye çalışırken, yükselen bir toplam maliyetle karşılaşabilirler. Örneğin, düşük tamamlanmış ürünlerin stoku, envanter taşıma ve depolama maliyetlerini azaltacaktır, fakat diğer taraftan taşıma maliyetlerinde yükselişe neden olduğu gibi düşen müşteri hizmet seviyesi sonucu satış hacmi de azalacaktır. Sonuç olarak yöneticiler maliyetlerle ilgili değerlendirmeler yaparken toplam maliyet yaklaşımını göz önünde bulundurmamak zorundadırlar [8].

Lojistik maliyetleri taşıma maliyetleri, depolama maliyetleri, sipariş işleme ve enformasyon maliyetleri, parti büyüklüğüne bağlı maliyetler ve envanter taşıma maliyetleri olarak gruplanabilir [8].

Taşıma Maliyetleri: 1960'larda geleneksel dağıtım metotları pahalılaşmaya başlamış ve yöneticiler bu maliyetleri denetim altına alma gereği duymuşlardır. Taşıma maliyetleri 1970'lerde artan petrol fiyatlarıyla daha da kritik bir hal almış, problemin çözülme gereği iyice artmıştır. Geçmişte

planlamacılar için sabit bir gider kalemi olan taşıma, artık değişken ve üzerinde düşünülmesi gereken bir kalem olmuştur. Taşıma maliyetleriyle ilişkili olan maliyetler şu şekilde elemanlara ayrılabilir:

- Firmaya doğru olan taşımalar
- Firma dışında olan taşımalar
- Satıcıya olan taşımalar
- Müşteriye olan taşımalar
- Taşıyıcıya olan taşımalar
- Ürünle ilgili taşımalar
- Dağıtım kanalında olan taşımalar

Lojistik sistemindeki değişiklikler toplam maliyette artışa neden olabilecek maliyetleri diğer maliyetlerden ayırt etmek için bu detaylandırma gereklidir. Eğer taşıma maliyetleri başka alt grupları da içeriyorsa bu gruplar listeye eklenmeli ve değerlendirilmelidir. Sıradan taşıyıcılar için örnek ürün akışlarının maliyetleri hesaplanarak ya da taşıma faturaları incelenerek ilgili maliyetler bulunabilir. Özel taşıma filoları içinse muhasebe kayıtlarından faydalanılabilir.

Depolama Maliyetleri: Depolama maliyetleri, depolama faaliyetlerindeki değişikliklere bağlı olarak artabilecek ya da elimine edilebilecek faaliyetlerdir. Çoğu çalışmada depolama maliyetlerini envanter taşıma maliyetleriyle birlikte değerlendirmektedir. Bu yaklaşım hatalıdır. Çünkü depolama maliyetleri envanter düzeyindeki değişimlerden etkilenmemektedir. Oysa ki dağıtım ağı içinde kullanılan depo sayısının envanter düzeyi ile ilgisi vardır.

Depolama maliyetleri genellikle sabit maliyetlerdir ve basamak fonksiyonu özelliği gösterirler. Bu sabit maliyetin elimine edilmesi için deponun kapatılması gerekmektedir. İşgücü ile ilgili olan maliyetler ise sabit ve değişken maliyet bileşenlerinin ikisine birden sahiptirler. Örneğin; bir deponun çalışması için depo şefi, ofis çalışanı, koruma görevlisi gibi çalışanlara ihtiyaç

vardır. Ancak depoya mal giriş ve çıkışlarındaki yoğunluk bu çalışanların fazla mesai yapmalarını gerektirebilir.

Sipariş İşleme ve Enformasyon Maliyetleri: Sipariş iletimi, sipariş girişi ve işlenmesi, ilgili taşıma maliyetleri ile iç ve dış iletişim masrafları bu grup altında incelenmektedirler. Yönetim bu maliyetler üzerinde dururken, maliyetlere katlanılarak elde edilen bilgilerin karar alma aşamasındaki önemini düşünölmelidir.

Parti Büyöklüğüne Bağlı Maliyetler: Üretime yada satın alma / tedarik maliyetlerine bağö olan ve lojistik sistemindeki değışiklikler sonucu değışecek olan maliyetlerdir. Üretimdeki parti büyüklüğüne bağö maliyetler şunlardır: hazırlık zamanı, kontrol, hazırlık esnasında ortaya çıkan ısıkarta, operasyona başlamadan dolayı verimli olamamaktadır.

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

Envanter Taşıma Maliyetleri: Envanter taşımanın getirdiğı maliyetlerin hesaplanması, kaybedilen satışların getirdiğı maliyetlerin hesaplanması kadar zordur. Bu maliyet grubunda sadece envanter seviyesindeki değışimlere bağö olarak değışen maliyetler düşünölmelidir. Bu maliyetler aşğıdaki maliyet kalemlerinden oluşabilir:

- Kapital maliyetleri; envantere bağlanan parayla firmanın yönelemediğı 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.

2.5. Lojistik Performansı Elemanları

Lojistik sistem performansını ölçmede kullanılan belli başlı ölçütler aşağıda tanımlanmıştır [8].

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 yada stoka ilgili ürünün gelmesinden itibaren sevkiyat kolaylaştırılıp hızlandırılmalıdır.

Sipariş Bilgisi: Sipariş bilgisi sistemin 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.

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.

Sevkiyat Hızı: Bu sevkiyatlar normal sipariş zamanını azaltmak amacıyla özel olarak ele alınan siparişlere ait sevkiyatlardır. 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.

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

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.

Ürün İkamesi: Sipariş edilen ürünün yerine müşteriye aynı ürünün başka büyüklükte olanının yada 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 kayıtların tutmalı ve böylece performansını takip etmelidir.

2.6. Lojistik Yönetimde Ulaştırmanın Önemi

Ulaştırma, yolcu veya yüklerin zaman ve mekan faydası kazandıracak şekilde yer değiştirmesini sağlayan bir hizmettir ve lojistik yönetiminin önemli bir fonksiyonudur. Ulaştırma şeklinin seçimi, rota seçimi, taşıyıcıların seçimi, taşıma sistemlerinin önceden belirlenmiş noktalarda kombinasyonu, dağıtım performansı, ürünlerin yerlerine ne zaman ulaşacağı gibi taşıma sistem

sorunları, müşteri tatmini ve lojistik maliyetler üzerinde etkili olan unsurların tümünü etkilemektedir.

Lojistik sistemde, ulaştırma ve müşteriye verilen hizmet kalitesi arasında bir denge kurulmalıdır. Optimum ulaştırma dengesini kurmak lojistik yönetiminin temel amaçlarından biridir.

Ulaştırmanın temel amacı ise; ürünleri, başlangıç noktasından istenilen noktaya zaman, finans ve çevresel kaynakları minimum düzeyde kullanarak ulaştırmaktır.

Ulaştırma üretim noktalarını, işletmeleri ve pazarı bir arada tutar. Alıcıyla satıcıyı birbirine bağlar ve işletme birimleri arasında koordinasyonu sağlar.

Lojistik sistem açısından, taşıma hizmeti oluşturulmasına yönelik olarak dikkat edilecek hususlar üç temel faktör etrafında toplanır. Bunlar; taşımanın maliyeti, taşımanın hızı ve taşıma hizmetinin uyumudur.

Taşıma maliyetleri, iki nokta arasındaki mal aktarımına ödenen gerçek bedele ek olarak transit mal teslimleriyle ilgili harcamalardan (yükleme-boşaltma, gümrük, sevkiyat vb.) oluşmaktadır. Lojistik sistemin amacı, toplam sistem maliyetleri içinde taşıma giderlerini en aza indirebilecek tasarımı oluşturmaktır.

Taşıma hizmetinin hızı, iki yerleşim yeri arasındaki fiziksel mal hareketinin tamamlanması için gerekli olan zamanı ifade etmektedir. Hız ve maliyet iki şekilde bir biriyle ilişkilidir, öncelikle, taşıma uzmanları ne kadar hızlı hizmet sağlayabilirse, o kadar yüksek ücret talep edeceklerdir. İkinci olarak, verilen hizmetin hızı ne kadar fazla ise malzeme ve ürünler de o kadar kısa sürede ihtiyaç sahibine ulaştırılacaktır.

Taşıma hizmetinin uyumu, aynı yerleşim yerleri arasında mal hareket akışının zaman bakımından ayarlanmasını ifade eder. Taşıma işlevinin şu üç faktörünün lojistik sistemle çok yakın ilgisi bulunduğu her zaman göz önünde tutulmalıdır. Bunlardan ilki, tesis yerleşim yeri seçiminin, taşıma seçeneklerinin dağılımını sınırlayan ve tamamlanması gereken aktarma çabalarını saptayan bir zinciri yada yapıyı oluşturmuş olmasıdır. İkincisi, taşımanın toplam maliyetinin, iki yerleşim yeri arasındaki mal hareketlerini yerine getiren taşıyıcının talep ettiği nakliye bedelinden daha fazlasını kapsamasıdır. Üçüncüsü ise, verilen hizmet dağınık ve tutarsızsa lojistik sistem içinde taşıma kapasitesini tamamlamaya yönelik bütün çabaların boşa gidebileceğidir.

3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

3.1. Araç Rotalama Problemi Tanımı

Araç rotalama problemi (ARP) tüketim malzemelerinin perakendecilere ulaştırılması, satış otomatları ve telefonlardan paranın toplanması, yakıtların hanelere dağıtımı gibi uygulamacıların sıklıkla karşılaştıkları jenerik bir modeldir. Araç rotalama problemi gezgin satıcı probleminin genelleştirilmiş bir haldir [13].

Tipik araç rotalama probleminin amacı bir araç filosu için minimum maliyetli rota kümesini tasarlamaktır. Her rota bir depodan üretilir ve talepleri bilinen bir müşteri kümesine hizmet sağladıktan sonra yine aynı depoda sonlanır. Her müşteri bir araca atanmalı ve araca atanan müşterilerin toplam talebi o aracın kapasitesini aşmamalıdır. Araç kapasitelerinin tüm müşteri taleplerinin en büyüğünden daha büyük olduğu varsayılarak her bir araca bir veya birden fazla müşterinin atanması sağlanır [14].

Klasik ARP problemi şöyle tanımlanabilir. $G = (V, A)$ bir şebeke olsun. $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ bir düğüm kümesi ve $A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i < j\}$ ark kümesi olsun. Düğüm v_0 depoyu ifade ederken geri kalan düğümler müşterileri ifade eder. A ise maliyet matrisi (c_{ij}) ve seyahat zaman matrisi (t_{ij}) ile ilişkilidir. Eğer bu matrisler simetrik ise ARP'yi yönsüz şebeke $G = (V, E)$ olarak tanımlayabiliriz. Buradaki $A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i < j\}$ olarak tanımlanan bir ayrıt kümesidir. Her müşterinin negatif olmayan bir talebi q_i ve servis zamanı t_i vardır. m adet özdeş araçtan oluşan ve u kapasitesine sahip bir filo depoda konumlanmıştır. Araç sayısı belirli ve bilinmekte veya bir karar değişkeni olarak ifade edilebilmektedir. ARP, her rotanın depoda başladığı ve bittiği, her müşteriye kesin olarak bir araç tarafından ulaşıldığı, her rotaya ait toplam talebin u 'yu geçmediği, her rotaya ait ulaşım ve servis zamanlarını içeren sürenin toplam zaman limiti D 'yi aşmadığı ve toplam rota maliyetini minimize eden, m teslim ya da toplama rotasından oluşan kümeyi tasarlamayı içerir [15].

Yaygın bir farklılık her müşteri ziyareti için bir zaman aralığı $[a_i, b_i]$ tanımlanmasıdır. Bunun dışında da farklılıklar üzerinde çalışmalar yapılmıştır: araç filosu heterojen olabilir, araçlar aynı rota üzerinde hem toplama hem de dağıtım yapabilir, bazı araçlar bazı bölgeleri ziyaretinde engeller olabilir, bazı müşteriler için verilen zaman aralığında birden fazla ziyaret gerçekleştirmek gerekebilir, dağıtımlar bazı araçlar arasında bölünebilir [15].

Araç rotalama problemi için temel model aşağıdaki gibi ifade edilebilir [13]:

Parametreler:

K : Araç sayısı

Q : Düğüm kümesi

d_i : i. Müşterinin talebi

c_{ij} : i'den j'ye seyahat maliyeti

u: araç kapasitesi

i : müşteri indisi

Değişkenler:

x_{ij}^k : k aracı i'den j'ye gidiyorsa 1, diğer durumda 0.

y_{ij} : i'den j'ye bir araç gitmesi durumunda 1, diğer durumda 0.

Matematiksel Model:

$$\min \sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}^k \quad (3.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{1 \leq k \leq K} x_{ij}^k = y_{ij} \quad (3.2)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq n} y_{ij} = 1 \quad \text{tüm } i = 2, 3, \dots, n, \quad (3.3)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq n} y_{ij} = 1 \quad \text{tüm } j = 2, 3, \dots, n, \quad (3.4)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq n} y_{1j} = K \quad (3.5)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq n} y_{i1} = K \quad (3.6)$$

$$\sum_{2 \leq i \leq n} \sum_{1 \leq j \leq n} d_i x^k_{ij} \leq u \quad \text{tüm } k = 1, 2, \dots, K, \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in Q} y_{ij} \leq |Q| - 1 \quad \text{tüm } Q \text{ alt kümeleri için } \{2, 3, \dots, n\}, \quad (3.8)$$

$$y_{ij} = 0-1 \quad \text{tüm } (i, j) \in A \quad (3.9)$$

$$x^k_{ij} = 0-1 \quad \text{tüm } (i, j) \in A \text{ ve } k = 1, 2, \dots, K. \quad (3.10)$$

3.2. Araç Rotalama Probleminin Temel Bileşenleri

ARP'nin temel bileşenlerini talep yapısı, taşınacak malzemenin tipi, dağıtım/toplama noktaları ve araç filosu oluşturur [16].

Talep Yapısı: ARP 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. Tehlikeli maddeler, gıda maddeleri, gazete dağıtımı, çöp toplama bütün bunlar 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 ARP'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 ARP'ye dönüşür. Araç bir depodan çıkıp başka bir depoda yükleme/boşaltma yapabilir. Bu durumda problem bir bütün olarak ele alınmalıdır.

