

T.C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

FİZİKSEL DAĞITIM SİSTEMLERİNDE
TAŞIMA SORUNLARINA ANALİTİK YAKLAŞIMLAR
VE
TAŞIMA FİLOSU BOYUTLANDIRILMASI İÇİN
BİR KARAR MODELİ ÖNERİSİ

DOKTORA TEZİ

End.Yük.Müh.A.Ekrem ÖZKUL
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Eskişehir - 1983

İ Ç İ N D E K İ L E R

SUNUŞ	1
-------------	---

B İ R İ N C İ B Ö L Ü M

FİZİKSEL DAĞITIM SİSTEMLERİ ve TAŞIMA FONKSİYONU

I. GİRİŞ	4
I.1 Fiziksel Dağıtım ve Lojistik Hizmetler	4
I.2 Bir İşletme Fonksiyonu Olarak Fiziksel D.	8
II. FİZİKSEL DAĞITIM SİSTEMİ	11
II.1 Fiziksel Dağıtımda Sistem Yaklaşımı	12
II.2 Fiziksel Dağıtım Sisteminin Öğeleri	14
II.2.1 Taşıma Alt Sistemi	15
II.2.2 Depolama Alt Sistemi	15
II.2.3 Bilgi ve Sipariş İsteme Alt S.	16
II.3 Fiziksel Dağıtım Sisteminin Etkinliği	17
II.3.1 Müşteri Hizmeti	17
II.3.2 Fiziksel Dağıtım Maliyetleri	18
II.3.3 Fiziksel Dağıtım S. Dengeleme	19

III.	BİR FİZİKSEL DAĞITIM SİSTEMİ ÖĞESİ OLARAK	
	TAŞIMA ALT SİSTEMİ	23
III.1	Fiziksel Dağıtım ve Taşıma Fonksiyonu	23
III.2	Taşıma Sisteminin Öğeleri.....	24
III.2.1	Taşıma Ağı (Serim)	25
III.2.2	Taşıma Araçları	26
III.2.3	Taşınan Yükler	28
III.3	Taşıma Giderleri	29

İ K İ N C İ B Ö L Ü M

FİZİKSEL DAĞITIM SİSTEMLERİNDE TAŞIMAYLA İLGİLİ KARAR PROBLEMLERİ

I.	TAŞIMAYLA İLGİLİ KARAR PROBLEMLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	32
I.1	Taşımayla ilgili Karar Problemlerinin Öğeleri ...	32
I.2	Taşımayla ilgili Karar Problemlerinin Sınıflandırılması	34
II.	TAŞIMA GÜZERGAHININ BELİRLENMESİ	38
II.1	Enkisa Yol Problemi	38
II.1.1	Tanım	38
II.1.2	Enkisa Yol Probleminin Çözümü	40
II.1.3	Enkisa Yol Probleminin Uygulama Özellikleri ve Uzantıları	42
II.2	Ulaştırma Problemi	43
II.2.1	Tanım	43
II.2.2	Ulaştırma Modelinin Çözümü	45
II.2.3	Ulaştırma Modelinin Uygulama Özellikleri.	46
II.3	Gezgin Satıcı Problemi (GSP)	47
II.3.1	Tanım	47
II.3.2	GSP'nin Çözümü	49
II.3.3	GSP'nin Uygulama Özellikleri ve Uzantıları	52

III.	ARAÇ ÇİZELGELEME PROBLEMİ	53
III.1	Tanım	53
III.2	Araç Çizelgeleme Probleminin Çözümü	53
III.3	Araç Çizelgeleme Probleminin Uygulama Özellikleri	56
IV.	ARAÇ YÜKLEME PROBLEMİ	58
IV.1	Tanım	58
IV.2	Araç Yükleme Probleminin Çözümü	60
IV.3	Araç Yükleme Probleminin Uygulama Özellikleri	62

Ü Ç Ü N C Ü B Ö L Ü M

TAŞIMA FİLOSU BOYUTLANDIRILMASI

I.	TAŞIMA HİZMETİNİN SAĞLANMASI ve TAŞIMA FİLOSU BOYUTLANDIRILMASI PROBLEMİ	63
I.1	Genel Bilgiler	63
I.1.1	Taşıma Hizmetinin Sağlanması	63
I.1.2	Taşıma Filosu Oluşturma Kararı	65
I.1.3	Taşıma Filosu Boyutlandırılması Problemi	67
I.2	Taşıma Filosu Boyutlandırılmasına Yönelik Modeller	69
I.2.1	Kirby ve Wyatt Yaklaşımları	70
I.2.2	Gould Modeli	73
I.2.3	Eilon ve Arkadaşlarının Yaklaşımları ...	74
I.2.4	Mole Yaklaşımı	77
I.2.5	Parikh Yaklaşımı	82
I.2.6	Etezadi ve Beasley Modeli	84
I.2.7	Diğer Yaklaşımlar	86
I.3	Taşıma Filosu Boyutlandırılmasına İlişkin Modellerin Değerlendirilmesi ve Yeni Bir Model Gereği	87

II. TAŞIMA FİLOSU BOYUTLANDIRILMASINA YÖNELİK BİR	
DOĞRUSAL KARAR MODELİ	91
II.1 Genel Yaklaşım	91
II.2 Modelin Özellik ve Varsayımları	92
II.3 Modelin Temel Bileşenleri	95
II.3.1 Parametreler	95
II.3.2 Karar Değişkenleri	96
II.3.3 Kısıtlayıcılar	96
II.3.4 Amaç Fonksiyonu	97
II.4 Modelin Çözümünün Sağlanması	98
II.4.1 Değişken ve Kısıtlayıcı Sayıları	98
II.4.2 Tamsayı Değişkenler	100
II.5 Modelin Sayısal Uygulaması	100
 SONUÇ ve ÖNERİLER	 103
 Ek-1 Tamsayı Doğrusal Programlama Modellerine	
Çözüm Yaklaşımları	103
Ek-2 Kullanılan Bilgisayar Paket Programının Listesi ve	
Sonuçlar	117
 KAYNAKLAR	 127

SUNUŞ

İnsanoğlu varoluşundan beri tükettiği ürünleri bulunduğu yerde ve istediği anda sağlayamamıştır. İlkel yaşamda temel gereksinmesi olan yiyeceği ulaşabildiği fiziksel çevreden sağlamaya çalışmış, sonraki kullanımları için ise uzun süreli olmamak üzere depolama yoluna başvurmuştur. Tekerleğin icadıyla ise sırtındaki yükü basit de olsa bir araca yüklemeyi başarmıştır. Önceleri araçlarını hayvanlara çektiren insanoğlu son yüzyıl içinde buhar, petrol, elektrik ve nükleer enerjileri taşıma araçlarına uygulayarak kara, deniz ve hava ulaşım araçlarını geliştirmiştir.

İçinde bulunduğumuz yüzyılda üretim çeşitlenerek yaygınlaşmış ve binlerce mamül tüketicilerin kullanımına sunulmuştur. Bölgesel pazarlar kısa zamanda genişleyerek önce ulusal daha sonra uluslararası üretim ve dağıtım noktaları haline gelmişlerdir. Teknolojik olanaklar, taşıma araçları, yollar gelişirken mamüllerin üretim noktalarından tüketim noktalarına ulaştırılmasıyla ilgili problemler de artmaya başlamıştır.

Günümüz işletmelerinde yöneticiler mamüllerin tüketicilere daha etkin olarak nasıl ulaştırılacağı konusunda düşünmek, inceleme ve araştırma yapmak zorundadırlar. Taşıma sorunu olarak adlandırdığımız bu sorun, mamül üreten birimlerin, mamüllerini istem merkezlerine ekonomik ve güvenli olarak nasıl ulaştıracaklarını saptayarak bu faaliyetlere yönelik düzenlemeleri yapmalarıyla ilgilidir.

Terim kargaşasına yol açmamak için bu noktada bir açıklama yapmak yerinde olacaktır. Terim olarak ulaştırma insan ve yük taşıması ile haberleşmeye yönelik faaliyetlerin tümünü kapsamaktadır. Fonksiyonel anlamda ise insan ve eşyanın gereksinim giderme ya da fayda arttırma gayesiyle yer değiştirmelerini sağlayan hizmetlerin tümü olarak tanımlanabilir. Çalışmamızda ele aldığımız faaliyetler ise genel ulaştırma faaliyetlerinin bir alt kümesi olan işletmelerin mamûllerini tüketicilere ulaştırmalarıyla ilgilidir. Bu faaliyetler fiziksel dağıtım sistemi içinde taşıma fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

Çalışmamız iki amaca yöneliktir:

Birinci amaç, ulaştırma olarak adlandırılan faaliyetler kümesi içinde ele alınan taşıma sorunlarını belirlemek, sınıflandırmak ve çözüm yollarını inceleyerek değerlendirmektir. Bu amaca yönelmemizin nedeni şöyle açıklanabilir: Son yıllarda ulaştırma plânlaması konusunda önemli gelişmeler olmuştur. Matematiksel programlama tekniklerinin ve bilgisayar kullanma olanaklarının gelişmelerine paralel olarak ulaştırma sorunlarına sistem yaklaşımı benimsenmiş, değişik disiplinlerden uzmanlar, araştırmacılar, bilim adamları ulaşım olayının karmaşık toplumsal-ekonomik yapısını tanımlamaya ve ulaştırma kesiminin ekonominin diğer kesimleri ile karşılıklı etkileşimlerini açıklamaya yönelik modeller geliştirmeye çalışmışlardır. Söz konusu çabalar içinde işletmelerin fiziksel dağıtım sistemlerinde karşılaştıkları taşıma sorunlarının tanımlanması ve bunları çözmeye yönelik yaklaşımların neler olduğunun belirlenmesinin konuyla ilgili önemli bir eksikliği gidereceği düşünülmüştür.

İkinci ve özgün amacımız ise fiziksel dağıtım sistemlerinde taşıma filosu boyutlandırılması, başka bir deyişle taşıma filosunu oluşturacak araçların tip ve sayılarının belirlenmesi için bir karar modeli araştırılmasıdır. Bu amaca yönelmenin nedeni ise, sorunun niceliksel plânlama tekniklerinin kullanılması bakımından pek az araştırmaya konu olmasıdır. Taşıma filosu boyutlandırılması sorununa en uygun yaklaşımın sağlanabilmesi için öncelikle konuyla ilgili çalışmaların tek tek incelenmesi daha sonra da, varsa

konunun ele alınmayan yönlerini içerecek bir karar modeli geliştirilmesi düşünülmüştür.

Bu amaçlar doğrultusunda çalışmamız üç bölümden oluşmuştur.

Birinci bölümde işletmelerin mamûllerini tüketicilere ulaştırmalarıyla ilgili faaliyetler bütünü olan fiziksel dağıtım sistemi ele alınarak bu faaliyetler içinde taşıma fonksiyonunun yeri belirlenmiştir. Birinci kesimde fiziksel dağıtım terimi tanımlanarak geleneksel işletme fonksiyonları içinde fiziksel dağıtım fonksiyonu incelenmiştir. İkinci kesimde fiziksel dağıtımda sistem yaklaşımı gereği vurgulanarak, fiziksel dağıtım sisteminin öğeleri ve sistemin etkinliğinin hangi unsurlara dayandığı belirlenmiştir. Bu bölümün son kesiminde ise bir fiziksel dağıtım ögesi olarak taşıma alt sistemi ele alınmış, taşıma sisteminin öğeleri ve taşıma giderleri incelenmiştir.