Araç Filosu: Tüm ARP'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.

3.3. ARP Optimizasyon Kriterleri ve Rotalama Kısıtları

ARP optimizasyon kriterlerinden en yaygın olanları aşağıda sıralanmıştır.

1. Toplam işlem maliyeti,
2. Rota sayısı,
3. Toplam rota uzunluğu,

4. Rota süresi,
5. Müşteri memnuniyeti,
6. Yük dengeleme,

Bu kriterler uygulama problemlerine göre farklılık göstermektedir [16].

ARP'nin kapasite kısıtları dışında uygulama problemlerinde karşımıza çıkan yan kısıtları vardır. Bu kısıtlar rotalama kısıtları olarak adlandırılabilir. Genel olarak bu kısıtlar;

1. Bir rotadaki dağıtım/toplama noktaları üst sınırı,
2. Rota uzunluğu üst sınırı,
3. Rota süresi üst sınırı,
4. Toplam zaman kısıtı,
5. Zaman aralığı kısıtı,
6. Düşümler arası öncelik kısıtı,
7. Zaman harcayan faktörler (yükleme/boşaltma),
8. Birden fazla depo olabilir.

3.4. Araç Rotalama Problemi Literatürü

3.4.1. Zaman pencereli araç rotalama problemi

ARP'nin kendisi NP-Zor bir problemdir ve araştırmacıların tecrübeleri zaman pencereli araç rotalama probleminin (ZPARP) temel olarak ARP'den daha zor bir problem olduğunu ortaya koymuştur. Savelsbergh [17], filo büyüklüğü sabit olduğunda ZPARP için mümkün çözümleri bulmanın bile NP-Zor yapıda olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı birçok çözüm yaklaşımı sezgisellerden oluşmaktadır. Solomon [18], ZPARP için tasarruf, zaman yönelimli en yakın komşu, ekleme ve zaman yönelimli tarama sezgisellerini içeren bir dizi

sezgisel sunmuştur. Sonuçlar sıralı zaman-uzay ekleme sezgiselinin maliyetçe etkin rotalar tasarlanmasında başarılı olduğunu göstermiştir. Solomon [18], ayrıca geliştirilen farklı prosedürlerin karşılaştırılabilmesi amacıyla bir karşılaştırma problemleri kümesi oluşturmuştur.

Baker ve Schaffer [19], sezgisel olarak oluşturulmuş başlangıç çözümlerine uygulanan prosedürlerle rota geliştirme üzerine hesaplamalı bir çalışma yapmışlardır. Sonuçlar bu tip geliştirmelerin yüksek hesaplama çabası gerektirdiğini ortaya koymuştur. Van Landeghem [20], ZPARP için iki kriterli bir sezgisel tanımlamış, mekansal ve zamansal konular arasındaki etkileşimin ZPARP'nin dinamiklerini anlamayı güçleştirdiğini ve bundan dolayı iyi sezgiseller tasarlamak için daha zor olduğunu belirtmiştir.

Kolen ve arkadaşları [21], ZPARP için dal-sınır stratejisine dayalı bir optimal algoritma sunmuşlardır. Ancak çözülen en büyük problem dar zaman pencereli 4 araçlı 14 müşterili olmuştur.

ZPARP küme ayrıştırma (set partitioning) problemi olarak tanımlanmış ve sütun türetme (column generation) yaklaşımları problemin değişik türleri için sunulmuştur. Desroches ve arkadaşları [22], ZPARP'nin küme örtme (set covering) tipindeki formülasyonu için dal-sınırı kullanan yeni bir optimizasyon algoritması geliştirmiştir. Modelin LP gevşetmesi (LP relaxation) sütun türetme yöntemi ile çözülmüş ve zaman pencereli ve kapasite kısıtlı en kısa yol problemi mümkün sütunlar eklemek için çözülmüştür. Daha sonra Dumas ve arkadaşları [23], zaman pencereli toplama ve dağıtım problemini çözmek için benzer bir yaklaşım kullanmışlardır.

Fisher ve arkadaşları [24], ZPARP'nin optimal çözümü için iki yöntem tanımlamışlardır. İlki zaman pencereli k-ağaç gevşetmesi (k-tree relaxation) temellidir. Diğerisi ise kısmi atama (semi-assignment) problemini çözer ve bunu zaman pencereli ve kapasite kısıtlı en kısa yol problemi takip eder. Her iki metotla da karşılaştırma problemleriyle optimal çözümler elde edilmiştir.

3.4.2. Esnek zaman pencereli araç rotalama problemi

Sexton ve Choi [25], tek araçlı toplama ve dağıtım rotalama problemi üzerinde durmuştur. Bu çalışmada her yükün kendi orijini ve varış yeri vardır. Toplam araç işlem zamanının ve zaman penceresinin sağlanamaması durumunda toplam müşteri cezalarının doğrusal kombinasyonunu Bender ayrıştırması yöntemi ile en küçüklemeye çalışmışlardır.

Min [26], tek araçlı kütüphane dağıtım sistemini günlük faaliyetlerin başladığı ve bittiği tek depo ile ele almıştır. Modelleme prosesine müşterilerin belirli zaman pencereleri tercihlerini dahil etmiş ve problemi çözmek için bir hedef yaklaşımı önermiştir. Amaçlar toplam seyahat zamanını ve zaman pencere tercihlerinden sapmaları en küçüklemeektir.

Koskosidis ve arkadaşları [27], esnek zaman pencereli araç rotalama problemi (EZPARP) için bir sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu sezgisel yaklaşımda araçlara müşterileri atamak için genelleştirilmiş atama problemi ile rotalama ve çizelgelemeden oluşan bir dizi problem esnek zaman aralığı kısıtlı gezgin satıcı problemi olarak tanımlanmış ve bu iki yaklaşım arasında döngüsel bir yapı oluşturulmuştur.

Balakrishnan [14], homojen filolu EZPARP için en yakın komşu, Clarke-Wright tasarrufu ve uzay-zaman kurallarını esas alan üç sezgisel önermiştir. Zaman pencerelerini, aşmanın maliyeti zaman pencerelerindeki sapmaların doğrusal bir fonksiyonu olarak ele alınmıştır.

Taillard ve arkadaşları [28], EZPARP için zaman penceresinde hizmet sunmamanın toplam ceza puanı ve toplam seyahat mesafesini en küçükleyen bir tabu arama sezgiseli önermişlerdir.

Fagerholt [29], esnek zaman pencereli çok-gemili (multi-ship) toplama ve dağıtım problemi ile ilgilenmiş ve müşterilere zaman pencereleri dışında hizmet vermenin yarattığı uygunsuzluk maliyetleri de probleme dahil edilmiştir. Taşıma maliyetleri ve uygunsuzluk maliyetleri toplamını en küçükleyecek şekilde, değişkenleri mümkün çizelgeler olan küme ayrıştırma problemi ile çözülmüştür.

3.5. Araç Rotalama Problemi ve Amaç Programlama

Birçok doğrusal optimizasyon modeli tek bir amaçla ifade edilen amaç fonksiyonuna sahiptir. Doğrusal programlamanın tek amaçlı karakteristik modeller için uygulanabilmesi gerçek hayatta kullanımını kısıtlamaktadır. “Gerçek hayat” birçok çok amaçlı problem içermektedir. Örneğin kamuda yöneticiler, kamu bütçelerini sağlık, eğitim, savunma gibi birçok amaca yönelik olarak dağıtmak durumundadırlar. Birçok problem sadece çok amaçlı değil aynı zamanda birbiriyle çatışan amaçlara sahiptir. Bu tip problemleri çözmek için geliştirilen yaklaşımlardan biri matematiksel programlama tekniği olan doğrusal amaç programlama tekniğidir. Doğrusal amaç programlama, çok amaçlı ve çelişen amaçlı doğrusal programlama problemlerini çözebilen, doğrusal programlamanın genişletilmiş halidir [30].

Amaç programlama modelinin üç farklı amaç fonksiyonu çeşidi vardır. Bunlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\min Z = \sum_{i=1}^n d_i^- + d_i^+ \quad (3.11)$$

$$\min Z = \sum_{i=1}^n P_k (d_i^- + d_i^+) \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (3.12)$$

$$\min Z = \sum_{i=1}^n w_{kn} P_k (d_i^- + d_i^+) \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (3.13)$$

Eş. 3.11'de Z, tüm negatif sapmalar d_i^- ve tüm pozitif sapmalar d_i^+ 'nin , n amaç kısıtına göre toplam değerinin en küçüklenmesini ifade eder. Bu amaç fonksiyonu problemde sapma değişkenleri önceliklerle veya ağırlıklandırma ile ayrılmadığında kullanılır. Eş. 3.12, K adet amaç P_k öncelikleriyle sıralandığında kullanılır. Bu tip amaç fonksiyonu amaçların sıralanması gerektiğinde kullanılır, ancak sapma değişkenleri her öncelik seviyesi için eşit öneme sahiptir. Eş. 3.13'de amaçlar sıralanmış ve her öncelik seviyesi için sapma değişkenleri w_{kn} ağırlıkları kullanılarak ayrıştırılmıştır.

Hedeften sapmalara göre de amaçlar üç'e ayrılabilir [31]:

1. Alt-tek taraflı amaç: Altına düşülmek istenmeyen bir alt sınır oluşturur.
2. Üst-tek taraflı amaç: Aşılmak istenmeyen bir üst sınır oluşturur.
3. Çift taraflı amaç: Belirli bir hedef oluşturarak her iki tarafa da geçiş istenmez.

Amaç programlamanın formülasyonu için 6 basamaktan oluşan aşağıdaki genel prosedür önerilmektedir [30]:

1. Karar değişkenlerini tanımla
2. Amaç kısıtlarını belirle: Bu aşamada temel olan sağ taraf değişkenini ilk olarak tanımlamak ve daha sonra kısıtın içereceği karar değişkenleri ve uygun teknolojik katsayılar belirlenir.
3. Öncelikleri belirle: problemin durumuna göre amaçlar sıralanır veya derecelendirilir. Sıralama veya derecelendirme gereksinimi yoksa bir sonraki adıma geçilir.

4. Ağırlıkları belirle: Her amaç seviyesi için önceliklere ve derecelendirmeye göre ağırlıklar belirlenir.
5. Amaç fonksiyonunu oluştur: Bu aşamada önemli olan doğru sapma değişkenlerini seçmektir. İkinci olarak da eğer gerekiyorsa önceliklendirmeyi ve ağırlıklandırmayı yapmaktır.
6. Negatif olmayan değişkenleri ifade et.

Uygulamadaki dağıtım problemlerinde başka amaçların olabileceğini vurgulamak gerekir. Toplam seyahat uzaklığını/zamanını veya toplam dağıtım maliyetlerini en küçüklemenin dışında müşterilerin hizmet için uygun oldukları gün içerisindeki zamanı içeren müşteri önceliklerini karşılarken işgücünün veya araç kapasitesinin eksik kullanımını engellemek gibi farklı amaçlar olabilir. Bu çok amaçlı ARP olarak ifade edilebilir. Geçmiş yıllarda çok amaçlı programlama problemi ile ilgilenen metodolojilerin geliştirilmesi için büyük çaba sarf edilmiştir. Bunların içerisinde en yaygın olanı amaç programlama (AP) yaklaşımıdır [32]. Amaç programlama amaçları sağlamayı, yani amaçlara en yakın olan çözümü aramayı esas alır. Bunu sağlamak için her amaç için kabul edilebilir bir başarı seviyesini gösteren bir hedef seviyesi saptanır. Sayısal olarak ilgili hedefi geçen ya da altında kalan miktarı gösterecek sapma değişkenleri tanımlanır. Genellikle AP modelleri iki kategoriye ayrılabilir [32]. Ağırlıklandırılmış amaç programlamada, karar vericinin değerlendirmesini etkileyecek, hedef seviyeden sapmalara ağırlıklar atanır. Böylece toplam ceza en küçüklenmiş olur. Önceliklendirilmiş amaç programlamada ise öncelikler amaçlara atanır. Daha sonra hedefler öncelik sırasına göre tek bir zamanda en küçüklenir. Her başarılı en küçüklemelerde, yüksek öncelikli optimum değerler sağlanır ve sonraki en küçüklemelerde bu değerler kullanılır.

4. ESNEK ZAMAN PENCERELİ ARP'YE AMAÇ PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

Uygulamadaki dağıtım problemlerinde farklı amaçlar ortaya çıkmaktadır. Toplam seyahat uzaklığını/zamanını veya toplam dağıtım maliyetlerini en küçüklemenin dışında müşterilerin hizmet için uygun oldukları gün içerisindeki zamanı içeren müşteri önceliklerini karşılarken işgücünün veya araç kapasitesinin eksik kullanımını engellemek gibi farklı amaçlar olabilir.

Bu çalışmada orta büyüklükteki esnek ve kesin zaman pencereli heterojen araç filosuna ve çoklu amaçlara sahip dağıtım problemi incelenmiştir. Çalışmanın amacı amaç programlamayı ARP'yi modellemek için kullanarak ve gerçek uygulamaları kabul edilebilir hesaplama zamanında optimum çözümü verecek bir yaklaşım sunmaktır. Çoklu amaçların ve özel kısıtların ARP'ye eklenmesi modeli karmaşıklığa katmakta ve standart optimizasyon yazılımları ile çözümünü zaman açısından zorlaştırmaktadır. Ancak diğer taraftan bu özellikler, ilk bakışta pek etkin görünmeyen çözüm prosedürleri bulmak için kullanılabilir. Bunu göz önünde bulundurarak nihai amaç programlama modelini genel amaçlı bir yazılımla doğrudan çözmemek önerilmektedir. Bunun yerine saymayı takip eden optimizasyon (STO) (enumeration-followed-by-optimization) yaklaşımı adı verilen iki aşamalı bir yaklaşım uygulanmaktadır. Bu prosedür ilk olarak tüm mümkün rotaları ve bunların hedeflerden sapmalarını hesaplar. İkinci aşamada önceki aşamada amaçlara göre elde edilen rotalardan küme ayrıştırma (KA) (set partitioning) probleminin çözümü ile en iyi rota kümesi seçilir. Benzer bir yaklaşım esnek zaman pencereli çok-gemili toplama ve dağıtım probleminde kullanılmıştır [33]. Bu yaklaşım aynı zamanda gerçek bir gıda bileşimi dağıtım probleminde optimal çözümü elde etmek için kullanılmıştır [34]. Araçların özel karakteristikleri mümkün rota sayısını azaltmaktadır. Bu iki çalışmada da belirtildiği gibi prosedürün etkinliği ilgilenecek mümkün rota sayısına bağlıdır.

4.1. Model Formülasyonu

Problem tek bir merkezi depodan coğrafi olarak birbirinden ayrılmış müşterilere ürünlerin günlük olarak dağıtımı olarak ele alınmıştır. Amaç müşterilere hizmet sunacak rotaları tasarlamak, bir başka deyişle her aracın rotasındaki noktasının düzenlenmiş sırasını ve her müşteri noktası için varış ve kalkış zamanlarını belirlemektir. $G = [N, A]$ yönlü bir şebeke olsun. $N = \{1, \dots, n\}$ düğüm kümesi (her biri merkezi depoyu ve müşteri noktasını ifade eder) ve $A = \{(i,j): i,j \in N\}$ yönlü ark kümesi (her biri bir doğrudan bağlantıyı ifade eder) olsun. Birinci indis merkezi depoyu, 2'den n'e kadar olanlar ise müşterileri ifade eder. Rotalar çizelgelenirken müşteri taleplerinin bilindiği varsayılır. q_i , i. müşterinin talebini ifade etsin. i müşterisi için ayrıca bir de s_i servis zamanına ihtiyaç vardır. Genellikle servis zamanı, sabit terim s_i^f ve değişken terim s_i^v ile ifade edilen talebin doğrusal bir fonksiyonudur. Dolayısıyla $s_i = s_i(q_i) = s_i^f + s_i^v(q_i)$.

Yasal kısıtlamalar veya müşteri ihtiyaçlarından dolayı, her müşteri teslimatı önceden belirlenmiş zaman penceresinde başlar ve biter. $[e_i^h, l_i^h]$, i müşterisi ile ilgili kesin zaman penceresi olsun. Alt sınır e_i^h , i müşterisi için servisin başlayabileceği en erken zamanı ifade eder. Benzer şekilde üst sınır l_i^h ise i. müşterinin servisinin en geç bitiş zamanını ifade eder. Kesin zaman aralığına ek olarak müşterinin servis için tercih ettiği gün içindeki periyodunu ortaya koyan esnek zaman penceresi $[e_i^s, l_i^s]$ tanımlanır. Bu durumda $e_i^h \leq e_i^s$ ve $l_i^s \leq l_i^h$ olur.

Merkez depo ve her müşteri yeri arasındaki ve her müşteri çifti arasındaki seyahat zamanı bilinmektedir. t_{ij} , i düğümünden j düğümüne (i,j) arki boyunca olan seyahat zamanını ifade etsin. Teslimatın müşteri yerine ulaşıldığı anda başladığı ve aracın teslimat tamamlandığında müşteriden ayrıldığı (servis bir kez başladığında, tamamlanıncaya kadar devam eder)

varsayılmıştır. Böylece araçlar müşteri yerine erken ulaştıklarında servise başlamak için beklemlerine izin verilmez.

Heterojen bir araç filosu olabilir. Araçlar merkez depoya yerleştirilmişlerdir, böylece merkez depodan yola çıkıp tekrar merkez depoya dönmeleri gerekmektedir. Her tipte ve sayıda araç kullanılabilir, herhangi bir kısıtlama yoktur. Ancak modeli formüle etmede kolaylık sağlaması açısından mümkün en büyük filo büyüklüğü V ile gösterilmiştir. Geçekte kullanılacak araç sayısı bu modelin değişkenlerinden biridir. U_k , k aracının sabit kapasitesini gösterebilir. U_k 'nin en az bir müşteri atanabilecek şekilde olduğu varsayılmaktadır. Belirli bir rotadaki müşterilerin toplam talepleri, o rotaya atanan aracın kapasitesini aşamayacağından, araçların aşırı yüklenmeyeceği varsayılmıştır. Ayrıca teslimatlar araçlar arasında bölünemez, yani her müşteriye sadece bir araç tarafından servis yapılabilir. k aracıyla ilgili c_k ve c_{ij}^k sırasıyla faaliyete geçme maliyeti ve i 'den j 'ye seyahat maliyeti olsun. Bu durumda aynı tipteki araçlar için kapasite ve maliyetler eşit olacaktır.

Calvete ve arkadaşları [35], modeli formüle etmek için aşağıdaki parametreleri ve değişkenleri tanımlamışlardır:

Parametreler;

a_i : i müşterisine varış zamanı (servis başlangıcı)

c_k : k aracının faaliyete geçme maliyeti

c_{ij}^k : k aracı ile i 'den j 'ye seyahat maliyeti

e_i^h : i müşterisi için servisin başlayabileceği en erken kesin zaman

e_i^s : i müşterisi için servisin başlayabileceği en erken esnek zaman

l_i^h : i . müşterinin servisinin en geç kesin bitiş zamanı

l_i^s : i . müşterinin servisinin en geç esnek bitiş zamanı

M : Büyük bir sayı

p_i : i müşterisinden kalkış zamanı (servis bitişi)

p_1^k : k aracının merkez depodan kalkış zamanı

q_i : i. müşterinin talebi

s_i : i. müşterinin servis zamanı

s_i^f : i. müşterinin servis zamanı sabit terimi

s_i^v : i. müşterinin servis zamanı değişken terimi

t_{ij} : i düğümünden j düğümüne (i,j) arka boyunca olan seyahat zamanı

$t_{\max}$: iş yasalarına göre bir sürücünün günlük olarak toplam çalışma zamanı

$\tilde{t}_{\max}$: iş yasalarına göre bir sürücünün günlük olarak toplam sürüş zamanı

U_k : k aracının sabit kapasitesi

V : mümkün en büyük filo büyüklüğü

$\ddot{W}, \hat{W}_i, \tilde{W}_i, \dot{W}_k$ ve $\tilde{\dot{W}}_k$: her bir hedeften bir birim sapmanın cezasını ifade eder

Değişkenler;

$\hat{g}^+, \hat{g}_i^+, \tilde{g}_i^+$: pozitif sapma değişkenleridir

$\hat{g}_i^-, \tilde{g}_i^-, \hat{g}_k^-, \tilde{g}_k^-$: negatif sapma değişkenleridir

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{Eğer k aracı doğrudan i düğümünden j düğümüne} \\ & \text{gidiyorsa} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad i, j \in A.$$

$$z_k = \begin{cases} 1 & \text{Eğer k aracı kullanılıyorsa} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad k = 1, \dots, V$$

Birçok dağıtım firmasında, araçlar ve sürücüler depodan ayrılmak için günün herhangi bir anını beklemezler. Genellikle bir aracın atanmış rotasına

başlayacağı kesikli kalkış zamanı kümesi bulunur. Notasyonu basitleştirmek açısından, tüm araçların aynı mümkün kalkış zamanı kümesine, $\{d_1, \dots, d_m\}$, sahip oldukları varsayılmaktadır. Dolayısıyla $p^k_1 \in \{d_1, \dots, d_m\}$, $k = 1, \dots, V$. Teslimat araç varır varmaz başladığından, $p_i = a_i + s_i$, $i = 2, \dots, n$.

Klasik kesin zaman pencereli araç rotalama probleminde tek amaç toplam işlem zamanını kesin zaman penceresi kısıtlarını sağlayacak şekilde en küçükmektir. Ancak yöneticiler maliyet dışında farklı amaçları da gözetirler. Bunlar müşterinin gün içinde istediği zaman aralığında servis tercihlerini karşılayan ve işgücü ve araç kapasitesinin eksik kullanımını önlemek gibi diğer amaçlar olabilir. Dolayısıyla amaç programlama modelini formüle etmek için şu amaçlar belirlenmiştir:

- Amaç 1: Toplam işlem maliyetini en küçükmek
- Amaç 2: Müşterilerin zaman aralığı tercihlerini sağlamak (esnek zaman pencereleri)
- Amaç 3: Araç kapasitelerinin eksik kullanımını önlemek
- Amaç 4: İşgücünün boş kullanımını önlemek

ve her bir amaç için kabul edilebilir başarı seviyelerini ifade eden hedef seviyelerini tespit etmektir. Z teslimatın toplam işlem maliyetinin alt sınırı olsun. Bu değer, örneğin klasik ARP'nin yani tüm zaman penceresi kısıtlarının çıkarıldığı ve sadece işlem zamanlarının en küçüklendiği problemin çözülmesiyle elde edilebilir. $t_{\max}$ bir sürücünün günlük olarak toplam çalışma zamanını gösterebilir. $\tilde{t}_{\max}$ ise bir sürücünün günlük olarak toplam sürüş zamanını gösterebilir.

Yukarıda belirtilen kısıtlar doğrultusunda EZPARP için amaç programlama modeli aşağıdaki gibi olacaktır [35].

$$\min \ddot{W}\ddot{g}^+ + \sum_{i=2}^n \hat{W}_i \hat{g}_i^- + \sum_{i=2}^n \tilde{W}_i \tilde{g}_i^+ + \sum_{k=1}^V \dot{W}_k \dot{g}_k^- + \sum_{k=1}^V \tilde{\dot{W}}_k \tilde{\dot{g}}_k^- \quad (4.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^V \sum_{(i,j) \in \mathcal{A}} c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k=1}^V c_k z_k - \ddot{g}^+ = Z, \quad (4.2)$$

$$p_i + \hat{g}_i^- - \hat{g}_i^+ = e_i^s + s_i, \quad i = 2, \dots, n, \quad (4.3)$$

$$p_i + \tilde{g}_i^- - \tilde{g}_i^+ = l_i^s, \quad i = 2, \dots, n, \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=2}^n q_i \sum_{j=1}^n x_{ij}^k - U_k z_k + \dot{g}_k^- = 0, \quad k = 1, \dots, V, \quad (4.5)$$

$$\sum_{(i,j) \in \mathcal{A}} (s_i + t_{ij}) x_{ij}^k - t_{\max} z_k + \tilde{g}_k^- = 0, \quad k = 1, \dots, V, \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^V x_{ij}^k = 1, \quad j = 2, \dots, n, \quad (4.7)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^V x_{ji}^k = 1, \quad j = 2, \dots, n, \quad (4.8)$$

$$x_{ij}^k - z_k \leq 0, \quad (i, j) \in \mathcal{A}; k = 1, \dots, V, \quad (4.9)$$

$$z_k - \sum_{(i,j) \in \mathcal{A}} x_{ij}^k \leq 0, \quad k = 1, \dots, V, \quad (4.10)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j}^k \leq 1, \quad k = 1, \dots, V, \quad (4.11)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{i1}^k \leq 1, \quad k = 1, \dots, V, \quad (4.12)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k - \sum_{i=1}^n x_{ji}^k = 0, \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, V, \quad (4.13)$$

$$p_j - p_1^k + (1 - x_{1j}^k)M \geq s_j + t_{1j}, \quad j = 2, \dots, n; k = 1, \dots, V, \quad (4.14)$$

$$p_j - p_1^k - (1 - x_{1j}^k)M \leq s_j + t_{1j}, \quad j = 2, \dots, n; k = 1, \dots, V, \quad (4.15)$$

$$p_j - p_i + (1 - x_{ij}^k)M \geq s_j + t_{ij}, \quad i, j = 2, \dots, n; k = 1, \dots, V, \quad (4.16)$$

$$p_j - p_i - (1 - x_{ij}^k)M \leq s_j + t_{ij}, \quad i, j = 2, \dots, n; k = 1, \dots, V, \quad (4.17)$$

$$p_i \geq e_i^h + s_i, \quad i = 2, \dots, n, \quad (4.18)$$

$$p_i \leq l_i^h, \quad i = 2, \dots, n, \quad (4.19)$$

$$\sum_{(i,j) \in \mathcal{A}} t_{ij} x_{ij}^k \leq \tilde{t}_{\max}, \quad k = 1, \dots, V, \quad (4.20)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad z_k \in \{0,1\}, \quad i, j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, V, \quad (4.21)$$

$$p_1^k \in \{d_1, \dots, d_m\}, \quad k = 1, \dots, V, \quad (4.22)$$

$$p_i \geq 0, \quad i = 2, \dots, n, \quad (4.23)$$

$$\ddot{g}_i^+, \hat{g}_i^-, \hat{g}_i^+, \tilde{g}_i^-, \tilde{g}_i^+, \dot{g}_k^-, \tilde{g}_k^- \geq 0, \quad i = 2, \dots, n; k = 1, \dots, V, \quad (4.24)$$

M büyük bir sayı; $\ddot{g}^+$, $\hat{g}_i^+$ ve $\tilde{g}_i^+$ karşılık geldikleri hedefleri sayısal olarak aştıkları miktarı gösteren pozitif sapma değişkenleridir; $\hat{g}_i^-$, $\tilde{g}_i^-$, $\dot{g}_k^-$ ve $\check{g}_k^-$ karşılık geldikleri hedeflerin sayısal olarak altında kalan miktarı gösteren negatif sapma değişkenleridir. Son olarak $\ddot{W}$, $\hat{W}_i$, $\tilde{W}_i$, $\dot{W}_k$ ve $\check{W}_k$ her bir hedeften bir birim sapmanın cezasını ifade eder. Yani bağlı oldukları amacın önemini ifade eden birbirleriyle ilişkili ağırlıklardır.

Eş. 4.2, birinci amacı işaret eder. Z'nin toplam maliyetin alt sınırı olduğu göz önünde bulundurularak sadece pozitif sapma değişkeni $\ddot{g}^+$ dahil edilmiş ve amaç fonksiyonunda $\ddot{W}$ ile ağırlıklandırılmıştır. Benzer şekilde başka bir hedef maliyet kullanılabilir, ancak bu durumda hem pozitif hem de negatif sapma değişkenleri modele dahil edilmelidir.