İkinci bölümde fiziksel dağıtım sistemlerinde taşıma sorunları konu edilmiştir. Birinci kesimde taşımayla ilgili karar problemlerinin genel özellikleri belirlenip sınıflandırılması yapıldıktan sonra izleyen kesimlerde güzergâh belirleme, araç çizelgeleme ve araç yükleme problemleri tanımlanarak uygulama özellikleri tartışılmıştır.

Üçüncü bölüm taşıma filosu boyutlandırılması probleminin incelenmesine ve konuyla ilgili bir karar modeli geliştirilmesine ayrılmıştır. Birinci kesimde taşıma hizmetinin sağlanma biçimleri ve ilişkin seçeneklerden birisi olan özel taşıma filosu oluşturma kararı incelenmiştir. İkinci kesimde taşıma filosu boyutlandırılmasına yönelik çalışmalar incelenmiş, konunun ele alınmayan yönleri belirlenerek yeni bir model gereği vurgulanmıştır. Bu kesimde hangi yaklaşım ve varsayımlardan hareket edildiği açıklanarak modelin temel öğeleri gösterilmiştir. Daha sonra modelin çözümünün sağlanması ve uygulama özellikleri ele alınarak sayısal çözümlere yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

FİZİKSEL DAĞITIM SİSTEMLERİ ve TAŞIMA FONKSİYONU

I. GİRİŞ

Günümüz işletmelerinde üretim sürecinin çeşitli aşamalarında üretim girdilerinin sağlanması, taşınması ve depolanması ile ürünlerin hangi pazarlara, ne şekilde gönderileceğinin saptanması ekonomik önem taşıyan sorunlar olarak ortaya çıkmaktadır. Sözü edilen faaliyetler genellikle "fiziksel dağıtım" veya "işletme lojistiği" olarak adlandırılmakta ise de, konunun kapsamı ve verilecek ad konusunda kesin bir fikir birliği ve uyum yoktur. Bu kesimde öncelikle fiziksel dağıtım, işletme lojistiği vb. isimlerle adlandırılan faaliyetlerin tanımı ve kapsamı konusundaki görüşlere yer verilecektir. Daha sonra fiziksel dağıtım bir işletme fonksiyonu olarak ele alınarak diğer işletme fonksiyonları ile ilişkisi belirlenecektir.

I.1 Fiziksel Dağıtım ve Lojistik Hizmetler

Fiziksel dağıtımla ilgili yayınlar 1960' lı yıllardan itibaren ortaya çıkmış olmasına rağmen, fiziksel dağıtımın tanımı ve kapsamı konusunda kesin bir fikir birliği yoktur. ABD'de 1962 yılında toplanan Ulusal Fiziksel Dağıtım Konseyi tarafından fiziksel dağıtıma ilişkin aşağıdaki tanım yapılmıştır:

"Üretim faaliyetleri bitiminden itibaren, ürünlerin tüketiciye etkili bir şekilde ulaştırılması ve bazı durumlarda da hammaddelerin sunum yerinden üretim noktasına kadar olan hareketine ilişkin üretim ve ticarete kullanılan bir terimdir. Bu faaliyetler taşıma, depolama, elleçleme (material handling), paketleme, stok kontrolü, fabrika ve depo yeri seçimi, siparişlerin işlenmesi, pazar kestirimleri ve müşteriye verilen hizmetleri kapsar."

Bu tanıma göre fiziksel dağıtım hammadde temini-üretim-depolama- tüketici zincirlerindeki yer ve zaman faydası sağlayan faaliyetlerin plânlanması, organizasyonu ve denetlenmesini kapsayan yaygın bir faaliyetler karmasıdır(1).

Bowersox, Smykay ve La Londe konuyla ilgili ve yayınlarında bilgi akışının yukarıdaki faaliyetler içine dahil edilmesi gerektiğine dikkati çekerek Fiziksel Dağıtım Konse-
yi'nin tanımında, üretim ve dağıtım sürecindeki koordinasyonun önemine değinilmemiş olmasını önemli bir eksiklik olarak gör-
düklerini belirtmektedirler.(2) Buna göre bilgi akışı ve haberleşme faaliyetlerini içermemesi nedeniyle yukarıdaki tanım yeterli değildir ve etkin bir fiziksel dağıtım sistemi için bilgi akış ve haberleşme düzeni gereklidir.

Bazı yazarlar ise fiziksel dağıtımın hammadde sağlan-
masından daha çok mamûllerin tüketiciye ulaştırılmasını konu
aldığını belirterek fiziksel dağıtımın kapsamının daraltılma-
sını önermektedirler. Bu yaklaşımı örnekleyen tanım şu şekilde ifade edilmiştir:

Fiziksel dağıtım, mamûllerin satışa hazır duruma geldikleri noktadan, alıcılarına veya tüketicilere, firmanın pazarlama politikaları ve genel amaçlarına uygun bir biçimde ulaştırılmasını sağlayan ve başlıca taşıma, depolama ve bilgi işleme sistemlerinden oluşan bir pazarlama bileşenidir. (3)

-
- (1) Norman E. DANIEL, Richard J. JONES (Derl.): Business Logistics Concepts and Viewpoints, Allyn and Bacon, Inc., Boston, 1969, s.2
 - (2) Donald J. BOWERSOX, Edward W. SMYKAY, Bernard J. La LONDE: Physical Distribution Management, Macmillan CO., New York 1969, s.4. Ayrıca Bkz. Birol TENEKECİOĞLU, Pazarlamada Fiziksel Dağıtım ve Türkiye'deki Uygulama, E.İ.T.İ.A. Yayınları, No 128/78, Eskişehir 1978, s.4
 - (3) İsmail KAYA: Bir Pazarlama Bileşeni Olarak Fiziksel Dağıtımın Önemi ve Türkiye'deki Durumu, İstanbul Univer., Pazarlama Enst. Yayını, No 13, İstanbul, 1976, s.9

Yapılan tanıma göre hammadde ve yardımcı malzeme sağlanması ile bunların fabrika içindeki yer değiştirmeleri fiziksel dağıtım kapsamına alınmamaktadır. Bu tanımda sistem olgusuna da yer verilerek fiziksel dağıtımın pazarlama bütünü içerisinde bir alt sistem olduğu ifade edilmektedir.

Fiziksel dağıtımın tanımı ve kapsamı konusunda bir fikir birliği sağlanamamış olmasına benzer şekilde söz konusu faaliyetlere verilecek ad konusunda da farklılıklar vardır. Fiziksel dağıtım kapsamında ele alınan konular için "Lojistik Yönetimi" ve "İşletme Lojistiği" gibi terimler de kullanılmaktadır. Lojistik sözcüğü, sözlük anlamı olarak askerî birliklerin hareketlerinin ve ikmalinin sağlanması sanatıdır.⁽⁴⁾ Ancak, 1970'li yıllardan itibaren lojistik terimi askerî faaliyetler dışında da kullanılmaya başlamıştır. İşletmecilikte mamüllerin yer değiştirmesi ve depolanmasına benzer şekilde iletişimde bilgi iletimi, kent plânlamasında bireylerin kent içi hareketinin sağlanması faaliyetleri "Lojistik Hizmetler" olarak adlandırılmaktadır. Fiziksel dağıtımla ilgili ilk yayınlardan birisinin sahibi olan Bowersox daha önceden fiziksel dağıtım kapsamında ele aldığı konuları 1974 yılında "Lojistik Yönetimi" adıyla yeniden düzenleyerek yayınlamış, gerekçe olarak da daha önceden ele aldığı konuları sistem yaklaşımıyla bir bütün olarak incelediğini belirtmiştir.⁽⁵⁾ Ballou'ya göre ise işletme lojistiği ve fiziksel dağıtım terimleri aynı anlamdadır ve eş anlamlı olarak "Pazarlama Yönetimi", "Endüstriyel Lojistik" ve "Rhochromatics"⁽⁶⁾ terimleri sayılabilir.⁽⁷⁾

(4) Meydan Larousse Ansiklopedisi: Cilt. VIII, s.39

(5) Donald J. BOWERSOX: Logistical Management, Macmillan Publishing Co., Inc., 1974, New York, 1974, s.5.

(6) Grek asıllı bir sözcüktür. Bu sözcüğü oluşturan "Rheo" akış (bir nehrin akışı gibi), "Chrema", "mamüller, malzemeler veya şeyler anlamına gelir. "Tics" ise bilimlerin sonuna gelen takıdır. KAYA, a.g.k., s.4

(7) Ronald H. BALLOU: Business Logistics Management, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1973, s.7.

I.2 Bir İşletme Fonksiyonu Olarak Fiziksel Dağıtım

İmalât yapan işletmeler organizasyonlarını genellikle üretim ve pazarlama fonksiyonları üzerinde yoğunlaştırmaktadırlar.⁽¹⁰⁾ Temel fonksiyonlar olarak da adlandırılan bu fonksiyonlardan pazarlama satış için, üretim ise malların imali için gerekli işlemler olarak tanımlanmaktadır.⁽¹¹⁾ Fiziksel dağıtım faaliyetleri üretim fonksiyonuyla da ilgili ise de, genellikle pazarlama fonksiyonu içinde ele alınmaktadır. Cemalcılar'a göre pazarlama yönetimi açısından fiziksel dağıtım, dağıtım kanallarının⁽¹²⁾ seçimini takip eden bir aşamadır. Dağıtım kanalları saptandıktan ve kanalda yer alacak aracı kurumlar seçilip aralarındaki ilişkiler belirlendikten sonra bu kanallarda malların fiziksel dağıtımının (hareketinin) nasıl yapılacağı konusuyla ilgilenilir.⁽¹³⁾

İşletmelerin mamûllerini tüketicilere ulaşmasını sağlayacak fiziksel dağıtım faaliyetleri çeşitli faaliyet gruplarından oluşur. Fiziksel dağıtımı oluşturan faaliyet gruplarına fiziksel dağıtım fonksiyonları denilmektedir. Bu fonksiyonlar şunlardır:⁽¹⁴⁾

- Taşıma
- Depolama
- Stoklama
- Haberleşme
- Koruyucu Ambalajlama
- Pazar Kestirimleri

(10) BALLOU: a.g.k. , s. 11.

(11) İlhan CEMALCILAR, Doğan BAYAR, Şan ÖZALP, İnal C. AŞKUN: İşletmecilik Bilgisi, E.İ.T.İ.A. Yayını, No: 122, Eskişehir, 1979, s. 17.

(12) Dağıtım Kanalı (Pazarlama Kanalı) bir malın ya da hizmetin sahipliğinin üreticiden tüketiciye doğru göçerilmesini sağlayan bir dizi pazarlama kurumundan oluşur. Dağıtım kanalları konusunda ayrıntılı bilgi için Bkz. İlhan CEMALCILAR, Pazarlama, E.İ.T.İ.A. Yayını, Eskişehir, 1977, s.140-187 ve Erdoğan KUMCU: "Dağıtım Kanalları Sistemi", Pazarlama Yönetimi (Seminer Notları), İst.Üniv., İşletme Fak., Pazarlama Enst. Yayını, No: 10, İstanbul 1978, içinde s. 257-280.

(13) CEMALCILAR: a.g.k., s. 283.

(14) İsmail KAYA: "Fiziksel Dağıtım Plânlaması", Pazarlama Yönetimi (Seminer Notları), a.g.k. içinde, s. 305.

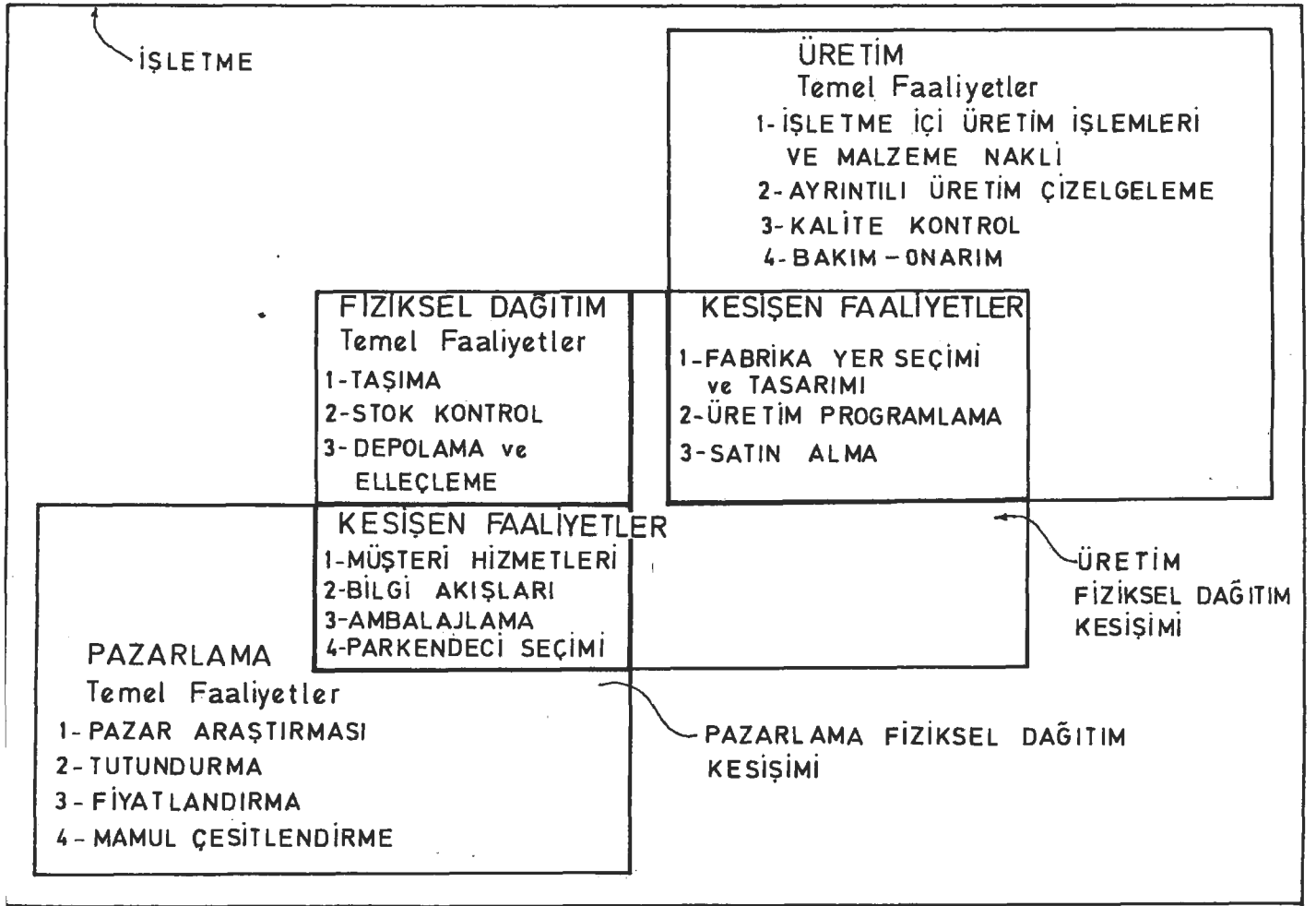
Cemalcılar, yukarıdaki faaliyet gruplarına üretimi zamanlama faaliyetini de ilâve ederek konunun üretim fonksiyonuyla ilişkisini ortaya koymaktadır.⁽¹⁵⁾

Fiziksel dağıtım faaliyetlerini gerçekleştirmek ve denetlemek için dağıtım sistemini kurma ve bu sistemin çalışmasını sağlama sorumluluğu ise fiziksel dağıtım yönetimi olarak adlandırılmaktadır.⁽¹⁶⁾ Ancak, bu yönetim görevinin ayrı bir örgütsel birim tarafından mı, yoksa üretim ve pazarlama birimleri tarafından mı yürütüleceği konusunda kesin bir fikir birliği yoktur.

Ballou örgüt içinde pazarlamacıların ve üretimle ilgilenenlerin fiziksel dağıtımını kendi sorumlulukları içinde gördüklerini belirtmektedir. Buna göre, pazarlama fiziksel dağıtımın satışları etkileyen yönleriyle, örneğin bölge depoları ve taşımayla ilgilenmektedir. İşletme içi mamûl stokları gibi doğrudan üretimi ilgilendiren unsurlar ise üretim faaliyetlerini yürütenlerin ilgi alanlarına girecektir. Fiziksel dağıtım kendi başına bir işletme fonksiyonu olarak ele alındığında, üretim ve pazarlama fonksiyonlarıyla kesişimleri Şekil 1-2'de görülmektedir. İşletme fonksiyonlarının üretim, pazarlama ve fiziksel dağıtım olarak üç yönetim birimince yürütülmesi fiziksel dağıtım faaliyetlerinin etkinliğini arttırmak için zorunlu değildir. Bunun yerine, üretim ve pazarlama faaliyetlerinin etkin bir şekilde koordinasyonu, fiziksel dağıtım için yeni bir örgütsel birim oluşturmadan, söz konusu faaliyetlerin düzenlenmesi için yeterli olacaktır.

(15) CEMALCILAR: a.g.k. s. 288.

(16) BOWERSOX, SMYKAY ve LeLONDE: a.g.k. s.5 ; Ayrıca ayrıntılı bilgi için Bkz. TENEKECİOĞLU: a.g.k., s. 5-9.



Şekil 1-2: İşletmelerde temel faaliyetlerin fiziksel dağıtım faaliyetlerini de içerecek şekilde gruplandırılması. (17)

Fiziksel dağıtım faaliyetleri işletmelerde geleneksel olarak destekleyici ya da yardımcı faaliyetler olarak görülmüştür. Böylece pazarlama yöneticileri çabalarının büyük bir kısmını müşteri arama ve özendirme işlevine ayırmışlardır. Ancak, son zamanlardaki gelişmeler sonucunda, yöneticiler fiziksel dağıtım faaliyetlerine verdikleri önemi arttırarak dağıtım giderlerinden tasarruf edebilecekleri ve talebi kamçılayıcı sonuçlar alabileceklerini görmeye başlamışlardır. (18)

(17) BALLOU; a.g.k. , s. 13.

(18) Philip KOTLER; Pazarlama Yönetimi, Cilt II (Çev.E. Yaman), Bilimsel Yayınlar Derneği, Yayın No: 3, 1976, s.222,

İşletme yönetimi açısından fiziksel dağıtıma verilen önemin artışı aşağıdaki dört temel nedenle bağlanmaktadır: (19)

1. Tüketici taleplerindeki değişimler
2. Endüstriyel işletmelerin ekonomik sorunları
3. Teknolojik değişim ve işletme problemlerinde niceliksel yöntemlerin gelişmesi
4. Pazarlama kavramı ve dağıtım sistemindeki gelişmeler

Günümüzde yöneylem araştırması, yönetim bilimi ve endüstri mühendisliği gibi disiplinlerde işletmelerin insan-makina bütünü olarak sistem yaklaşımı altında incelenmesi önem kazanmakta ve çeşitli yararlar sağlamaktadır. Bu nedenle bir sonraki kesimde fiziksel dağıtım faaliyetleri sistem yaklaşımı açısından ele alınarak, fiziksel dağıtım sistemi ortaya konacaktır.

II. FİZİKSEL DAĞITIM SİSTEMLERİ

Özellikle II. Dünya Savaşı'ndan itibaren sistem yaklaşımı problem çözme ve sistem tasarımıda sık kullanılır bir yaklaşım durumuna gelmiştir. Sistem yaklaşımı ilgilenilen sistemin tüm alt sistemleri ve üst sistemleriyle ele alınması ve sistemi oluşturan öge ve ögelerarası etkileşimlerin belirlenmesini amaçlamaktadır. Böylece, yapılan sistem tasarımlarının bir bütün içinde ele alınması ve sonuçların da o bütünün ana hatlarını ve amaçlarını yansıtan ölçütlere göre değerlendirilmesi sağlanmaktadır. (20)

(19) KAYA: Bir Pazarlama Bileşeni, a.g.k., s. 26

(20) Sistem Yaklaşımı konusunda ayrıntılı bilgi için Ekz: İmdat KARA: Yöneylem Araştırmasının Yöntem Bilimi, E.İ.T.İ.A. Yayını, No: 215-139, Eskişehir 1979, s.36-39

II.1 Fiziksel Dağıtımda Sistem Yaklaşımı

İşletmeler birbirleriyle ve devamlı değişen çevreleriyle dinamik ilişkileri bulunan, birbirlerine bağlı olarak belirli işlemleri gerçekleştiren öğelerden meydana gelmiş birer sistemdirler.⁽²¹⁾ İşletme sisteminin bir alt sistemi olarak ele alınan fiziksel dağıtım sistemi ise en az masrafla istenen malların, istenen yerde, istenen zamanda bulunmasını amaçlar.⁽²²⁾

Fiziksel dağıtımın sistem çerçevesi içinde ele alınmasıyla işletmelerin mamûllerini tüketicilere ulaştırmalarıyla ilgili kararların ve davranışların bir bütün olarak tanımlanması sağlanır. Sistemi oluşturan öğelerin amaçlar doğrultusunda sistemin bütününe nasıl etkileyeceği belirlenir.

Uygun bir biçimde kurulup işletilen fiziksel dağıtım sisteminin sağladığı yararlar şu şekilde sıralanabilir:⁽²³⁾

1. Satışları arttırır,
2. Dağıtım maliyetlerini düşürür,
3. Üretim ve tüketim arasındaki yer ve zaman farklılıklarına uyum sağlar,
4. Fiyatları kararlı kılar,
5. Dağıtım kanalının seçimini etkiler.