Eş. 4.3, ikinci amacı işaret eder. i müşterisine varış zamanını, $a_i = p_i - s_i$, gösterir ve müşterinin varış zamanı tercihinin, e_i^s , altında veya üstünde bir değer alabilir. Benzer bir ifade Eş. 4.4. için ve kalkış zamanları için de söylenebilir. Amaç fonksiyonunda ağırlıklar varış zamanının altında kalmamak ve kalkış zamanının üzerine çıkmamak için atanmıştır. Yani en erken varış zamanından, e_i^s , daha erken ulaşırsa, ya da tercih edilen en geç zamandan, l_i^s , daha geç ayrılırsa ceza atanacağını gösterir.

Eş. 4.5, üçüncü amacı formüle etmemizi sağlar. $\sum_{i=2}^n q_i \sum_{j=1}^n x_{ij}^k$; k aracına tahsis edilmiş toplam yükü ifade eder. Benzer şekilde, Eş. 4.6, dördüncü amaçla ilgilidir. $s_1=0$ olduğunu varsayarak, $\sum_{(i,j) \in \mathcal{A}} (s_i + t_{ij}) x_{ij}^k$; k aracındaki sürücünün toplam günlük çalışma zamanını verir. Kapasite U_k ve günlük maksimum çalışma zamanı $t_{\max}$ 'in aşılamayacağı varsayımıyla sadece pozitif sapma değişkenleri konulmuştur. Eğer U_k veya $t_{\max}$ aşılabılırsa hem pozitif hem de

negatif sapma değişkenleri kullanılmalı ve amaç fonksiyonuna göre ağırlıklandırılmalıdır.

Geriye kalan kısıtlar ARP'nin temel özelliklerini ortaya koymayı sağlayan kesin kısıtlardır. Eş. 4.7 ve Eş. 4.8, j müşterisine sadece bir aracın gitmesini ve gelmesini sağlar. Eş. 4.9 ve Eş. 4.10 ise sadece kullanılan araçları etkinleştirir. Eş. 4.11 ve Eş. 4.12 ise tüm araçların depodan ayrılmasını ve tekrar depoya dönmelerini sağlar. Eş. 4.13 her aracın rotasının devamını sağlayan tipik akış korunum denklemdir. Eş. 4.14'ten Eş. 4.17'ye kadar olan kısıtlar her araç için çizelgenin mümkünlüğünü garanti eder. Eş. 4.18 ve Eş. 4.19 müşterilerin kesin zaman pencerelerini karşılarlar. Son olarak Eş. 4.20 maksimum sürüş zamanının aşılmamasını sağlar.

Ortaya çıkan model karmaşık tamsayılı amaç programlama (KTAP) problemidir ve olağan tekniklerle çözülebilir. Bununla birlikte, problemin çözülmesi için gerekli hesaplama büyük ölçüde zamanı 0-1 değişkenlerinin sayısına bağlıdır ve pratik açıdan bakıldığında çok küçük boyuttaki modellerin haricindekilerin çözümü mümkün değildir. Tüm araçlar özdeş olduğunda hangi aracın (i,j) bağlantısı boyunca gittiğini tanımlama gerekliliği olmadığından model basitleştirilebilir. Böylece sadece i den j bir aracın gidip gitmediğini gösteren, x_{ij} , 0-1 değişkenini tanımlamak yeterli olacağından, 0-1 değişkenlerinin sayısı azalır. Bu azalma problemin daha çok müşteri ile çözülebilmesini sağlar. Bu modelin daha basitleştirilmiş şekli üzerinde yapılan bir çalışmada kabul edilebilir bir hesaplama zamanında standart optimizasyon yazılımlarıyla 12 müşteriye kadar olan küçük boyutlu modeller için optimal çözümün elde edileceği ifade edilmiştir. Ayrıca müşteri sayısının artmasıyla birlikte optimal çözümü elde etmek için gerekli hesaplama zamanı çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu nedenle modelin gerçek sistemlerde kullanılması çok uygun görünmemektedir.

4.2. Çözüm Metodolojisi

Karmaşık Tamsayılı Amaç Programlama (KTAP) modeli, 0-1 değişkenlerinin, x_{ij}^k , değerlerini bularak araçları ve düğümler arasındaki bağlantıları belirler. Rota kümesi ile ilgilenildiğinden problem düğümler arasındaki bağlantılar yerine rotaları (ilgili aracıyla birlikte) göz önünde bulunduran terimlerle yeniden formüle edilebilir. İlk bakışta bu metodoloji öncelikle bütün mümkün rota kümesinin hesaplanmasını gerektirdiğinden çok etkin görünmeyebilir. Öncelikle mümkün rota sayısı çok büyük görülebilir ve problemi çözmek için son çare olarak bu kümenin sayımı yapılacağı izlenimi doğabilir. Bununla birlikte problemin çözümü için sayma takipli optimizasyon metodolojisinin seçilmesinde temel sebep birçok orta büyüklükteki gerçek ZPARP'ye bakıldığında düğümler arasındaki uzaklıklar, kesin zaman penceresi kısıtları, işgücü ve seyahat düzenlemeleri ve araç kapasitelerine bağlı olarak birçok rotanın mümkün çözüm kümesinde olmadığı görülebilir ancak durumu KTAP modelinde ifade etmek imkansızdır. Diğer taraftan problemin daha gerçekçi tanımı ile daha karmaşık bir KTAP modeli ortaya çıkarır, ancak genellikle daha az mümkün rotalar oluşur.

Bundan dolayı ele alınan EZPARP'yi çözmek için iki aşamadan oluşan Saymayı Takip Eden Optimizasyon (STO) metodolojisi önerilmektedir. İlk aşama tüm mümkün rotaları hesaplar. Zaman pencereleri olmasından dolayı, bir rota hangi müşterilerin ziyaret edildiğini, hangi sırayla ziyaret edildiğini, hangi aracın kullanıldığını ve aracın merkez depodan kalkış zamanını tanımlayabilir. Ayrıca amaç programlama yaklaşımına göre her mümkün R rotası için hedeften sapmadan dolayı alınan cezalar, F_R , hesaplanır.

Metodolojinin ikinci aşaması R mümkün rotalar kümesinden en iyi alt kümeleri seçer. Bunu sağlamak için her $R \in \mathcal{R}$ için aşağıdaki 0-1 değişkenleri tanımlanır:

$$X_R = \begin{cases} 1 & \text{eğer } R \text{ seçilirse,} \\ 0 & \text{diğer durumda.} \end{cases}$$

Dolayısıyla, teslimat için kullanılacak rotaları belirlemek amacıyla aşağıdaki küme ayrıştırma problemi çözülür.

Küme ayrıştırma problemi:

$$\min \sum_{R \in \mathfrak{R}} F_R X_R \quad (4.25)$$

Kısıtlar

$$\sum_{R \in \mathfrak{R}} A_{Ri} X_R = 1, \quad i = 2, \dots, n, \quad (4.26)$$

$$X_R \in \{0,1\} \quad \forall R \in \mathfrak{R}, \quad (4.27)$$

bu durumda,

$$A_{Ri} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } R, i. \text{ müşteriye uğruyorsa,} \\ 0 & \text{diğer durumda.} \end{cases}$$

Eş. 4.25, tüm müşterilerin yalnızca bir kez ziyaret edilmesini garanti eder. Küme ayrıştırma probleminde genellikle KTAP probleminden daha fazla değişken olacağına dikkat edilmelidir (her mümkün rota için bir değişken). Ancak kısıt sayısı daha az olacaktır (her müşteri için bir kısıt). İlk izlenime rağmen yapılan deneylerde STO metodolojisinin iki aşamada da hesaplama zamanı açısından iyi sonuçlar verdiği ve orta büyüklükteki gerçek dağıtım problemleri için rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir.

4.2.1. Mümkmün rotaların hesaplanması

Bu aşamanın amacı depoyu ve müşterileri birbirine bağlayacak tüm yolları hesaplayarak mümkmün rotaları tanımlamaktır. Bir rota hangi müşterilerin ziyaret edildiği, hangi sırayla ziyaret edildikleri, hangi aracın kullanıldığı ve aracın merkez depodan kalkış zamanı bilgilerini içerir.

$\{1, i_2, i_3, \dots, i_h, 1\}$ bir R rotasındaki müşterilerin düzenlenmiş sırası olsun. Çalışma zamanı ile ilişkili olarak hangi aracın rotası olduğuna bakılmaksızın R rotasının mümkmün olabilmesi için Eş. 4.28 sağlanmalıdır. Benzer ifade Eş. 4.29 ve sürüş zamanı için de söylenebilir.

$$t_R = t_{1i_2} + s_{i_2} + t_{i_2i_3} + s_{i_3} + \dots + s_{i_h} + t_{i_h1} \leq t_{\max} \quad (4.28)$$

$$t_{1i_2} + t_{i_2i_3} + \dots + t_{i_h1} \leq \tilde{t}_{\max} \quad (4.29)$$

Bu iki kısıtı sağlamayan tüm rotalar mümkmün değildir, dolayısıyla reddedilir. Ayrıca dördüncü amaca göre $t_{\max} - t_R$ ifadesi R rotasındaki sürücünün kullanılmayan çalışma zamanını gösterir.

Mümkmün rotaların hesaplanmasında müşteri talepleri de büyük öneme sahiptir. Her rotaya bir araç atanacağından, o rotadaki müşterilerin toplam talepleri araç filosundaki en büyük aracın kapasitesini aşamaz. Yani mümkmün rotalar hesaplanırken Eş. 4.30 sağlanmalıdır.

$$Q_R = q_{i_2} + q_{i_3} + \dots + q_{i_h} \leq Q_{\max} \quad (4.30)$$

Zaman pencereleri göz önünde bulundurulduğunda kesin zaman aralığını sağlama ya da sağlamama olasılığı önemsizdir ve esnek zaman aralığından meydana gelen toplam sapmalar yalnızca aracın merkez depodan kalkış zamanına bağlıdır. $\{d_1, \dots, d_m\}$ ile ifade edilen kesikli kalkış zamanları

kümesi göz önünde bulundurulduğunda her $d_u \in \{d_1, \dots, d_m\}$ için müşteri $i_j \in R$ olmak üzere varış zamanı $a_{i_j}(d_u)$ ve kalkış zamanı $p_{i_j}(d_u)$ hesaplanır ve kesin zaman aralığı kısıtları kontrol edilir. Sonra bu kısıtları sağlayan birçok kalkış zamanı var ise depodan ayrılma zamanı d_R , esnek zaman aralığından meydana gelen sapmaları en küçükleyecek şekilde seçilir, yani aşağıdaki problemin çözümü ile elde edilir:

$$\min_{d_u} \sum_{j=2}^h \hat{W}_{i_j} \max\{0, e_{i_j}^s - a_{i_j}(d_u)\} + \sum_{j=2}^h \tilde{W}_{i_j} \max\{0, p_{i_j}(d_u) - l_{i_j}^s\} \quad (4.31)$$

Kısıtlar

$$a_{i_j}(d_u) \geq e_{i_j}^h, \quad j = 2, \dots, h, \quad (4.32)$$

$$p_{i_j}(d_u) \leq l_{i_j}^h, \quad j = 2, \dots, h. \quad (4.33)$$

Kalkış zamanı d_R 'ye karar verildikten sonra Eş. 4.34, ikinci amaca göre müşteri tercihlerinden ağırlıklandırılmış sapmayı ifade eder:

$$\sum_{j=2}^h \hat{W}_{i_j} \max\{0, e_{i_j}^s - a_{i_j}(d_R)\} + \sum_{j=2}^h \tilde{W}_{i_j} \max\{0, p_{i_j}(d_R) - l_{i_j}^s\} \quad (4.34)$$

Sırada R rotasında hangi aracın servis yapacağı kararlaştırılır. Aslında hangi tipteki aracın rotada servis yapacağına karar verilecektir. Aynı tipteki araçlar özdeş olduğundan, araçlar arasında ayırım yapmak gerekli değildir. Bu nedenle toplam yük ve araç kapasitesi ele alınır, yani rotadaki tüm müşterilere servis sunabilecek (müşteri yerinin karakteristiklerine bağlı olarak bazı araçların o bölgeye girişine izin verilmeyebilir) ve rotadaki toplam talebi taşıyabilecek araç tipleri değerlendirilir.

Varsayalım ki şu anda 3 tip araç var ve hepsi R rotasında kullanılabilir olsun. Notasyonu basitleştirmek açısından araç 1 birinci tip, araç 2 ikinci tip ve araç 3 üçüncü tip araçlar olsun. R'nin toplam yükü $Q_R = q_{i_2} + q_{i_3} + \dots + q_{i_h}$ Üç aracın hepsi de rotaya servis verebildiğinden, $Q_R \leq U_1$, $Q_R \leq U_2$ ve $Q_R \leq U_3$ olacaktır. Böylece $k = 1,2,3$ için $U_k - Q_R$ ifadesi k aracının eksik kapasite kullanımını ölçer.

$c_R(k)$; R rotasında k aracını kullanmanın maliyeti olsun. Yani,

$$c_R(k) = c_k + \sum_{(i,j) \in R} c_{ij}^k, \quad k = 1,2,3. \quad (4.35)$$

Amaç 1, toplam işlem maliyetini en küçükleme ve amaç 3 araç kapasitelerinin eksik kullanımından kaçınmak olduğuna göre, Eş. 4.36'da elde edilen en küçük k_R aracı seçilebilir.

$$\min_{k=1,2,3} \{W_{c_R}(k) + W_k(U_k - Q_R)\}, \quad (4.36)$$

Buradaki W rota maliyeti ile ilgili ceza için konulmuştur. Yani maliyet ve araç kapasitesi kullanımına göre R rotası için en ekonomik araç seçilmektedir. Bu yaklaşım işlem maliyetleri doğrudan en küçüklendiğinden doğrudan KTAP formülünde belirlenen hedef Z değerini hesaplamak için ARP problemini çözmekten kurtarır. STO yaklaşımının bir diğer avantajı da ikinci aşamadaki optimizasyon probleminin çözümünü etkilemeyeceğinden Eş. 4.35'deki ifadenin istenildiği kadar karmaşık ifade edilebilmesidir. Örneğin, işlem zamanını daha gerçekçi ifade edebilmek için üç terimin toplamı olarak hesaplanabilir: etkinleştirme maliyeti, gidilen uzaklıkla ilgili bir maliyet ve bir birim yük maliyeti ile hesaplanan toplam ürün yükü ve en küçük yükleme maliyeti arasından en büyük değeri hesaplayan bir yükleme maliyeti. Bu tip bir maliyet KTAP formülünü karmaşıktırabilir ancak STO yaklaşımı ile üstesinden gelinebilir.