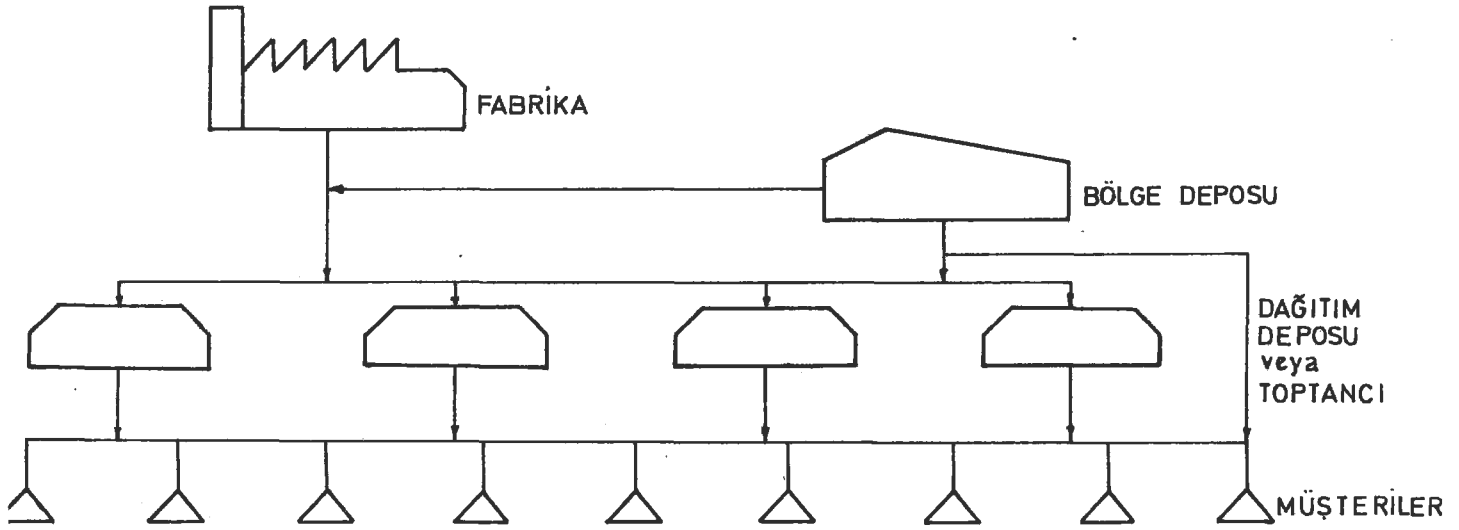
Öte yandan fiziksel dağıtımda sistem yaklaşımı bilimsel çalışmalardaki model kullanımına esas olarak sınırların, sistem öğeleri ve bu öğelere ilişkin özellik ve eylemlerin belirlenmesini sağlayacaktır. Fiziksel dağıtım sistemini gösteren modeller yoluyla belirli eylem ve girdilerin sistemdeki sonuçlarına ilişkin kestirim ve genellemeler yapmak mümkün olabilecektir.

(21) R.A.JOHNSON, F.A.KAST, J.E.ROZENZWEIG; "Systems Theory and Management", Management Science, Vol. No:2, 10, 1964, s.354

(22) John F. MAGEE; Physical Distribution Systems, McGraw Hill, Inc., 1967, s.2.

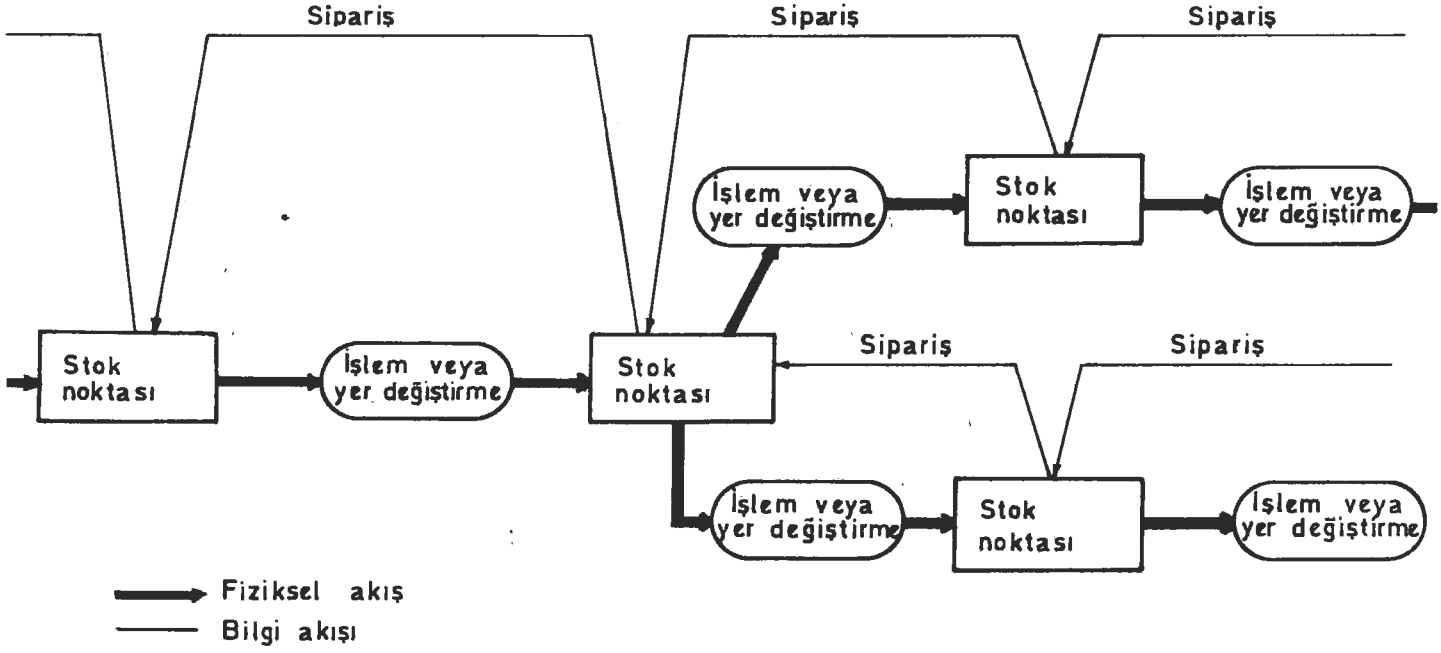
(23) CEMALCILAR; a.g.k., s. 286.

Fiziksel dağıtım sistemini ortaya koyabilecek bir gösterim Şekil 1-3'de örneklenmiştir. Bir veya daha fazla olabilecek fabrikalardan bölge depolarına, oradan da dağıtım depoları veya toptancılar yoluyla müşterilere doğru bir mamül akışı vardır. Burada örneklenen fiziksel dağıtım sistemi yapısı dağıtım politikalarına, pazar ve dağıtım yapısına, mamül türüne göre farklı şekillerde oluşturulabilir.



Şekil 1-3 Fiziksel dağıtım sisteminin yapısı

Fiziksel dağıtım sisteminde temel faaliyetler ise Şekil 1-4'de görülen taşıma (yer değiştirme), depolama ve bunlara ilişkin bilgilerin ilgili yerde olmasını sağlayan haberleşme faaliyetleridir.



Şekil 1-4 Fiziksel Dağıtım Sisteminde Temel Faaliyetler. (24)

II.2 Fiziksel Dağıtım Sisteminin Öğeleri

Fiziksel dağıtım sisteminin temel öğeleri (alt sistemleri) dağıtım sistemlerindeki temel faaliyetlere bağlı olarak:

- i. Taşıma alt sistemi
 - ii. Depolama alt sistemi
 - iii. Bilgi (Haberleşme) ve sipariş işleme alt sistemi
- olarak gösterilmektedir. (25) Bu alt sistemler ana hatlarıyla aşağıda ele alınmaktadır.

(24) MAGEE; a.g.k., s. 6

(25) KAYA; a.g.k., s.88

II.2.1 Taşıma Alt Sistemi

Fiziksel dağıtım sisteminde belirlenen dağıtım kanalına göre mallar üretildikleri noktadan kanalın ilk basamağında yer alan pazarlama birimine kadar taşınmak zorundadır. Bu taşıma için de taşıma araçlarına gerek vardır. Yeterli bir taşıma için üç faktör önemlidir:

1. Taşıma süresi
2. Taşımanın maliyeti
3. Taşımanın sürekli olması⁽²⁶⁾

Çalışmanın odak noktasını oluşturan taşıma alt sistemine ilişkin ayrıntılı bilgiler izleyen kesimde verilecektir.

II.2.2 Depolama Alt Sistemi

Fiziksel dağıtım süreci içersinde malların bazı noktalarda depolanmasına gerek duyulur. Depolar ise üretimi tamamlanmış malların işletme içinde veya dışında saklanmasına yarayan tesislerdir. Depolamanın sebepleri olarak aşağıdaki unsurlar gösterilmektedir:⁽²⁷⁾

- i. Müşterilere zamanında mal ulaştırma isteği,
- ii. Üretim ve talep arasındaki miktar uyumunu sağlamak,
- iii. Fiyat ve sunum oynamalarına karşı güvenlik veya spekülatif amaçlar.

(26) TENEKECEİOĞLU; a.g.k., s.104

(27) BALLOU; a.g.k., s.189

Depolama sistemiyle ilgili olarak ele alınması gereken ve karar problemi olarak ortaya çıkan unsurlar şunlardır: (28)

1. Stoklama noktalarının yer, sayı ve büyüklüklerinin belirlenmesi,
2. Depoların işletilmesi, düzenlenmesi, vb. yönetsel kararlar.

II.2.3 Bilgi ve Sipariş İşleme Alt Sistemi

Şekil 1-3 ve Şekil 1-4'de görüldüğü gibi fiziksel dağıtım sistemi birbirine çeşitli eylemlerle bağlı noktalardan oluşmaktadır. Bu noktalar çoğu kez birbirinden coğrafi olarak ayırık durumdadır. Fiziksel dağıtım sisteminin amacına ulaşması için bilgilerin yollanması, kaydedilmesi ve ilgili birimlere gereken uyarıların yapılması gerekir.

Bilgisayar destekli olsun veya olmasın, fiziksel dağıtım bilgi sistemindeki temel faaliyetler şunlardır: (29)

- i. Siparişler ve diğer ilgili bilgilerin girdi olarak alınması,
- ii. Girdilerin işlenmesi ve saklanması,
- iii. İşlem gören bilgilerin gerektiğinde veya istenildiği zaman ilgili yerlere ulaştırılması.

Fiziksel dağıtım bilgi sistemi yönetsel kararlar için gerekli bilgileri sağlayacağı gibi bu bilgiler sistemin denetlenmesinde de kullanılır.

(28) KAYA; Bir Pazarlama Bileşeni Olarak, a.g.k., s.116

(29) BALLOU: a.g.k., s.37-38

II.3 Fiziksel Dağıtım Sisteminin Etkinliği

Sistemlerde etkinlik genel olarak sistem çıktı-
larının girdilere oranı olarak tanımlanmaktadır.⁽³⁰⁾ Fiziksel
dağıtım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde de belirli amaç-
lara sahip olunduğu, belirli girdiler kullanılarak sonunda
birtakım çıktılar alındığı söylenebilir. Fiziksel dağıtım sis-
temlerinde temel girdiler maliyetler yoluyla ölçülebilir olma-
sına karşılık, sistemde yaratılan çıktı ölçüsünün ne olduğu
sorusuna kesin bir yanıt verme olanağı yoktur. Bunun nedeni
dağıtım faaliyetleri sonucu müşteri hizmeti şeklinde niceliksel
olmayan bir çıktı elde ediliyor olmasıdır.⁽³¹⁾ Bu nedenle fi-
ziksel dağıtım sisteminin etkinliğinin ençoklanması, sistem
çıktılarının neler olduğu ve nasıl ölçülebileceğinin ortaya
konması ve sistemin getireceği maliyetleri gözönüne alarak
hizmet seviyesi ve maliyetler arasında en iyi dengenin kurul-
ması yoluyla olacaktır.