Dolayısıyla birinci aşamanın bitmesiyle tüm mümkün rotalar kümesi R belirlenir. Her mümkün R rotası düzenlenmiş müşteri sırası $\{1, i_2, i_3, \dots, i_h, 1\}$, bir k_R aracı ve merkezi depo d_R kalkış zamanı ile ifade edilir. Bu rotalar KA probleminin değişkenleri olacaktır ve amaç fonksiyonu katsayıları Eş. 4.37'deki ifadeden elde edilir:

$$F_R = Wc_R(k_R) + \sum \hat{W}_{i_j} \max\{0, e_{i_j}^s - a_{i_j}(d_R)\} + \sum \tilde{W}_{i_j} \max\{0, p_{i_j}(d_R) + l_{i_j}^s\} \quad (4.37)$$

$$+ \dot{W}_{k_R}(U_{k_R} - Q_R) + \tilde{W}(t_{\max} - t_R).$$

4.2.2. Mümkün rotaların filtrelenmesi

Mümkün rota kümesi R 'yi veren ilk aşama tamamlandıktan sonra ikinci aşamada bir optimizasyon yazılımı ile Küme Ayırıştırma (KA) problemini çözmek gerekir. Bu amaçla büyük ihtimalle temel parametre olan değişken sayısı dikkate alınmalıdır. Bundan dolayı önerilen prosedürün etkinliği uğraşılacak mümkün rota sayısına bağlıdır. Bunları hesaplamak için gereken zamanın yanında bu rotaların değişkenler olduğu durumda Lingo'nun küme ayırıştırma yeteneğini ortaya koyar.

Bundan dolayı prosedür ek bir adımla geliştirilmiştir ve buna 'filtreleme' adı verilmiştir. Bunun amacı KA probleminde optimal rotalar kümesinde olmayacak rotaları eleyerek KA probleminin değişkenleri olarak elde edilen rota sayısını azaltmaktır. Elbette bu eleme sonrasında mümkün rotalardan umut vaat edenleri elememeyi garanti etmelidir. En kötü durumda hiçbir rota atılmayacaktır. Ancak genellikle bu adım KA problemi değişkenlerinde önemli bir azalmaya yol açacaktır.

Filtreleme adımının temeli Eş. 4.36'ya göre sadece en ekonomik düğümlerin altkümesini içeren mümkün rotalar kümesinden seçim yapmaktır. j_1, j_2 ve j_3

müşterileri ele alınsın. Bu düğümleri içeren mümkün rotaların $R_1 = 1 - j_2 - j_1 - j_3 - 1$, $R_2 = 1 - j_2 - j_3 - j_1 - 1$ ve $R_3 = 1 - j_3 - j_2 - j_1 - 1$ ve $F_{R_1} \leq F_{R_2} \leq F_{R_3}$ olduğu varsayılınsın. Eğer optimal çözümde bir araç j_1 , j_2 ve j_3 müşterilerini ziyaret edecekse seçilecek rotanın R_1 olacağı, daha az F maliyetinden dolayı açıktır. Bundan dolayı R_2 ve R_3 rotaları KA probleminin optimal çözümünü etkilemeden elenebilirler.

Genellikle, ilk aşamanın sonunda elde edilen R kümesinde filtreleme adımı her düğüm altkümesini içeren tüm rotaları analiz eder ve Eş. 4.36'ya göre en iyi permütasyonu seçer. Prosesin sonunda optimal çözüme aday olan tüm rotaları içeren yeni bir mümkün rota kümesi $\tilde{R}$ oluşturulur. Teslimat için kullanılacak rotaları belirlemek için, KA problemine benzer şekilde formüle edilen, küme ayrıştırma problemi $\tilde{K}\tilde{A}$ 'yı yeni mümkün rota kümesi R 'yi göz önünde bulundurarak çözmek yeterli olacaktır. Genellikle yeni problemin daha az değişkene sahip olacağı ve dolayısıyla çözümünün daha kolay olacağı unutulmamalıdır.

5. UYGULAMA

5.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada esnek zamanlı araç rotalama problemi incelenmiş olup uygulama bölümünde Tam Zamanında Üretim sistemiyle çalışan ve otomotiv sektöründe hizmet veren büyük bir otomotiv fabrikasının tedarikçilerinden malzeme temini için kullanılan araçların rotalanması incelenmiştir. Problemden bir merkez depo ve 42 tedarikçi bulunmaktadır.

Merkez depo otomobillerin üretiminin ve montajının yapıldığı otomotiv fabrikasıdır. Rotalanan araçlar boş olarak merkez depodan ayrılmakta rotalarındaki tedarikçilere uğrayarak önceden belirlenmiş miktarlarda malzemeyi temin etmektedirler. Rotalarındaki tüm tedarikçileri ziyaret ettikten sonra yine merkez depoya dönerek temin ettikleri malzemeleri boşaltırlar.

Rotalama günün belirli saatlerinde saat başlarında başlamaktadır. Araçların merkez depodan mümkün kalkış saatleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Araçların kalkış saatleri

Kalkış Saatleri (d_i)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
---------------------------------	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Talepler rotalama başlamadan önce bilinmektedir. Talepler merkez depo tarafından belirlenmekte ve tedarikçilere bildirilmektedir. Talepler malzeme cinsi ve malzeme miktarı olarak bellidir. Ayrıca rotalama için tüm tedarikçilere bildirilen talepler metreküp olarak hesaplanmaktadır. Böylece araçlara yapılacak olan yüklemler metreküp olarak belirlenmiş olur. Tedarikçilere ait talepler EK-1’de verilmiştir.

Tedarikçilerin belirli zaman aralığında yüklemeyi gerçekleştirecek işgücü kaynağını ve yükleme alanını hazır bulundurmaları için yüklemenin başlatılacağı ve bitirileceği esnek zaman pencereleri tedarikçilerin ve otomotiv fabrikasının ihtiyaçları doğrultusunda belirlenmiştir. Esnek zaman pencerelerinden 1 saatlik sapmaya izin veren kesin zaman pencereleri belirlenmiştir. Tedarikçilerin malzeme yükleme için belirledikleri zaman aralıkları EK-1'de verilmiştir

Merkez depodan tedarikçilere olan uzaklıklar ve her bir tedarikçi çifti arasında olan uzaklıklar ve bu uzaklıklarla orantılı olarak seyahat süreleri bilinmektedir. Tedarikçiler ile merkez depo arasındaki mesafe 230 km ile 320 km arasında değişmektedir. Tedarikçiler arası uzaklık ise 2 km ile 122 km arasında değişmektedir. Seyahat zamanları tedarikçiler arasındaki uzaklık ile orantılı olarak merkez depo ve tedarikçiler arasında 155 dakika ile 220 dakika arasında değişmektedir. Tedarikçiler arasındaki seyahat süreleri ise 5 dakika ile 85 dakika arasında değişmektedir. Tedarikçi çiftleri ve tedarikçilerin merkez depoya olan uzaklıkları km cinsinden EK-2'de verilmiştir. Tedarikçiler arası seyahat zamanları EK-3'de verilmiştir.

Rotalamada kullanılan araçlar heterojen bir yapıya sahiptir. Araçlar otomotiv fabrikasıyla birlikte çalışan lojistik çözüm ortağı tarafından sağlanmaktadır. Araçlar lojistik çözüm ortağı olan kuruluş tarafından kiralanarak temin edilmektedir. Bu nedenle maksimum filo büyüklüğü ile ilgili herhangi bir kısıt yoktur. İstenilen sayıda ve kapasitede araç temin edilmektedir. 4 farklı tip araç kullanılmaktadır. Araçların tiplerine göre kapasiteleri de değişmektedir. Her araç için bir sabit maliyet ve gidilen mesafeye göre değişken maliyet tanımlanmıştır. Araç kullanmanın toplam maliyeti, değişken maliyetin km olarak mesafe ile çarpımı ve buna aracı kullanmanın sabit maliyetinin eklenmesiyle hesaplanmış olur. Araç tipleri, kapasiteleri ve maliyetleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Araç bilgileri çizelgesi

ARAÇ ADI	KAPASİTE (m ³)	SABİT MALİYETLER (BİRİM)	KİLOMETRE BAŞINA DEĞİŞKEN MALİYETLER (BİRİM)
TIR	75	350	0,36
JUMBO	80	350	0,38
KAMYON	35	250	0,32
KAMYON RÖMORK	90	450	0,43

Bir aracın seyahat ile geçen toplam zamanı yasal kısıtlardan dolayı 480 dakika (8 saat) olarak sınırlandırılmıştır. Toplam çalışma zamanı yani seyahat zamanı ve tedarikçilere servis zamanı toplamı da yasal çalışma zamanı kısıtından ve araçların varış zamanlarının planlanmasından dolayı 600 dakika (10 saat) olarak sınırlandırılmıştır.

Tedarikçilerin servis zamanları taleplerle orantılıdır. Ancak bazı malzemelerin yükleme zamanı farklılık gösterdiğinden hacim olarak talebin düşük olmasına rağmen servis zamanı hacme oranla yüksek olabilmektedir.

Otomotiv firması zaman pencerelerini, talepleri ve seyahat zamanlarını dikkate alarak mevcutta Çizelge 5.3'de verilen rotaları kullanmaktadır. Mevcut rotalar otomotiv firmasına ait lojistik çözüm ortağı tarafından belirlenmiştir. Bu rotaların belirlenmesinde herhangi bir analitik yöntem kullanılmamıştır. Rotalar zaman pencerelerini, tedarikçi taleplerini, yasal çalışma sürelerini dikkate alarak oluşturulmuştur.

Çizelge 5.3 Otomotiv fabrikası tarafından mevcutta kullanılan rotalar

ROTA NO	ROTADA ZİYARET EDİLEN TEDARİKÇİLER	KULLANILAN ARAÇ TİPİ	ROTA CEZA DEĞERİ	ROTA BAŞLANGIÇ ZAMANI
1	15	JUMBO	570	7
2	21	TIR	560	5
3	25	TIR	577	5
4	40	JUMBO	626	13
5	5 - 10	KAMYON RÖMORK	678	7
6	8 - 9	KAMYON RÖMORK	700	8
7	26 - 23	JUMBO	602	10
8	24 - 29	KAMYON RÖMORK	729	7
9	30 - 32	TIR	580	8
10	37 - 33	JUMBO	618	7
11	16 – 13 - 7	KAMYON RÖMORK	717	10
12	17 – 19 - 28	TIR	641	6
13	12 – 20 - 31	KAMYON RÖMORK	787	6
14	35 – 38 - 2	KAMYON RÖMORK	875	8
15	42 - 22 - 4	TIR	602	11
16	41 – 39 - 34	TIR	656	5
17	6 – 11 – 14 - 18	KAMYON RÖMORK	804	8
18	3 – 43 – 27 - 36	TIR	620	6

5.2. Amaç Programlama İçin Amaçlar ve Amaçlar İçin Ceza Katsayılarının Belirlenmesi

Oluşturulan model için otomotiv fabrikasındaki lojistik yöneticileri ve lojistik çözüm ortağı yöneticileri tarafından amaçlar aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

Amaç 1: Toplam işlem maliyetini en küçükmek

Amaç 2: Tedarikçilerin zaman aralığı tercihlerini sağlamak (esnek zaman pencereleri)

Amaç 3: Araç kapasitelerinin eksik kullanımını önlemek

Bu amaçlara ait ceza katsayılarının belirlenmesinde birim maliyet yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım ile her bir amaç için meydana gelen bir birim sapmanın maliyeti ceza katsayısı olarak belirlenmiştir. Bu değerlendirme sonrasında amaçlara ait ceza katsayıları Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Amaç programlama modeli için ceza katsayıları

Ceza Katsayısı	Notasyon	Ceza Katsayısı Değeri
Toplam Operasyon Maliyeti	W	1
Zaman Aralığı Tercihi (Varış Zamanı)	$\hat{W}$	3
Zaman Aralığı Tercihi (Kalkış Zamanı)	$\tilde{W}$	3
Araç Kapasitesinin Eksik Kullanımı	$\dot{W}$	9

Toplam operasyon maliyeti rotaya gönderilen aracın sabit maliyeti ve kilometre başına değişken maliyetinin toplam sehayat uzaklığı ile çarpılması ile bulunur. Ceza katsayıları belirlenirken birim maliyetler dikkate alındığından toplam operasyon maliyeti için ceza katsayısı bir olarak alınmıştır. Yani ceza katsayısı bir olduğundan toplam operasyon maliyeti kadar ceza gelecektir.

Zaman aralığı tercihlerinin sağlanması hem tedarikçiler, hem otomotiv fabrikası hem de otomotiv fabrikasının lojistik çözüm ortağı açısından

önemlidir. Otomotiv fabrikası ve lojistik çözüm ortağındaki lojistik yöneticileri tarafından görünmeyen maliyetler göz önünde bulundurularak dakikalık gecikme başına varış zamanı ve başlangıç zamanı için birim maliyetin üç katı olarak tespit edilmiştir.

Araç kapasitesinin eksik kullanımı ise lojistik çözüm ortağı tarafından belirlenmiş olan 1 m³'lük hacmin ortalama taşıma maliyeti olarak hesaplanmıştır. Yani 1 m³'lük taşımanın ortalama maliyeti, 9 maliyet birim olarak hesaplanmış ve bu da ceza katsayısı olarak belirlenmiştir.