II.3.1 Müşteri Hizmeti

Fiziksel dağıtımın temel çıktısı müşteri
hizmeti olup aşağıdaki unsurlarla belirlenir:

- (i) Teslim süresi
- (ii) Mamûl bulundurma güvenliği
- (iii) Sipariş özellikleri ve kısıtları⁽³²⁾

Sipariş teslim süresi sipariş alındıktan sonra tesli-
mine kadar geçen süredir. Bu süre içine yükleme ve taşıma
süreleri de girmektedir. Mamûl bulundurma güvenliği ise çeşit
bulundurma, stok kopması, siparişin gecikmeli karşılanması,
kısmî teslimatların sayısı gibi işletmenin talep karşılama
özellikleridir. Sipariş özellik ve kısıtları ise işletmenin
siparişlerle ilgili koyduğu en az sipariş miktarı, siparişin

(30) Martin K. STARR; Systems Management Of Operations, Prentice
Hall, Inc., New Jersey, 1971, s. 17.

(31) Dağıtım Sistemlerinde etkinlik konusunda ayrıntılı tartış-
malar için Bkz: Z. HÜLDAN GÜRSEL; "Dağıtım Sistemlerinde
Etkinliğin Ölçülmesi Sorunu", (Bildiri), Yöneylem Araştır-
ması V. Ulusal Kongresi, Eskişehir, 1979

(32) BALLOU; a.g.k., s. 96

miktarı, siparişin belli dönemlerde alınması gibi kısıtlayıcılarla işletmenin dağıtım ile ilgili fabrika teslimi, yerinde teslim gibi özelliklerdir.

Fiziksel dağıtım sisteminin temel amacı belirli bir hizmet düzeyini en düşük maliyetle sağlamaktır. Hizmet düzeyi ise, fiziksel dağıtım sisteminin, malları satın alanlara sağladığı yararlar olarak tanımlanmaktadır.⁽³³⁾ Buna göre, teslim süresinin kısalığı, mamûl bulundurma güvenliğinin yüksek olması ve sipariş vermede karşılaşılan kısıtlayıcıların en az olması hizmet düzeyini yükseltecektir. Ancak bu durumda fiziksel dağıtım maliyetleri de artacaktır.

II.3.2 Fiziksel Dağıtım Maliyetleri

Fiziksel dağıtım maliyetleri denildiğinde, genellikle taşıma ve depolama maliyetlerinin akla gelmesi yönünde bir eğilim vardır. Bunların dışındaki maliyet unsurları, hatta taşıma ve depolamaya ne tür maliyetlerin girdiği konusu pek açıklıkla ortaya konamaz. Fiziksel dağıtım maliyetlerinin analiz edilmesi, geliştirilmesi ve etkinlik kazandırılması yönünde yapılacak çalışmalar ilgili maliyet merkezlerinin ve bu noktalarda ortaya çıkan maliyetlerin kesin bir biçimde bilinmesini gerekli kılar.⁽³⁴⁾

Fiziksel dağıtım fonksiyonlarına bağlı olarak ortaya çıkan maliyetlerin ayrıntılı bir gösterimi Saunders tarafından yapılmıştır. Buna göre, fiziksel dağıtım maliyetleri aşağıdaki gruplarda ele alınmaktadır.⁽³⁵⁾

1. Taşıma giderleri:

Taşıma için ödenen her türlü ücretler, amortisman giderleri ve işletme giderleri.

2. Depo Giderleri:

Depoların yapım ve işletme giderleri, depoların amortisman giderleri, ödenen depolama ücretleri.

(33) CEMALCILAR; a.g.k. , s.291

(34) KAYA; Bir Pazarlama Bileşeni , a.g.k., s. 80

(35) Willian B. SAUNDERS; "Designing a Distribution System" Distribution Age, January, 1965, s.32-36, Donald J.BOWERSOX, Edward W. SMYKAY; Reading in Phsysical Distribution Managment, Mc Millan Co., 1969, içinde s.130-131

3. Karşılanmayan ve hasar gören siparişler sonucu ortaya çıkan giderler:
Tazminatlar, hasar ve stok tükenme giderleri.
4. Yönetim Giderleri:
İdari personel, büro ve kırtasiye giderleri.
5. Stoklama Giderleri:
Stoklara yapılan yatırımın fırsat maliyeti, sigorta giderleri, stokların yer işgal etmesinden doğan kayıplar.
6. Ambalajlama Giderleri:
Ambalajlama ve denkleme malzemesi giderleri, işçilik ücretleri, hasarlar.
7. Elleçleme Giderleri:
Elleçleme donanım giderleri ve işçi ücretleri.

Fiziksel dağıtımda maliyet unsurlarını alt sistemlerin maliyetleri olarak da ele almak mümkündür. Buna göre fiziksel dağıtım maliyetlerini:

- (i) Taşıma alt sistemi giderleri,
- (ii) Depolama alt sistemi giderleri,
- (iii) Bilgi ve sipariş işleme giderleri oluşturacaktır.

II.3.3 Fiziksel Dağıtım Sistemlerinde Dengeleme

Hiçbir fiziksel dağıtım sistemi aynı anda müşteri hizmetini en yüksek ve dağıtım maliyetlerini en az kılmaz. En yüksek müşteri hizmeti geniş stoklar, yüksek hızla ve pahalı taşıma, birçok depoların bulundurulması gibi kararların alınmasını öngörür ki, bunların tümü dağıtım giderlerini yükseltir. En az dağıtım giderleri ise, yavaş ve ucuz taşıma, düşük stoklar ve az sayıda depo bulunmasını öngören politikaların izlenmesi anlamını taşır. (36)

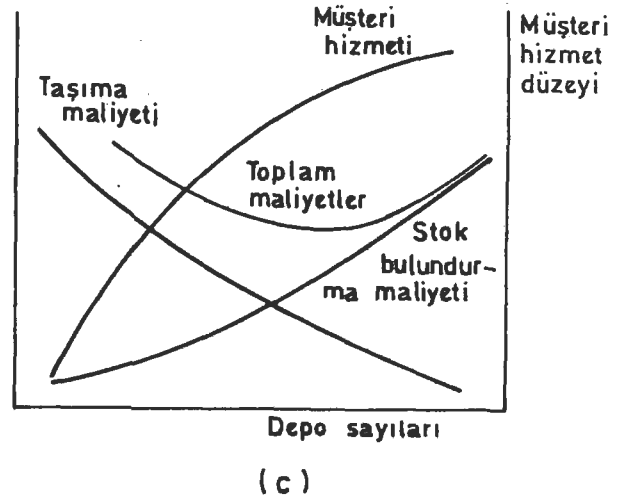
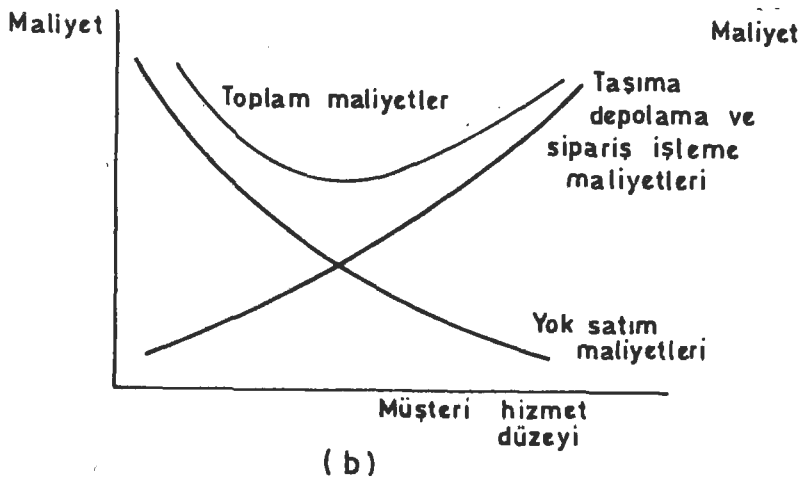
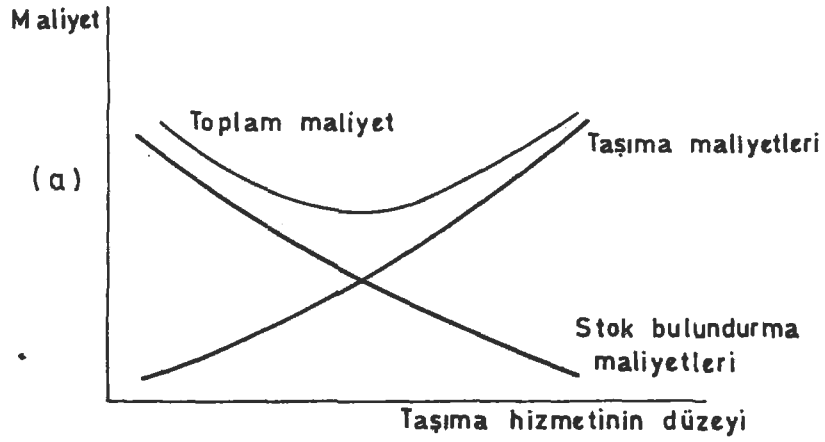
(36) KOTLER; a.g.k., s.226

Fiziksel dağıtımda temel sorun hizmet düzeyi ile sistem maliyetleri arasında en iyi dengeyi bulmaktır. Fiziksel dağıtım sisteminin maliyetleri ile sistemin sağladığı müşteri hizmeti arasındaki, dengeleme problemi olarak ele alabileceğimiz bu sorunun çözümü teorik açıdan kolay gibi gözükmesine rağmen pratikte bu pek kolay görünmemektedir.⁽³⁷⁾ Bunun temel nedeni fiziksel dağıtım maliyetlerinin birbiriyle çelişiyor olması ve tüm fiziksel dağıtım sisteminin bir etkinlik fonksiyonuyla gösterilememesidir. Şekil 1-4'de fiziksel dağıtım maliyetleri ile hizmet düzeyi arasındaki ilişkiler açıklanmaktadır.

Şekil 1-4 (a)'da görüldüğü gibi sağlanan taşıma hizmetinin kalitesi (hız ve güvenlik) arttıkça taşıma giderleri de artacaktır. Şekil 1-4 (b)'de ise müşteriye sağlanan hizmet düzeyi artışının, örneğin yoksatma durumlarının azalmasının taşıma, depolama ve sipariş işleme giderlerindeki artışla sağlanabileceği görülmektedir. Şekil 1-4 (c) ise depo sayılarının belirlenmesine ilişkin çelişen maliyet unsurlarını göstermektedir. Depo sayılarındaki artış taşıma giderlerini azaltacak, buna karşılık stok bulundurma giderleri artacaktır. Bağlı olarak müşteriye sağlanan hizmet düzeyi bu değişimlerden etkilenecektir.