5.3. Problemin Çözümü ve Sonuçları

Problem, Bölüm 4.2.1 Mümkün rotaların hesaplanmasında anlatılan şekilde rotaların üretilmesi ve bu rotalar için araç tipinin, merkez depodan ayrılış zamanının belirlenmesi, ceza fonksiyonunun ve rotanın uğrayacağı tedarikçilerin hesaplanması için Visual Basic 6.0 ile program kodlanmıştır. Calvete ve arkadaşlarının [35], önermiş olduğu mümkün rotaların üretilmesi aşamasından farklı olarak mümkün rotaları oluştururken sadece toplam çalışma zamanı ve seyahat zamanı değil rotadaki tedarikçilerin taleplerinin sağlanıp sağlanamayacağını gösteren en büyük araç kapasitesi kısıtı konulmuştur. Yani mümkün rotalar hesaplanırken $Q_R = q_{i_2} + q_{i_3} + \dots + q_{i_h} \leq Q_{\max}$ kısıtı da “bir tedarikçiye yalnızca bir araç hizmet verebilir” varsayımı nedeniyle mutlaka sağlanmalıdır. Bu nedenle mümkün rotaları oluştururken en büyük araç kapasitesini dikkate almak daha az rotanın üretilmesini sağlayacak ve böylece problemin çözümü kolaylaşacaktır.

Kodlanan programdan elde edilen rota bilgileri ile Lingo 8.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak belirlenen hedefler için minimum ceza değerini veren optimum rota hesaplanmıştır. Otomotiv fabrikasının mevcut kullandığı rotaların ceza değeri 11942 olarak hesaplanmıştır. Optimal çözümde ise ceza değeri 10367 olarak hesaplanmıştır. Otomotiv fabrikasının mevcut kullandığı rotalar ile hesaplanan ceza değeri ile optimum ceza değeri

karşılaştırıldığında % 13,2 'lik iyileştirmenin sağlandığı gözlemlenmiştir. Rotalar günlük olarak tamamlandığından aylık ve yıllık planlama ufku düşünüldüğünde otomotiv fabrikası için önemli maliyet tasarrufları sağlanacaktır. Bunun dışında eksik kapasite kullanımı % 6 'dan % 0,07'ye inmiştir. Elde edilen optimal rotalar Çizelge 5.4. 'de verilmiştir. Tüm esnek zaman pencereleri sağlanmıştır. Bu nedenle optimal çözümde esnek zaman pencerelerini aşmaktan dolayı herhangi bir ceza alınmamıştır. Bu durum otomotiv fabrikasının maliyet tasarrufu sağlarken tam zamanında üretim sistemi için malzeme temini performansının istenen düzeyde tutmasını sağlamaktadır.

Programın hesaplama süresi literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında iyi sonuç vermektedir. Problemin çözümü için kullanılan programlar Pentium 4, 3 Ghz hızlı ve 512 Mb'lık belleğe sahip bilgisayarda çözülmüştür. Programın çözümü için ilk aşamada 62909 adet rota üretilmiş ve bu rotaların üretilmesi 48 saniye sürmüştür. Üretilen rotalar Bölüm 4.2.2 Mümkün rotaların filtrelenmesinde anlatıldığı şekilde filtreleme için Visual Basic 6.0'da ikinci bir program kodlanarak mümkün rotalar içinden aynı tedarikçileri kapsayanlardan en düşük ceza değerine sahip rotalar arasından eleme yapılmış elde edilen rota sayısı 62909 rotadan 10860 rotaya inmiştir. Rota sayısında % 82'lik bir azalma olmuştur. Filtreleme için kullanılan program ilk hesaplama için kullanılan programa göre daha fazla hesaplama zamanına ihtiyaç duymuş ve rotaların filtrelenmesi 259 saniye sürmüştür.

Mümkün rotaların hesaplanmasından sonra elde edilen rota verileri küme ayrıştırması probleminin çözülmesi için Lingo 8.0 optimizasyon yazılımına aktarılır. Rota sayısı çok olduğundan verilerin Lingo yazılımına aktarılması için belleği 256 Mb ve üzeri bilgisayarların kullanılması gerekmektedir. Aksi takdirde çözüm yapılamamaktadır. 62909 rota Lingo yazılımına aktarılmış ve Pentium 4, 3 Ghz hızlı ve 512 Mb'lık belleğe sahip bilgisayarda çözümü 62 saniye sürmüştür. Rotalara filtreleme işlemi uygulandıktan sonra yine küme ayrıştırma problemi Lingo 8.0 da çözülmüştür ve hesaplama zamanı 55

saniye olarak belirlenmiştir. Filtreleme işleminin mevcut uygulama problemi için hesaplama zamanı açısından herhangi bir katkısı olmadığı söylenebilir. Problemin çözüm aşamalarına bakıldığında en uzun hesaplama süresine rotaların filtrelenmesi aşaması sahiptir. Uygulama problemi, filtreleme aşaması uygulanmadan çözüldüğünde toplam hesaplama zamanının azaldığı görülmüştür.

Çizelge 5.5. Elde edilen optimal rotalar

ROTA NO	ROTADA ZİYARET EDİLEN TEDARİKÇİLER	KULLANILAN ARAÇ TİPİ	ROTA CEZA DEĞERİ	ROTA BAŞLANGIÇ ZAMANI
1	15	JUMBO	570	7
2	21	TIR	560	5
3	40	JUMBO	626	13
4	10 - 11	JUMBO	574	7
5	12 - 9	JUMBO	578	7
6	16 - 23	TIR	568	10
7	25 - 19	JUMBO	561	5
8	29 - 36	JUMBO	579	8
9	30 - 28	JUMBO	575	8
10	39 - 37	JUMBO	584	5
11	3 - 8 - 14	JUMBO	544	7
12	5 - 20 - 26	TIR	533	7
13	6 - 18 - 42	JUMBO	620	9
14	13 - 22 - 4	JUMBO	572	12
15	17 - 31 - 33	JUMBO	579	7
16	35 - 34 - 32	JUMBO	581	7
17	38 - 7 - 2	JUMBO	552	10
18	24 - 43 - 41 - 27	TIR	591	5

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada uygulamada sıklıkla karşılaşılan araç rotalama probleminin bir türü olan Esnek Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Literatüre bakıldığında araç rotalama problemleri genellikle tek bir amaçla ifade edilmektedir; toplam rota maliyetini en küçükmek. Ancak uygulamadaki dağıtım problemlerinde başka amaçların olabileceğini vurgulamak gerekir ve bu durum çok amaçlı Araç Rotalama Problemi olarak ifade edilebilir.

Çok amaçlı karar verme problemlerinde literatürde yaygın olarak amaç programlama kullanılmaktadır. Ele alınan araç rotalama probleminde dört farklı amaç belirlenmiştir. Bunlar;

- Amaç 1: Toplam işlem maliyetini en küçükmek
- Amaç 2: Müşterilerin zaman aralığı tercihlerini sağlamak (esnek zaman pencereleri)
- Amaç 3: Araç kapasitelerinin eksik kullanımını önlemek
- Amaç 4: İşgücünün boş kullanım zamanını önlemek

Bu amaçları sağlayacak şekilde karmaşık tam sayılı amaç programlama modeli sunulmuştur.

Literatürde sunulan amaç programlama modelinin daha basit şekli genel amaçlı bir yazılımla doğrudan çözümlenerek ancak 12 müşteri (düğüm) için optimal çözümü elde edilmiştir. Bu nedenle problemin çözümü için literatürde saymayı takip eden optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir.

Problemin çözümü iki aşamalı olarak ele alınmıştır. İlk aşamada amaç programlama modeli ile mümkün rotalar belirlenmiş ve belirlenen amaçlardan sapmalar her rota için hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise, ilk aşamadan elde edilen verilerle mümkün rotalardan en iyilerin kümesini

verecek küme ayrıştırma problemi çözülmüştür. Bu iki aşamalı prosedür sonucunda problem için optimal çözüm elde edilmiştir.

Bu çalışmada tam zamanında üretim sistemi uygulayan 42 tedarikçili bir otomotiv fabrikasının tedarikçilere malzeme temini için kullandığı araçların rotalanması Esnek Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi olarak ele alınmış ve önerilen yöntem gerçek verilerle çözülmüştür. Otomotiv fabrikasındaki lojistik yöneticileri ve lojistik çözüm ortağındaki yöneticiler rotalama problemi için 3 farklı amaç belirlemiştir. Bunlar;

- Amaç 1: Toplam işlem maliyetini en küçükmek,
- Amaç 2: Tedarikçilerin zaman aralığı tercihlerini sağlamak (esnek zaman pencereleri),
- Amaç 3: Araç kapasitelerinin eksik kullanımını önlemek.

Bu amaçlara ait ceza katsayılarının belirlenmesinde birim maliyet yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım ile her bir amaç için meydana gelen bir birim sapmanın maliyeti ceza katsayısı olarak belirlenmiştir.

Çözüm metodolojisinin ilk aşaması olan mümkün rotaların belirlenmesi ve bu rotaya ait ceza değerlerinin hesaplanması için Visual Basic 6.0 ile program kodlanmıştır. Programın hesaplama süresi literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında iyi sonuç vermektedir. İlk aşamada elde edilen mümkün rotalar Lingo 8.0 versiyonlu optimizasyon yazılımına aktarılmakta ve Esnek Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi için optimal sonuçlar elde edilmektedir. Elde edilen optimal sonuç ile mevcut rotalar karşılaştırıldığında % 13,2 tasarruf sağlanmıştır. Rotalamanın günlük olarak yapıldığı göz önünde bulundurularak önerilen aylık ve yıllık planlama ufku dikkate alındığında rotalamanın önemli maliyet tasarrufu sağlayabileceği söylenebilir. Eksik kapasite kullanım oranı % 6 'dan % 0,07'ye inmiştir. Yani araçlar optimal rotada tam kapasiteye çok yakın çalışmaktadır.

Hesaplama zamanı açısından bakıldığında; uygulama probleminin 42 tedarikçili olduğu göz önünde bulundurularak literatürde yapılan çalışmalara göre iyi sonuçlar elde edilmiştir. Programın çözümü için ilk aşamada 62909 adet rota üretilmiş ve bu rotaların üretilmesi 48 saniye sürmüştür. Bu rotaların küme ayrıştırma problemi olarak Lingo 8.0'da çözülmesi 62 saniye sürmüştür. Yani optimal çözümün elde edilmesi için geçen toplam süre 110 saniyedir. Rotalara filtreleme uygulanması durumunda en uzun süreyi filtreleme aşaması almaktadır. Filtreleme aşaması 259 saniye sürmektedir. Filtreleme aşamasından sonra Lingo 8.0'da problemin çözüm süresi 55 saniyedir. Hesaplama sürelerine bakıldığında uygulama problemi için filtreleme aşamasının gerekli olmadığı söylenebilir.

Uygulanan iki aşamalı çözüm prosedürü sayesinde modele, problemin karmaşıklığını artırmadan birçok kısıt eklemek olanaklı hale gelmektedir. Hatta ilk aşamada kısıt sayısının fazla olması, mümkün rota sayısını azalttığından küme ayrıştırma probleminin çözümünü kolaylaştırmaktadır. Ayrıca ilk aşamanın sonunda küme ayrıştırma probleminin değişken sayısını azaltacak filtreleme adımı uygulanabilir. Bu adım sayesinde optimal rota kümesinde yer alamayacak rotalar belirlenerek elenir.

Önerilen amaç programlama modeli ve çözüm metodolojisi gerçek uygulamada sıkça karşılaşılan çok kısıtlı ve çok amaçlı araç rotalama problemleri için optimal çözüm vermektedir. Ancak bu metodolojinin her probleme uygulanması önerilmemektedir. Bunun temel sebebi, büyük problemlerde karşılaşılabilecek çok sayıda mümkün rotanın olmasıdır. Bu nedenle matematiksel programlama tekniklerinin doğrudan kullanılabildiği çok amaçlı ve kısıtlı problemlerin, yani gerçek hayatta karşılaşılabilecek orta büyüklükteki problemlerin çözümünde, önerilen metodoloji kabul edilebilir bir hesaplama zamanında optimal çözüm sunmaktadır. Belirli bir zaman aralığında hizmet sunmanın önemli olduğu tam zamanında üretim sistemlerinde, gıda, yakıt vb. maddelerin dağıtımının ve tedarikinin yapıldığı

sistemlerde araçların çoklu amaçlarla optimum şekilde rotalanması için uygulanabilir bir metodoloji olduğu gözlemlenmiş ve bu tip sistemler için uygun bir metodoloji olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Orhan, O.Z., Dünyada ve Türkiye’de Lojistik Sektörünün Gelişimi, **İstanbul Ticaret Odası**, İstanbul,7-8 (2003).
2. Boone, L. E., Kurtz, D.L., “Contemporary Marketing”, **The Dryden Press International Edition**, New York, 492-509 (1992).
3. Gottorna, J., Day, A., Hargreaves, J., “What is Logistic”, **Logistics Information Management**, 4(2): 19-20(1991).
4. Morash, A.E., Droge, C. and Vickery, S., “Boundary-Spanning Interfaces Between Logistics, Production, Marketing and New Product Development”, **International Journal Of Physical Distribution & Logistics Management**, 27: (1997).
5. Kaminsky, P., Simchi-Levi, D., Simchi-Levi, E., “Introduction to Supply Chain Management”, Designing and Managing The Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies, **The Mcgraw-Hill Companies**, New York, 2 (2003).
6. Biçer, S., “Sanayi İşletmelerinde Stratejik Üretim Lojistiği ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İstanbul, 7 (2001).
7. Bloomberg, D.J., LeMay, S., Hanna, J.B., “Logistics”, **Prentice-Hall**, New Jersey, 8-9 (2002).
8. Bıyık, M., “Siparişten Teslimata Entegre Lojistik Modeli Önerisi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 20-21, 31-34 (1999).
9. Bowersox, D.J. , Closs, D.J.,”Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process.” , **The Mcgraw-Hill Companies**, Singapore,3,223 (1996).
10. Gottorna, J., Day, A., Hargreaves, J., “How Can the Critical Interface Between Logistics and Production be Management?”, **Logistics Information Management**, 6(4): 3 (1991).
11. Stock, J.R. , Lambert, D.M., “Strategic Logistics Management, 2nd ed.”, **The Mcgraw-Hill Companies**, New York, 15-16 (1987).
12. Reeder, R., Robert, B.G., Edward, R. H., , “Industrial Marketing: Analysis ,Planning and Control”, **Prentice-Hall** , New Jersey, 312 (1999).