(37) KAYA; Bir Pazarlama Bileşeni Olarak, a.g.k., s.9y

(38) BALLOU; a.g.k., s.25



Şekil 1-4 Fiziksel Dağıtım Sisteminde Maliyetler ve Hizmet Düzeyi (38)

II.3.4 Fiziksel Dağıtımda Etkinliğin Sağlanması

Bir önceki kısımda örneklenen karmaşık etkileşimlerin varolduğu fiziksel dağıtım sisteminde dengeleme probleminin çözümü için iki yol önerilmektedir.⁽³⁹⁾ Bunlardan birincisi, her faaliyetle ilgili olarak yapılabilecek değişikliklerin

(39) KAYA; Bir Pazarlama Bileşini Olarak, a.g.k., s.95-96

fiziksel dağıtım sisteminin toplam maliyetine yapacağı etkiyi tahmin etmek ve eğer maliyetleri düşürecekse söz konusu değişikliği uygulamaya koymak ve sonuçlarını gözlemektir. İkincisi, fiziksel dağıtım sistemini oluşturan öğelerin (alt sistemlerin) ayrık olarak eniyilenmesi ve karşılıklı etkileşimleri gözden uzak tutmadan tüm sistemi eniyiye doğru yaklaştırmaktır.

Eğer sistemin tümü bir etkinlik fonksiyonuyla gösterilebiliyorsa, birinci yolu seçmenin doğru olacağı açıktır. Ancak çok sayıda değişken ve parametre içeren, bir çok etkileşimler içinde olan fiziksel dağıtım sistemleri bir bütün olarak etkinlik fonksiyonuyla ifade edilmeyecektir. Bu durumda fiziksel dağıtım sisteminin bütünü gözden uzak tutmadan alt sistemlerin ayrık olarak eniyilenmesi daha gerçekçi olacaktır.

Bütün butartışmalar ışığında fiziksel dağıtımda etkinliğin sistem yaklaşımıyla sağlanabileceği görülmektedir. Dağıtım kararlarına esas olacak bütün faktörlerin, kısıtlayıcıların, durum koşullarının ve ilişkilerinin belirlenmesini amaçlayan fiziksel dağıtım sistemi aşağıdaki özellikleriyle belirlenir:

- Fiziksel dağıtım sistemi işletme sisteminin bir alt sistemidir ve işletmenin bütünleşik amaçları ve genel başarı ölçütü gözönüne alınarak değerlendirilmiştir.
- Fiziksel dağıtımın amacı endüşük giderle istenen malı istenen yerde gereken zamanda bulundurmaktır.
- Fiziksel dağıtım sistemi taşıma, depolama ile haberleşme ve sipariş işleme sistemlerinden oluşur. Fiziksel dağıtım giderleri açısından çelişen maliyet unsurları içermeleri nedeniyle fiziksel dağıtım kararlarında alt sistemlerin karşılıklı etkileşimleri gözönüne alınmalıdır.

Yukarıda özetlenen biçimde, fiziksel dağıtımın sistem bütünü içinde ele alınması ve faaliyetlerin de sistemin ana hatlarını yansıtan ölçütlere göre plânlanıp yürütülmesi fiziksel dağıtım sisteminin etkinliğini arttıracaktır.

III. BİR FİZİKSEL DAĞITIM SİSTEMİ ÖGESİ OLARAK TAŞIMA ALT SİSTEMİ

Taşıma sisteminin yapısı, işleyişi ve etkinliği bugün yalnız işletme yöneticilerini ilgilendiren konular olmaktan çıkıp, ülke ekonomisi üzerindeki çeşitli etkileri nedeniyle ekonomi ve kamu politikasıyla uğraşanların da ilgi alanı içine girmiştir. Taşıma sisteminde etkinliğin arttırılmasının makro ekonomik katkıları;

- a) Pazarda daha çok rekabet olanağı sağlaması,
- b) Üretimde ölçekler ekonomisine katkısı ve
- c) Mamül fiyatına olan etkisiyle belirtilmektedir. (40)

Uzak pazarlara düşük maliyetlerle taşıma yapılabilmesi sonucu pazarlar genişlemiş ve rekabet artmıştır. Pazarlar genişleyince büyük ölçekte üretimler söz konusu olmuş, aynı zamanda üretim maliyetleri de düşürülebilmektedir.

Bu kesimde birfiziksel dağıtım alt sistemi olarak tanımlanan ve fiziksel dağıtım bütünüyle etkileşimleri belirlenen taşıma sistemi, ayrı olarak ele alınarak taşıma sistemini oluşturan öğeler ve taşıma giderleri incelenecektir.

III.1 Fiziksel Dağıtım ve Taşıma Fonksiyonu

İşletme açısından fiziksel dağıtım sistemi içinde taşıma fonksiyonu, mallara yer faydası kazandıran faaliyetlerdir. Taşıma faaliyetleri, coğrafi olarak birbirinden ayrı olan işletme tesisleri ve pazarlar arasında fiziksel bağlantı kurulmaktadır. Taşıma faaliyetlerine gereksinme sektörler ve işletmeler arasında farklılıklar göstermekle birlikte, taşıma giderleri fiziksel dağıtım giderlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. (41)

(40) BALLOU; a.g.k., s. 121

(41) ABD'de yapılan bir araştırmada, fiziksel dağıtım giderleri arasında taşımaya ilişkin olanların %44 ile oransal olarak enyüksek olduğu belirlenmiştir. İzleyen giderler ise depolama %20 ve stok bulundurma %18 olarak bulunmuştur. Bkz: Robert P. NEUSCHEL; "Physical Distribution-Forgetten Frontier", Harward Business Review, March-April 1967, s.125-134, N.E. DANIEL, J.R. JONES, a.g.k. içinde, s.14-36. Türkiye'de yapılan bir araştırmada ise araştırmacı tarafından tam olarak genellenebilir görülmemekle birlikte, söz konusu oranlar stok bulundurma, taşıma ve depolama için sırasıyla %33, %25 ve %17 olarak bulunmuştur. Bkz. KAYA; Bir İşletme Bileşeni..., a.g.k., s. 212.

Mam l değeri yüksek yükler için taşıma gideri mam l değeri içinde küçük bir pay tutmakla birlikte tahıl, maden cevheri gibi yükler için taşıma gideri mam l değerine eklendiğinde önemli bir yüzde oluşturacaktır.

Taşıma fonksiyonu yoluyla mam llerin ekonomik süreçler arasında yer değiştirmesi sağlanır. Başka bir deyişle mam llere yer faydası sağlanır. Taşıma faaliyeti sonunda mam lun el değiştirmesi veya sahipliğinin değişmesi:

- a) Bireysel veya aile tüketimi için (tüketim malı)
- b) Malın biçim faydası nedeniyle bir başka işletme tarafından kullanılmak üzere ( retim ara malı),
- c) Tüketim için bir başka işletme tarafından kullanılmak üzere (sermaye malı), veya;
- d) Mam l n satışını yapacak bir başka işletmeye devredilmesi (toptancı veya perakendeci) nedenlerinden kaynaklanmaktadır. (42)

Daha önce fiziksel dağıtım kapsamının tamamlanmış mam llerin alıcılara ulaştırılmasıyla ilgili olduğu belirtilmişti. Ancak bir işletmede satın alınan hammaddelerin, yardımcı malzeme ve parçaların da işletme tarafından taşıtılması söz konusu ise, bunların da taşıma fonksiyonu içinde ele alınması gerekir.

(42) William H. DODGE; "Purchasing Transportations Services", Journal of Purchasing, ol.1, May, 1965, s. 24-37

DANIEL - JONES; a.g.k. içinde, s. 101-118

III.2 Taşıma Sisteminin Öğeleri

Taşıma sistemiyle ilgili temel öğeler şunlardır:

- (i).Taşıma ağı (serim)
- (ii).Taşıma araçları
- (iii).Taşınan yükler

Söz konusu öğeler aşağıda tanıtılmaktadır.

III.2.1. Taşıma Ağı (Serim)

Taşıma sistemlerinde, çalışmanın konu olduğu saha genellikle yükleme ve boşaltma veya başlama ve bitiş noktalarıyla belirtilmekte ve bölgedeki ulaşım bağlantıları da Şekil 1-5'de örneklendiği gibi bir serim üzerinde gösterilmektedir. Aşağıda serimle ilgili çizge kuramında (network theory) yer alan bazı tanımlar verilecektir.⁽⁴³⁾

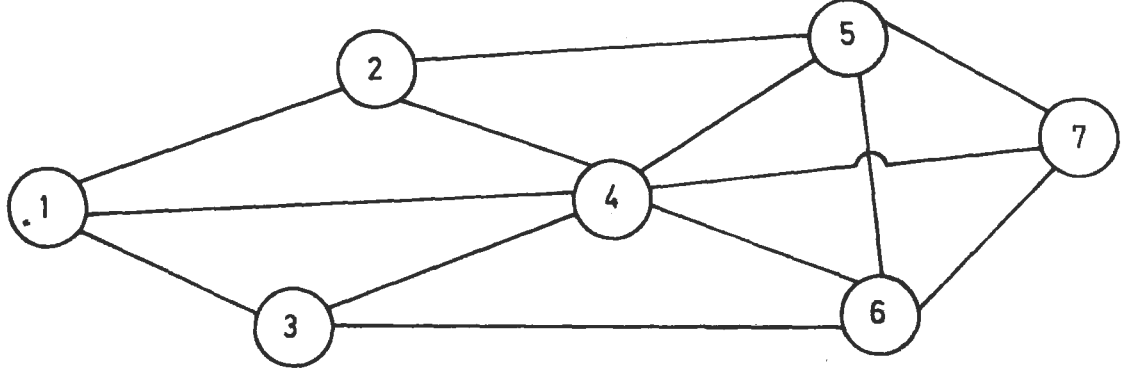
Düğüm: Serim üzerinde ayrık noktalar düğüm olarak adlandırılır. Taşıma sistemini gösteren bir serim üzerinde düğümler yükleme veya boşaltma tesislerini veya noktalarını gösterirler.

Ayrıt: Serimde düğümleri birleştiren hatlar ayrıt olarak adlandırılır. Ayrıt üzerinde akış sadece bir yönde ise buna "Yönlendirilmiş Ayrıt" adı verilir. Tüm ayrıtları yönlendirilmiş serim ise "Yönlendirilmiş Serim" olarak adlandırılır.

Yol : Herhangi iki düğümü bağlayan bir veya daha fazla ayrıttan oluşan bağlantı yol olarak adlandırılır. Taşıma sistemlerinde yollar "Güzergâh" olarak da adlandırılır.

(43) Rentley B. POTTS, Robert M. OLIVER; Flows in Transportation Networks, Academic Press Inc., New York, 1972, s.2

Çevrim: Herhangi bir düğümü kendisine bağlayan yol çevrim olarak adlandırılır. Taşıma sistemlerinde çevrim yerine "Tur" terimi daha çok kullanılmaktadır.



Şekil 1-5: Taşıma Ağı (Serim)

Düğümmler arasındaki bağlantılar üzerinde taşıma faaliyetleri söz konusudur. Bu faaliyetler maliyet, hız, hizmetin kalitesi gibi özelliklerle birbirinden farklılıklar göstermektedir. (44)

III.2.2 Taşıma Araçları

Taşıma sistemlerinde taşımanın yapılacağı ortam genellikle taşıma türü (mode) olarak adlandırılır. Taşımanın gerçekleştirilebileceği beş taşıma türü vardır:

- Demiryolu
- Karayolu
- Su Yolu
- Hava Yolu
- Boru Hattı

Söz konusu taşıma türlerinin özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

1. Demiryolu

Geniş hacim ve miktardaki yüklerin uzun mesafelere en etkin olarak taşındığı demiryolu ulaşımının belirgin özelliği çok yüksek yatırım maliyetine gereksinme olmasıdır.