13. Ahuja, K.R., Magnatni T.L., Orlin J.B., "Network Flows: Theory, Algorithms and Applications", **Prentice Hall**, New Jersey, 624-626 (1993).
14. Balakrishnan, N., "Simple Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows", **Journal of the Operational Research Society**, 44(3): 279-287 (1993).
15. Cordeau, J-F, Gendreau, M., Laporte G., Potvin, J-Y, Semet F., "A Guide to Vehicle Routing Heuristics", **Journal of the Operational Research Society**, 53: 512-522 (2002).
16. Eryavuz, M., "Araç Rotalama Problemi ve Örnek Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 4-7 (2001).
17. Savelsbergh, M., "Local Search in Routing with Time Windows", **Annals Operations Research**, 4: 285-305 (1985).
18. Solomon, M., "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling with Time Window Constraints", **Operations Research**, 35: 254-265 (1987).
19. Baker, E., Schaffer, J., "Solution Improvement Heuristics for the Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Window Constraints", **American Journal of Mathematical and Management Sciences**, 6: 261-300 (1986).
20. Van Landeghem, H.R.G., "Abi-criteria Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", **European Journal of Operational Research**, 36: 217-226 (1988).
21. Kolen, A., Kan, A.R., Trienekens H., "Vehicle Routing with Time Windows", **Operations Research**, 35: 266-273 (1987).
22. Desrochers, M., Desrosiers, J., Solomon, M., "A New Optimization Algorithm For The Vehicle Routing Problem With Time Windows", **Operations Research**, 40: 342-354 (1992).
23. Dumas, Y., Desrosiers J., Soumis, F., "The Pickup and Delivery Problem with Time Windows", **European Journal of Operational Research**, 54: 7-22 (1991).
24. Fisher, M.L., Jornsten, K.O., Madsen O.B.G., "Vehicle routing with time Windows- Preliminary Results-Research Report 4", **IMSOR, Technical University of Denmark**, Denmark, 38-47 (1991).
25. Sexton, T.R., Choi, Y.M., "Pickup and Delivery of Partial Loads with Soft Time Windows", **American Journal of Mathematical and Management Sciences**, 6(3): 369-398 (1986).

26. Min, H., "A Multiobjective Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows: The Case of a Public Library Distribution System", ***Socio-Economic Planning Science***, 25(3): 179-188 (1991).
27. Koskosidis, Y.A., Powell, W.B., Solomon, M.M., "An Optimization-based Heuristic for Vehicle Routing and Scheduling with Soft Time Window Constraints", ***Transportation Science***, 26(2): 69-85 (1992).
28. Taillard, E., Badezu, P., Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J.Y., "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows", ***Transportation Science***, 31(2): 170-186 (1997).
29. Fagerholt, K., "Ship Scheduling with Soft Time Windows: An Optimisation Based Approach", ***European Journal of Operational Research***, 131: 559-571 (2001).
30. Schniederjans, J.M., "Linear Goal Programming 1st ed.", ***Petrocelli Books***, New York, 3-5, 67-83 (1984).
31. Hillier, S.F., Lieberman, J.G., "Other Algorithms for Linear Programming", Introduction to Mathematical Programming 2nd Edition, ***The McGraw-Hill Companies***, New York, 285-292 (1995).
32. Tamiz, M., Jones, D.F., Romero, C., "Goal Programming for Decision Making: An Overview of the Current State-of-the-Art", ***European Journal of Operational Research***, 111: 569-581 (1998).
33. Fagerholt, K., "Ship Scheduling with Soft Time Windows: An Optimisation Based Approach", ***European Journal of Operational Research***, 131: 559-571 (2001).
34. Ruiz, R., Maroto, C., Alcaraz, J., "A Decision Support System for a Real Vehicle Routing Problem", ***European Journal of Operational Research***, 153: 593-606 (2004).
35. Calvete, H.I., Galé, C., Oliveros, M., Sanchez-Valverde, B., "A Goal Programming Approach to Vehicle Routing With Soft Time Windows", ***European Journal of Operational Research***, (2005).

EKLER

EK-1. Tedarikçi bilgileri

Çizelge 1.1. Tedarikçi talep, servis zamanı ve zaman pencereleri

TEDARİKÇİ NO (i)	TALEPLER(qi) (METREKÜP)	SERVİS ZAMANI (qi)	Kesin Varış Zamanı (Ehi)	Kesin Kalkış Zamanı (Lhi)	Esnek Varış Zamanı (Esi)	Esnek Kalkış Zamanı (Lsi)
2	30	45	13:00	17:00	14:00	16:00
3	22	30	07:00	12:00	08:00	11:00
4	13	30	15:00	19:00	16:00	18:00
5	24	30	07:00	12:00	08:00	11:00
6	43	60	10:00	15:00	11:00	14:00
7	28	45	13:00	17:00	14:00	16:00
8	42	60	09:00	13:00	10:00	12:00
9	45	60	10:00	15:00	11:00	14:00
10	65	90	09:00	13:00	10:00	12:00
11	15	30	10:00	15:00	11:00	14:00
12	35	50	07:00	12:00	08:00	11:00
13	32	45	13:00	17:00	14:00	16:00
14	16	30	10:00	15:00	11:00	14:00
15	80	90	09:00	13:00	10:00	12:00
16	28	45	10:00	15:00	11:00	14:00
17	20	45	07:00	12:00	08:00	11:00
18	10	20	10:00	15:00	11:00	14:00
19	8	30	07:00	12:00	08:00	11:00
20	18	20	09:00	13:00	10:00	12:00
21	73	90	07:00	12:00	08:00	11:00
22	35	45	15:00	19:00	16:00	18:00
23	46	75	13:00	17:00	14:00	16:00
24	25	45	07:00	12:00	08:00	11:00
25	72	80	07:00	12:00	08:00	11:00
26	33	60	10:00	15:00	11:00	14:00
27	20	30	10:00	15:00	11:00	14:00
28	42	45	10:00	15:00	11:00	14:00
29	62	90	10:00	15:00	11:00	14:00
30	38	60	10:00	15:00	11:00	14:00
31	30	40	10:00	15:00	11:00	14:00
32	35	60	10:00	15:00	11:00	14:00
33	30	45	10:00	15:00	11:00	14:00
34	24	40	09:00	13:00	10:00	12:00
35	20	45	07:00	12:00	08:00	11:00
36	18	40	10:00	15:00	11:00	14:00
37	48	75	07:00	12:00	08:00	11:00
38	22	45	10:00	15:00	11:00	14:00
39	30	50	07:00	12:00	08:00	11:00
40	78	90	15:00	19:00	16:00	18:00
41	18	30	07:00	12:00	08:00	11:00
42	25	40	13:00	17:00	14:00	16:00
43	12	30	07:00	12:00	08:00	11:00

EK-2. Tedarikçi çiftleri arasında uzaklıklar

Çizelge 2.1. Tedarikçi çiftleri arasında uzaklık matrisi (km)

TEDARİKÇİLER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	230	232	234	236	240	245	250	260	255	253
2	230	0	2	4	6	10	15	20	30	25	23
3	232	2	0	2	4	8	13	18	28	23	21
4	234	4	2	0	2	6	11	16	26	21	19
5	236	6	4	2	0	4	9	14	24	19	17
6	240	10	8	6	4	0	5	10	20	15	13
7	245	15	13	11	9	5	0	5	15	20	16
8	250	20	18	16	14	10	5	0	10	15	16
9	260	30	28	26	24	20	15	10	0	5	7
10	255	25	23	21	19	15	20	15	5	0	2
11	253	23	21	19	17	13	16	16	7	2	0
12	251	21	19	17	15	11	14	14	9	4	2
13	255	25	23	21	19	15	18	20	10	5	4
14	245	15	13	11	9	5	10	15	25	20	18
15	250	20	18	16	14	10	15	20	30	25	23
16	252	22	20	18	16	12	12	18	32	27	25
17	260	30	28	26	28	32	37	42	52	47	45
18	255	25	23	21	23	27	32	37	47	42	40
19	250	20	18	16	18	22	27	32	42	37	35
20	265	35	33	31	33	37	42	47	57	52	50
21	267	37	35	33	35	39	44	49	59	54	52
22	270	40	38	36	38	42	47	52	62	57	55
23	272	42	40	38	40	44	49	54	64	59	57
24	275	45	43	41	43	47	52	57	67	62	60
25	278	48	46	44	46	50	55	60	70	65	63
26	280	50	48	46	48	52	57	62	72	67	65
27	285	55	53	51	53	57	62	67	77	72	70
28	290	60	58	56	58	62	67	72	82	77	75
29	293	63	61	59	61	65	70	75	85	80	78
30	290	60	58	56	58	62	67	72	82	77	75
31	295	65	63	61	63	67	72	77	87	82	80
32	290	60	58	56	58	62	67	72	82	77	75
33	288	58	56	54	56	60	65	70	80	75	73
34	280	50	48	46	48	52	57	62	72	67	65
35	275	45	43	41	43	47	52	57	67	62	60
36	260	30	28	26	28	32	37	42	52	47	45
37	260	30	28	26	28	32	37	42	52	47	45
38	255	25	23	21	23	27	32	37	47	42	40
39	260	30	28	26	28	32	37	42	52	47	45
40	320	90	88	86	88	92	97	102	112	107	105
41	330	100	98	96	98	102	107	112	122	117	115
42	325	95	93	91	93	97	102	107	117	112	110
43	320	90	88	86	88	92	97	102	112	107	105

EK-2. (Devam) Tedarikçi çiftleri arasında uzaklıklar

Çizelge 2.1. (Devam) Tedarikçi çiftleri arasında uzaklık matrisi (km)

TEDARİKÇİLER	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	251	255	245	250	252	260	255	250	265	267	270
2	21	25	15	20	22	30	25	20	35	37	40
3	19	23	13	18	20	28	23	18	33	35	38
4	17	21	11	16	18	26	21	16	31	33	36
5	15	19	9	14	16	28	23	18	33	35	38
6	11	15	5	10	12	32	27	22	37	39	42
7	14	18	10	15	12	37	32	27	42	44	47
8	14	20	15	20	18	42	37	32	47	49	52
9	9	10	25	30	32	52	47	42	57	59	62
10	4	5	20	25	27	47	42	37	52	54	57
11	2	4	18	23	25	45	40	35	50	52	55
12	0	6	16	21	23	43	38	33	48	50	53
13	6	0	22	27	29	49	44	39	54	56	59
14	16	22	0	5	7	37	32	27	42	44	47
15	21	27	5	0	2	42	37	32	47	49	52
16	23	29	7	2	0	44	39	34	49	51	54
17	43	49	37	42	44	0	5	10	5	7	10
18	38	44	32	37	39	5	0	5	10	12	15
19	33	39	27	32	34	10	5	0	15	17	20
20	48	54	42	47	49	5	10	15	0	2	5
21	50	56	44	49	51	7	12	17	2	0	3
22	53	59	47	52	54	10	15	20	5	3	0
23	55	61	49	54	56	12	17	22	7	5	2
24	58	64	52	57	59	15	20	25	10	8	5
25	61	67	55	60	62	18	23	28	13	11	8
26	63	69	57	62	64	20	25	30	15	13	10
27	68	74	62	67	69	25	30	35	20	18	15
28	73	79	67	72	74	30	35	40	25	23	20
29	76	82	70	75	77	33	38	43	28	26	23
30	73	79	67	72	74	43	48	53	38	36	33
31	78	84	72	77	79	48	53	48	43	41	38
32	73	79	67	72	74	53	48	43	48	46	43
33	71	77	65	70	72	51	46	41	50	48	45
34	63	69	57	62	64	43	38	33	53	51	53
35	58	64	52	57	59	38	33	28	48	50	53
36	43	49	37	42	44	23	18	13	28	30	33
37	43	49	37	42	44	20	15	10	25	27	30
38	38	44	32	37	39	25	20	15	30	32	35
39	43	49	37	42	44	30	25	20	35	37	40
40	103	109	97	102	104	60	65	70	55	53	50
41	113	119	107	112	114	70	75	80	65	63	60
42	108	114	102	107	109	65	70	75	60	58	55
43	103	109	97	102	104	60	65	70	55	53	50

EK-2. (Devam) Tedarikçi çiftleri arasında uzaklıklar

Çizelge 2.1. (Devam) Tedarikçi çiftleri arasında uzaklık matrisi (km)

TEDARİKÇİLER	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	272	275	278	280	285	290	293	290	295	290	288
2	42	45	48	50	55	60	63	60	65	60	58
3	40	43	46	48	53	58	61	58	63	58	56
4	38	41	44	46	51	56	59	56	61	56	54
5	40	43	46	48	53	58	61	58	63	58	56
6	44	47	50	52	57	62	65	62	67	62	60
7	49	52	55	57	62	67	70	67	72	67	65
8	54	57	60	62	67	72	75	72	77	72	70
9	64	67	70	72	77	82	85	82	87	82	80
10	59	62	65	67	72	77	80	77	82	77	75
11	57	60	63	65	70	75	78	75	80	75	73
12	55	58	61	63	68	73	76	73	78	73	71
13	61	64	67	69	74	79	82	79	84	79	77
14	49	52	55	57	62	67	70	67	72	67	65
15	54	57	60	62	67	72	75	72	77	72	70
16	56	59	62	64	69	74	77	74	79	74	72
17	12	15	18	20	25	30	33	43	48	53	51
18	17	20	23	25	30	35	38	48	53	48	46
19	22	25	28	30	35	40	43	53	48	43	41
20	7	10	13	15	20	25	28	38	43	48	50
21	5	8	11	13	18	23	26	36	41	46	48
22	2	5	8	10	15	20	23	33	38	43	45
23	0	3	6	8	13	18	21	31	36	41	43
24	3	0	3	5	10	15	18	28	33	38	40
25	6	3	0	2	7	12	15	25	30	35	37
26	8	5	2	0	5	10	13	23	28	33	35
27	13	10	7	5	0	5	8	18	23	28	30
28	18	15	12	10	5	0	3	13	18	23	25
29	21	18	15	13	8	3	0	10	15	20	22
30	31	28	25	23	18	13	10	0	5	10	12
31	36	33	30	28	23	18	15	5	0	5	7
32	41	38	35	33	28	23	20	10	5	0	2
33	43	40	37	35	30	25	22	12	7	2	0
34	51	48	45	43	38	33	30	20	15	10	8
35	50	53	50	48	43	38	35	25	20	15	13
36	35	38	41	46	51	53	50	40	35	30	28
37	32	35	38	43	48	56	53	43	38	33	31
38	37	40	43	48	53	58	55	45	40	35	33
39	42	45	48	53	58	63	60	50	45	40	38
40	48	45	42	40	45	50	53	63	68	73	75
41	58	55	52	50	55	60	63	73	78	83	85
42	53	50	47	45	50	55	58	68	73	78	80
43	48	45	42	40	45	50	53	63	68	73	75