(44) BOWERSOX; a.g.k., s. 312.

Buna karşılık işletim giderleri (değişken giderler) sabit maliyetlere oranla önemsiz kalmaktadır. Az sayıda iş gücü ile büyük miktarda yükler km. başına düşük bir ücretle uzun mesafelere taşınabilmektedir. Demiryollarında yol ağır yüklerle dayanabilmekte, çekim gücü ve taşıtlar bakımından da geniş olanaklar sağlanmaktadır.

2. Karayolu

Hemen her türlü yol üzerinde hareket edebilen karayolu taşıtlarının herbirinde itici güç kaynağı vardır. Bu da karayolu taşıma araçlarında işletim giderlerinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Demiryollarına oranla karayolu taşıtları düşük ağırlık ve hacimdeki yükleri kısa mesafelerde taşımak için elverişlidir. Mallar, kolaylıkla göndericinin yerinde yüklenip alıcının bulunduğu yere boşaltılabilir.

3. Suyolu

Suyoluya taşıma ise en eski ve en ekonomik taşıma şeklidir. Suyolu çok büyük hacim ve miktarda yüklerin taşınmasına olanak verir. Liman, rıhtım, depo tesisleri ile gemiler için yatırım maliyetleri demiryollarından az ancak karayollarından fazladır. Suyolunun en önemli özelliği düşük hızıdır.

4. Havayolu

Hava yolu taşımacılığı sağladığı büyük hız sayesinde önem kazanmıştır. Hızlı taşınması gereken maddeler ile bozulma özelliği taşıyan maddeler en çok havayoluya taşınır. Havayolu taşımacılığında yatırım maliyetleri çok fazla, olmasına rağmen işletim giderleri oldukça yüksektir.

5. Boru Hattı

En çok petrol ve türevlerinin taşındığı boru hattı taşımada sistem pompalama istasyonları, depolama tankları ve taşıyıcı borulardan ibarettir. Boru hattında yatırım maliyetleri çok yüksek olmasına rağmen, değişken giderler hemen hiç denecek kadar azdır.

Boru hattıyla tek yönde sürekli taşıma sağlanabilir. (45)

III.2.3 Taşınan Yükler

Fiziksel dağıtıma, dolayısıyla taşımaya konu olan malların sayısı onbinlercedir. Bu nedenle bunların hepsi üzerinde ayrı ayrı durulması mümkün değildir. Ancak, taşınacak malların özellikleri çeşitli yönlerden taşıma araçlarının seçimini ve taşımayla ilgili diğer kararları etkileyecektir. Örneğin taşınacak mallar çabuk bozulur nitelikte ise hızlı taşıma gereklidir. Malın birim değeri yüksek ise, stokta çok mal tutmayacak taşıma sağlanmalıdır.

Fiziksel dağıtım sisteminin ve dolayısıyla taşıma sisteminin tasarımı ve maliyetlerde doğrudan etkili olarak aşağıdaki dört mamül niteliği gösterilmektedir. (46)

- (i) Ağırlık - Hacim oranı
- (ii) Değer - Ağırlık oranı
- (iii) Risk karakteristikleri
- (iv) İkame edilebilirlik

Sıralanan mamül niteliklerinden ilk üçü taşımayla ilgili kararları doğrudan etkileyecektir.

Ağırlık-Hacim oranının yüksek olması, taşıma araçlarının ağırlık taşıma kapasitelerinden tam olarak yararlanılmasını sağlayacaktır. Böylece taşıma maliyetlerinin toplam maliyet içindeki oransal payı azalma gösterecektir.

Düşük değer- ağırlık oranına sahip yükler, yüksek değer ağırlık oranına sahip yüklere göre daha fazla taşıma maliyeti gerektirirler. Başka bir deyişle değer-ağırlık oranı düşük mallar için taşıma maliyeti satış fiyatı içinde önemli bir yüzde oluşturacaktır.

Kırılabilirlik, tutuşabilirlik, bozulabilirlik, patlayabilirlik ve çalınabilirlik gibi mamül nitelikleri, taşımayla ilgili bir dizi kısıtlayıcı ortaya çıkarır veya özel önlemlerin alınmasını gerektirir.

(45) Taşıma türleri konusunda ayrıntılı bilgi için Bkz. TENEKECİOĞLU; a.g.k., s.47-71

(46) BALLOU; a.g.k., s. 91; ayrıca Bkz., KAYA; Bir Pazarlama Bileşeni Olarak, a.g.k., s.35

Bu nedenle taşınacak yüklere ilişkin risk artışı beraberinde maliyet artışı da getirecektir.

II.3 Taşıma Giderleri

Fiziksel dağıtım giderleri içinde önemli bir yer oluşturan taşıma giderlerine etki eden birçok faktör vardır. Bunlardan bazıları aşağıda gösterilmiştir: (47)

- Taşınacak yükün cinsi, yükleme-boşaltma özellikleri,
- Taşınacak yükün çeşitliği, yüklerin bazılarının diğerlerinin taşınmasını kısıtlaması,
- Taşıma türü (demiryolu, karayolu, havayolu, veya su yolu),
- Taşıma kapasitesi
- Taşıma araçlarının mülkiyeti

Bu faktörlerden en önemlisi olarak taşıma araçlarının mülkiyeti gösterilmektedir. (48) Buna göre taşıma hizmetinin sağlanma biçimi taşıma giderlerinin oluşumunu etkileyecektir.

Taşıma hizmeti satın alındığında, taşıma giderlerini oluşturan unsurların başında taşıyıcı kuruluşların uyguladığı tarifeler vardır. Tarife düzenlenmesinde iki etken söz konusudur:

- a) Uzaklık
- b) Miktar (49)

Genellikle ton/km başına düşen taşıma ücreti uzaklık arttıkça düşer. Ayrıca taşınacak miktar büyüdükçe ücret azalır. Bu durumda az miktardaki mal taşımada ekonomi sağlanması için, aynı yere taşınan az miktardaki mallar biraraya getirilip, vagon yükü ya da kamyon yükü ölçülerinde taşınır.

(47) Samuel EILON, C.D.T. Watson-GANDY, Nicos CHRISTOFIDES, Distribution Management-Mathematical Modelling and Practical Analysis, Charler Griffin and Company, Ltd., London, 1971, s.5

(48) EILON ve Arkadaşları, a.g.k., s.6

(49) BALLOU; a.g.k. , s. 159

Nakliyeciler ya da ambarcılar diye bilinen kişiler veya işletmeler bu işlerle uğraşırlar.⁽⁵⁰⁾ Taşıma hizmetini satın alan işletmelerin, taşıyıcılara ödedikleri taşıma ücreti dışında:

- yükleme - boşaltma,
- çeşitli elleçleme işlemleri,
- depolama ve ambarlama

giderleri de söz konusu olabilir.

İşletme taşıma gereksinmesini genel taşıma araçları yerine kendi araçlarıyla karşılırsa, katlanacağı taşıma giderleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır:⁽⁵¹⁾

1- Dolaysız Giderler:

- a) Personel (sürücü ve yardımcılar) giderleri
- b) İşletim giderleri
- c) Genel giderler
- d) Yatırıma ilişkin kapital bağlama giderleri

2- Dolaylı Giderler:

- a) Personel (sürücü ve yardımcı dışında)
- b) Donanım, malzeme ve diğer

Sağlanan hizmet hacmine bağlı olarak taşıma giderlerinin sabit ve değişken giderler olarak sınıflandırılması da söz konusudur. Sabit giderler taşınan yük miktarıyla değişmeyen giderlerdir. Değişken giderler ise taşınan yük miktarına göre farklılık gösterirler.⁽⁵²⁾

Taşıma sisteminde taşıma giderlerinin belirlenmesi için taşıma ağı üzerindeki ayrıtlara ilişkin maliyetlerin alınması oldukça yaygındır. Taşıma sistemlerinde taşımanın yapılacağı alan bir taşıma ağı olarak gösterildiğinden, taşıma maliyeti de yükleme ve boşaltma noktalarını simgeleyen düğümleri bağlayan ayrıtlar üzerindeki taşımanın maliyeti olacaktır. Taşıma

(50) CEMALCILAR; a.g.k., s. 159

(51) SMYKAY; a.g.k., s. 310

(52) Sabit ve değişken taşıma giderlerinin ayırımı için Bkz. Edward W. SMYKAY, Donald J. BOWERSOX, Frank H. MOSSMAN Physical Distribution Management, MacMillan Co., New York, 1961, s. 73-83

ile ilgili problemlerin matematiksel gösteriminde genellikle iki düğüm arasındaki taşıma maliyetleri ele alınmaktadır. Buna göre bir taşıma ağındaki i ve j düğümlerini bağlayan ayrıt üzerindeki birim taşıma gideri c_{ij} ile gösterilmektedir. Böylece bir taşıma ağı üzerinde bütün maliyetler bir maliyet matrisi:

$$C = [c_{ij}] \text{ olarak gösterilebilir.}$$

Bir taşıma ağı üzerinde iki düğüm arasında doğrudan bağlantı yoksa, iki düğümü bağlayan yol maliyeti hesaplanmalıdır. Buna göre n_1 ve n_r düğümlerini bağlayan yol maliyeti $n_1, n_2, \dots, n_r$ bir yol oluşturmak üzere:

$$\sum_{i=1}^{r-1} c(n_i, n_{i+1})$$

olarak hesaplanacaktır. (53)

Taşıma giderleriyle ilgili önemli bir husus, maliyetlerin sadece parasal olarak değil, aynı zamanda süre, uzaklık gibi ölçüler kullanılarak da gösterilebileceğidir.

Bu çalışma boyunca taşıma ağı üzerindeki taşımalara ilişkin maliyetlerin gösteriminde yukarıdaki notasyon kullanılacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM

FİZİKSEL DAĞITIM SİSTEMLERİNDE TAŞIMAYLA İLGİLİ KARAR PROBLEMLERİ

I. TAŞIMAYLA İLGİLİ KARAR PROBLEMLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Taşıma teknolojisindeki ve yöntemlerindeki hızlı değişimler ve sistemin tüm ögeleriyle bir bütün olarak ele alınması, taşıma sistemlerinin tasarım ve işletimindeki seçenek sayısının artmasına neden olmaktadır. Sisteme ilişkin birden fazla eylem seçeneğinin olmasına bağlı olarak sistemin davranış ölçeğinin her eylem seçeneğine göre farklı değerler alması, çeşitli karar problemleri oluşturmaktadır. Karar problemlerinin belirlenmesi, karar modellerinin kurularak modellerin çözülmesi ve çözümlerin uygulanmasıyla taşıma sisteminin, dolayısıyla fiziksel dağıtım sisteminin etkinliği artacaktır.

Bu kesimde önce taşıma sistemlerindeki karar problemlerinin temel ögeleri ele alınacak, daha sonra taşıma problemleri sınıflandırılacaktır.

I.1 Taşımayla İlgili Karar Problemlerinin Ögeleri

Sistemlerde karar problemlerini belirleyen unsurlar;

- karar vericiler ve amaçları
- karar değişkenleri ve parametreler
- kısıtlayıcılar

olarak gösterilmektedir.⁽⁵⁴⁾ Bu unsurlar taşıma sistemi açısından aşağıda ele alınmaktadır.