EK-2. (Devam) Tedarikçi çiftleri arasında uzaklıklar

Çizelge 2.1. (Devam) Tedarikçi çiftleri arasında uzaklık matrisi (km)

TEDARİKÇİLER	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	280	275	260	260	255	260	320	330	325	320
2	50	45	30	30	25	30	90	100	95	90
3	48	43	28	28	23	28	88	98	93	88
4	46	41	26	26	21	26	86	96	91	86
5	48	43	28	28	23	28	88	98	93	88
6	52	47	32	32	27	32	92	102	97	92
7	57	52	37	37	32	37	97	107	102	97
8	62	57	42	42	37	42	102	112	107	102
9	72	67	52	52	47	52	112	122	117	112
10	67	62	47	47	42	47	107	117	112	107
11	65	60	45	45	40	45	105	115	110	105
12	63	58	43	43	38	43	103	113	108	103
13	69	64	49	49	44	49	109	119	114	109
14	57	52	37	37	32	37	97	107	102	97
15	62	57	42	42	37	42	102	112	107	102
16	64	59	44	44	39	44	104	114	109	104
17	43	38	23	20	25	30	60	70	65	60
18	38	33	18	15	20	25	65	75	70	65
19	33	28	13	10	15	20	70	80	75	70
20	53	48	28	25	30	35	55	65	60	55
21	51	50	30	27	32	37	53	63	58	53
22	53	53	33	30	35	40	50	60	55	50
23	51	50	35	32	37	42	48	58	53	48
24	48	53	38	35	40	45	45	55	50	45
25	45	50	41	38	43	48	42	52	47	42
26	43	48	46	43	48	53	40	50	45	40
27	38	43	51	48	53	58	45	55	50	45
28	33	38	53	56	58	63	50	60	55	50
29	30	35	50	53	55	60	53	63	58	53
30	20	25	40	43	45	50	63	73	68	63
31	15	20	35	38	40	45	68	78	73	68
32	10	15	30	33	35	40	73	83	78	73
33	8	13	28	31	33	38	75	85	80	75
34	0	8	23	26	28	33	83	93	88	83
35	8	0	15	18	20	25	88	98	93	88
36	23	15	0	3	5	10	73	83	78	73
37	26	18	3	0	5	10	70	80	75	70
38	28	20	5	5	0	5	75	85	80	75
39	33	25	10	10	5	0	80	90	85	80
40	83	88	73	70	75	80	0	50	45	40
41	93	98	83	80	85	90	50	0	5	10
42	88	93	78	75	80	85	45	5	0	5
43	83	88	73	70	75	80	40	10	5	0

EK-3. Tedarikçi çiftleri arası seyahat süreleri

Çizelge 3.1. Tedarikçi çiftleri arası seyahat süreleri matrisi (dakika)

TEDARIKÇILER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	155	155	160	160	160	165	170	175	170	170
2	155	0	5	5	5	10	10	15	20	20	15
3	155	5	0	5	5	5	10	15	20	15	15
4	160	5	5	0	5	5	10	10	20	15	15
5	160	5	5	5	0	5	10	10	20	15	15
6	160	10	5	5	5	0	5	10	15	10	10
7	165	10	10	10	10	5	0	5	10	15	10
8	170	15	15	10	10	10	5	0	10	10	10
9	175	20	20	20	20	15	10	10	0	5	5
10	170	20	15	15	15	10	15	10	5	0	5
11	170	15	15	15	15	10	10	10	5	5	0
12	170	15	15	15	10	10	10	10	10	5	5
13	170	20	15	15	15	10	15	15	10	5	5
14	165	10	10	10	10	5	10	10	20	15	15
15	170	15	15	10	10	10	10	15	20	20	15
16	170	15	15	15	10	10	10	15	25	20	20
17	175	20	20	20	20	25	25	30	35	35	30
18	170	20	15	15	15	20	25	25	35	30	30
19	170	15	15	10	15	15	20	25	30	25	25
20	180	25	25	20	25	25	30	35	40	35	35
21	180	25	25	25	25	30	30	35	40	40	35
22	180	30	25	25	25	30	35	35	45	40	40
23	185	30	30	25	30	30	35	40	45	40	40
24	185	30	30	30	30	35	35	40	45	45	40
25	185	35	30	30	30	35	40	40	50	45	45
26	190	35	35	30	35	35	40	45	50	45	45
27	190	40	35	35	35	40	45	45	55	50	50
28	195	40	40	40	40	45	45	50	55	55	50
29	195	45	40	40	40	45	50	50	60	55	55
30	195	40	40	40	40	45	45	50	55	55	50
31	200	45	45	40	45	45	50	55	60	55	55
32	195	40	40	40	40	45	45	50	55	55	50
33	195	40	40	40	40	40	45	50	55	50	50
34	170	35	35	30	35	35	40	45	50	45	45
35	185	30	30	30	30	35	35	40	45	45	40
36	175	20	20	20	20	25	25	30	35	35	30
37	175	20	20	20	20	25	25	30	35	35	30
38	170	20	15	15	15	20	25	25	35	30	30
39	175	20	20	20	20	25	25	30	35	35	30
40	215	60	60	60	60	65	65	70	75	75	70
41	220	70	65	65	65	70	75	75	85	80	80
42	220	65	65	60	65	65	70	75	80	75	75
43	215	60	60	60	60	65	65	70	75	75	70

EK-3. (Devam) Tedarikçi çiftleri arası seyahat süreleri

Çizelge 3.1. (Devam) Tedarikçi çiftleri arası seyahat süreleri matrisi (dakika)

TEDARIKÇILER	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	170	170	165	170	170	175	170	170	180	180	180
2	15	20	10	15	15	20	20	15	25	25	30
3	15	15	10	15	15	20	15	15	25	25	25
4	15	15	10	10	15	20	15	10	20	25	25
5	10	15	10	10	10	20	15	15	25	25	25
6	10	10	5	10	10	25	20	15	25	30	30
7	10	15	10	10	10	25	25	20	30	30	35
8	10	15	10	15	15	30	25	25	35	35	35
9	10	10	20	20	25	35	35	30	40	40	45
10	5	5	15	20	20	35	30	25	35	40	40
11	5	5	15	15	20	30	30	25	35	35	40
12	0	5	10	15	15	30	25	25	35	35	35
13	5	0	15	20	20	35	30	30	40	40	40
14	10	15	0	5	5	25	25	20	30	30	35
15	15	20	5	0	5	30	25	25	35	35	35
16	15	20	5	5	0	30	30	25	35	35	40
17	30	35	25	30	30	0	5	10	5	5	10
18	25	30	25	25	30	5	0	5	10	10	10
19	25	30	20	25	25	10	5	0	10	15	15
20	35	40	30	35	35	5	10	10	0	5	5
21	35	40	30	35	35	5	10	15	5	0	5
22	35	40	35	35	40	10	10	15	5	5	0
23	40	40	35	40	40	10	15	15	5	5	5
24	40	45	35	40	40	10	15	20	10	5	5
25	40	45	40	40	45	15	15	20	10	10	5
26	45	50	40	45	45	15	20	20	10	10	10
27	45	50	45	45	50	20	20	25	15	15	10
28	50	55	45	50	50	20	25	30	20	15	15
29	50	55	50	50	55	25	25	30	20	20	15
30	50	55	45	50	50	30	35	35	25	25	25
31	55	60	50	55	55	35	35	35	30	30	25
32	50	55	45	50	50	35	35	30	35	30	30
33	50	55	45	50	50	35	30	30	35	35	30
34	45	50	40	45	45	30	25	25	35	35	35
35	40	45	35	40	40	25	25	20	35	35	35
36	30	35	25	30	30	15	15	10	20	20	25
37	30	35	25	30	30	15	10	10	20	20	20
38	25	30	25	25	30	20	15	10	20	25	25
39	30	35	25	30	30	20	20	15	25	25	30
40	70	75	65	70	70	40	45	50	40	35	35
41	75	80	75	75	80	50	50	55	45	45	40
42	75	80	70	75	75	45	50	50	40	40	40
43	70	75	65	70	70	40	45	50	40	35	35

EK-3. (Devam) Tedarikçi çiftleri arası seyahat süreleri

Çizelge 3.1. (Devam) Tedarikçi çiftleri arası seyahat süreleri matrisi (dakika)

TEDARIKÇILER	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	185	185	185	190	190	195	195	195	200	195	195
2	30	30	35	35	40	40	45	40	45	40	40
3	30	30	30	35	35	40	40	40	45	40	40
4	25	30	30	30	35	40	40	40	40	40	40
5	30	30	30	35	35	40	40	40	45	40	40
6	30	35	35	35	40	45	45	45	45	45	40
7	35	35	40	40	45	45	50	45	50	45	45
8	40	40	40	45	45	50	50	50	55	50	50
9	45	45	50	50	55	55	60	55	60	55	55
10	40	45	45	45	50	55	55	55	55	55	50
11	40	40	45	45	50	50	55	50	55	50	50
12	40	40	40	45	45	50	50	50	55	50	50
13	40	45	45	50	50	55	55	55	60	55	55
14	35	35	40	40	45	45	50	45	50	45	45
15	40	40	40	45	45	50	50	50	55	50	50
16	40	40	45	45	50	50	55	50	55	50	50
17	10	10	15	15	20	20	25	30	35	35	35
18	15	15	15	20	20	25	25	35	35	35	30
19	15	20	20	20	25	30	30	35	35	30	30
20	5	10	10	10	15	20	20	25	30	35	35
21	5	5	10	10	15	15	20	25	30	30	35
22	5	5	5	10	10	15	15	25	25	30	30
23	0	5	5	5	10	15	15	20	25	30	30
24	5	0	5	5	10	10	15	20	25	25	30
25	5	5	0	5	5	10	10	20	20	25	25
26	5	5	5	0	5	10	10	15	20	25	25
27	10	10	5	5	0	5	5	15	15	20	20
28	15	10	10	10	5	0	5	10	15	15	20
29	15	15	10	10	5	5	0	10	10	15	15
30	20	20	20	15	15	10	10	0	5	10	10
31	25	25	20	20	15	15	10	5	0	5	5
32	30	25	25	25	20	15	15	10	5	0	5
33	30	30	25	25	20	20	15	10	5	5	0
34	35	35	30	30	25	25	20	15	10	10	5
35	35	35	35	35	30	25	25	20	15	10	10
36	25	25	30	30	35	35	35	30	25	20	20
37	25	25	25	30	35	40	35	30	25	25	20
38	25	30	30	35	35	40	40	30	30	25	25
39	30	30	35	35	40	45	40	35	30	30	25
40	35	30	30	30	30	35	35	45	45	50	50
41	40	40	35	35	40	40	45	50	55	55	60
42	35	35	35	30	35	40	40	45	50	55	55
43	35	30	30	30	30	35	35	45	45	50	50

EK-3. (Devam) Tedarikçi çiftleri arası seyahat süreleri

Çizelge 3.1. (Devam) Tedarikçi çiftleri arası seyahat süreleri matrisi (dakika)

TEDARIKÇILER	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	190	185	175	175	170	175	215	220	220	215
2	35	30	20	20	20	20	60	70	65	60
3	35	30	20	20	15	20	60	65	65	60
4	30	30	20	20	15	20	60	65	60	60
5	35	30	20	20	15	20	60	65	65	60
6	35	35	25	25	20	25	65	70	65	65
7	40	35	25	25	25	25	65	75	70	65
8	45	40	30	30	25	30	70	75	75	70
9	50	45	35	35	35	35	75	85	80	75
10	45	45	35	35	30	35	75	80	75	75
11	45	40	30	30	30	30	70	80	75	70
12	45	40	30	30	25	30	70	75	75	70
13	50	45	35	35	30	35	75	80	80	75
14	40	35	25	25	25	25	65	75	70	65
15	45	40	30	30	25	30	70	75	75	70
16	45	40	30	30	30	30	70	80	75	70
17	30	25	15	15	20	20	40	50	45	40
18	25	25	15	10	15	20	45	50	50	45
19	25	20	10	10	10	15	50	55	50	50
20	35	35	20	20	20	25	40	45	40	40
21	35	35	20	20	25	25	35	45	40	35
22	35	35	25	20	25	30	35	40	40	35
23	35	35	25	25	25	30	35	40	35	35
24	35	35	25	25	30	30	30	40	35	30
25	30	35	30	25	30	35	30	35	35	30
26	30	35	30	30	35	35	30	35	30	30
27	25	30	35	35	35	40	30	40	35	30
28	25	25	35	40	40	45	35	40	40	35
29	20	25	35	35	40	40	35	45	40	35
30	15	20	30	30	30	35	45	50	45	45
31	10	15	25	25	30	30	45	55	50	45
32	10	10	20	25	25	30	50	55	55	50
33	5	10	20	20	25	25	50	60	55	50
34	0	5	15	20	20	25	55	65	60	55
35	5	0	10	15	15	20	60	65	65	60
36	15	10	0	5	5	10	50	55	55	50
37	20	15	5	0	5	10	50	55	50	50
38	20	15	5	5	0	5	50	60	55	50
39	25	20	10	10	5	0	55	60	60	55
40	55	60	50	50	50	55	0	35	30	30
41	65	65	55	55	60	60	35	0	5	10
42	60	65	55	50	55	60	30	5	0	5
43	55	60	50	50	50	55	30	10	5	0

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDEMİR, Emrah
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1982 - Fatsa
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 532 520 96 10
e-mail : emrahay@gmail.com

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstri Müh.	2003
Lise	Sakarya Anadolu Lisesi	1999

İş Deneyimi Yıl

Yer

Görev

2004-2005	M.I.S. Eğitim ve Danışmanlık	Danışman
2005-2006	MMO Genel Merkezi	Teknik Görevli

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Sinema, Bilgisayar teknolojileri, Futbol