(54) KARA; a.g.k., s. 73

Fiziksel dağıtım sistemlerinde taşıma kararları ilgili yönetim birimlerince verilecektir. Bu yönetim görevi taşıma veya yollama yönetimi (traffic management) olarak adlandırılmaktadır.

Taşıma yönetimin sorumluluğundaki görevler ise şu şekilde belirtilmektedir:⁽⁵⁵⁾

- malların gruplandırılması
- taşıma ücretinin belirlenmesi
- donanımın çizelgelendirilmesi
- belgeleme
- izleme ve kolaylaştırma
- denetleme
- şikâyet yönetimi

Yollama yönetiminin temel amacı, işletmenin kısa ve uzun dönem amaçlarına uygun olarak mamûllerin yer değiştirmesini sağlamaktır. Bu en ucuz taşımanın sağlanması anlamına gelmemelidir. Çünkü yollama yöneticisi (a) taşıma ve taşıyıcılara ilişkin hizmet özelliklerini; (b) taşıma kararlarının işletmenin bütünleşik politika ve eylemlerine olan etkisini de göz önünde bulundurmak zorundadır. Bu nedenle taşıma fonksiyonu maliyet ve hizmet boyutlarıyla birlikte ele alınmalıdır.⁽⁵⁶⁾

Taşıma sistemindeki karar değişkenlerinin bir kısmı, taşımanın yapıldığı alanın bir taşıma ağı (serim) olarak tanımlanması sonucu belirlenmektedir. Böylece taşıma ağı üzerindeki yükleme ve boşaltma merkezleri ile bunları birleştirecek yollar temel karar değişkenleri olacaktır. Bundan başka taşıma sistemlerinde taşıma araçları söz konusudur. Taşıma araçlarının sayıları ve özellikleri birer karar değişkeni olarak tanımlanacaktır.

(55) BOWERSOX; a.g.k., s. 171; ayrıca Bkz., TENEKECİOĞLU; a.g.k., s. 103

(56) DODGE; a.g.k. s s. 103

Alabileceği değerlerde karar vericinin hiçbir etkisi olmayan parametreler ise taşımanın yapılacağı yollara veya taşıma araçlarına ilişkin birim maliyet göstergeleridir. Ancak taşıma ağı üzerindeki maliyetlerin parasal olarak ifade edilebileceği gibi, süre veya uzaklık olarak da ele alınabileceği unutulmamalıdır. Buna göre taşıma ağı üzerinde iki nokta arasındaki taşımanın maliyeti verilmiştir ve karar vericinin kontrolu dışındadır.

Taşımayla ilgili kısıtlayıcılar ise taşımayı yaptıran veya taşımayı yapan kuruluşlar, taşıma ağı ve taşınan yükler veya yasa zorunluluklardan kaynaklanan, gerçekleşmesi zorunlu ilişkilerdir.

I.2 Taşımayla İlgili Karar Problemlerinin Sınıflandırılması

Fiziksel dağıtım sistemlerinde taşıma alt sisteminin tasarım ve işletiminde birçok karar problemiyle karşı karşıya kalınmaktadır. Bu problemlerin bir kısmı kısa dönem faaliyetlerle ilgili teknik problemler, bir kısmı da nispeten uzun bir zaman süreci göz önüne alınarak çözümlenmesi gereken, taktik veya stratejik kararları gerektiren problemlerdir.

Fiziksel dağıtım sistemlerinde taşıma problemlerinin sık karşılaşılabildiği olma özelliği vardır. Devamlı değişen gereksinimlerin baskısıyla taşıma kararları sık sık gözden geçirilir. Taşıma kararlarında yapılan yanlışlıklar ilk anda önemsiz ekonomik kayıplara yol açıyorsa da, uzun bir zaman süreci göz önüne alındığında ortaya çıkacak kayıplar önemli ölçüde artacaktır. Taşıma karar problemleriyle ilgili önemli bir avantaj, bu problemlerin çözümünde ve kararların programlanmış bir biçimde dönüştürülmesinde niceliksel yöntemlerden yararlanabiliyor olmasıdır.⁽⁵⁷⁾

Taşımayla ilgili temel problem, taşımaların hangi ortamdan yararlanarak yapılacağıdır. Başka bir deyişle kara, demir, hava veya deniz yollarından hangisinin seçileceğidir.

(57) BALLOU; a.g.k., s. 334-335

Taşıma ortamları konusunda seçim taşıma giderleri, hız, güvenlik yükleme ve boşaltma olanakları ve kolaylıkları ile firmanın genel politikası gibi unsurlara dayanacaktır. Ancak taşıma ortamı konusunda bir seçimin söz konusu olması, birden fazla taşıma ortamı seçeneğinin bulunmasını gerektirir. Mevcut seçenekler karşılaştırılarak aralarından bir seçim yapılması problemi "taşıma ortamının belirlenmesi" başlığında ele alınmaktadır.

Taşıma ortamı belirlendikten sonra karşılaşılan temel sorun taşıma araçlarının sağlanmasıdır. Bu konuyla ilgili olarak iki temel seçenek vardır. Birinci seçenek, işletmenin taşıma hizmetini satın alması, yani malların taşıma hizmeti yapan kuruluşlar yoluyla taşınmasıdır. İkinci seçenek ise işletmenin özel taşıma filosu oluşturmaktır. "Taşıma hizmetinin sağlanması" olarak adlandırılan bu taşıma problemi işletmelerin mamûllerinde kullandıkları girdileri imâl etmelerinin mi yoksa satın almalarının mı daha ekonomik olacağına belirlemesi problemine benzerlik göstermektedir.

Taşıma ortamı belirlendikten ve taşıma araçları sağlandıktan sonra sunum ve istem noktaları arasında belirli bir ölçütü eniyileyecek taşıma güzergâhının bulunması gerekir. Taşımanın söz konusu olduğu başlangıç-bitiş noktalarına bağlı olarak farklı "güzergâh belirleme" (routing) problemleri ortaya çıkacaktır.

Güzergâh belirleme problemlerinde bir dizi kısıtlayıcının da göz önüne alınması gerekebilir. Söz konusu kısıtlayıcılara bağlı olarak yeni problemler ortaya çıkmaktadır. Bu kısıtlayıcılar şu şekilde gösterilmektedir:⁽⁵⁸⁾

- a) Bütün müşterilerin gereksinimleri karşılanmalıdır.
- b) Araçların taşıma kapasiteleri aşılmamalıdır, yani her araca tahsis edilen toplam yük araç kapasitesini aşmamalıdır. Kapasite, hacim, ağırlık, dingil ağırlığı gibi çok boyutlu bir ölçüdür.
- c) Her aracın seferini tamamlama süresi veya katettiği mesafe önceden belirlenmiş bir değeri aşmamalıdır.

(58) EILON ve diğerleri; a.g.k., s. 180

(Bu çoğu zaman yasal veya sözleşmelere bağılı bir kısıtlayıcıdır.)

d) Müşterilerin sevkiyatı alabilme zamanlarının bir başlangıç ve bitimi vardır, bu sınırlar aşılmamalıdır.

Belirlenen kısıtlayıcılara bağılı olarak çeşitli problemler tanımlanabilir.

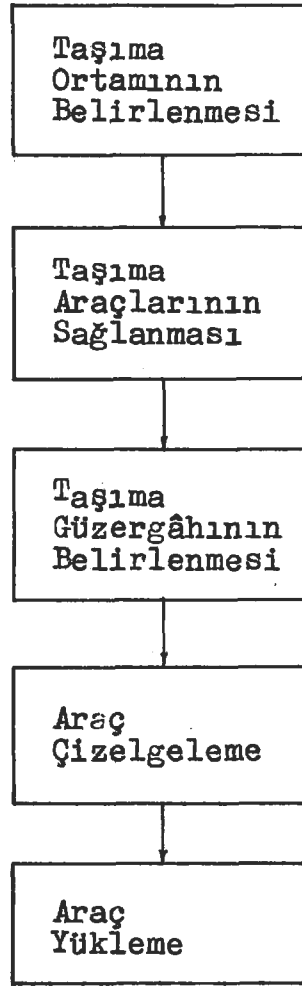
(i) Eğer taşıma filosu yeterince büyük kapasiteli tek araçtan oluşuyorsa, bu durumda (b) kısıtlayıcısı göz önüne alınmayabilir. (c) ve (d) kısıtlayıcıları da göz önüne alınmazsa problem, bütün müşterilere uğrayacak "enkısa yolun bulunması" problemidir.

(ii) (c) ve (d) kısıtlayıcıları göz önüne alınmadığında problem belirli yükü taşımak için enaz sayıda aracın bulunmasına dönüşür. Söz konusu problem "araç yükleme" (vehicle loading) problemi olarak adlandırılmaktadır.

(iii) Belirli sayıda araç için kısıtlayıcıları sağlayacak şekilde toplam mesafeyi enazlayacak güzergâhın belirlenmesi "araç çizelgeleme" (vehicle scheduling) problemi olarak adlandırılmaktadır. Araç çizelgeleme problemi konuyla ilgili yayınlarda "sefer plânlaması" olarak da tanımlanmaktadır.

(iv) Taşıma hizmeti verilecek müşterilerin konumları ve gereksinimleri biliniyor ise, bu istemleri enaz maliyetle karşılamak üzere sahip olunacak veya kiralanacak araç sayılarının bulunması ise "taşıma filosunun boyutlandırılması" olarak adlandırılır. Başka bir deyişle, problem taşıma maliyetlerini enazlayacak filo büyüklüğü ve birleşiminin belirlenmesidir. Buradaki filo büyüklüğü terimi araç sayısını, birleşim ise farklı kapasite ve özelliklerdeki araçları belirlemektedir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, taşıma problemleri oluşum düzeylerine göre Şekil 2-1'de görüldüğü gibi sıralanabilir. Çalışmanın odak noktasını oluşturan taşıma filosunun boyutlandırılması problemi taşıma araçlarının sağlanması problemi içinde ele alınacaktır.



Şekil 2-1: Fiziksel Dağıtım Sistemlerinde Taşımaya İlişkin Karar Problemi

Yukarıda tanımlanan problemler bütün taşıma ortamlarında (kara, demir, deniz ve hava) karşılaşılabılır olmakla birlikte, karayolu taşımacılığı en yaygın taşıma biçimi olması⁽⁵⁹⁾ nedeniyle taşıma ortamının belirlenme problemi inceleme dışı bırakılarak, taşıma hizmeti sağlanması dışındaki taşıma problemleri izleyen kesimlerde incelenecektir.⁽⁶⁰⁾

(59) Ülkemizde yük taşımacılığında karayollarının payı 1982 yılında, yapılan ton/km esas alınarak %76 olarak bulunmuştur. Bkz: İktisadî Rapor; Türkiye Ticaret Sanayi, Deniz Ticaret Odaları ve Ticaret Borsaları Birliği, Ankara, 1983, s. 157.

(60) Taşıma ortamının belirlenmesi probleminin analitik incelenmesi için Bkz. W.J.BAUMOL ve H.D. VINDA; "An Invertory Theoretic Model of Freight Transport Demand" Management Science, Vol. 16, No.7, March, 1970, s.413-421. Ayrıca bkz: BALLOU; a.g.k., s. 335-345; Willam R. KING, Quantitative Analysis for Marketing Management, McGraw Hill, Inc., 1967, s. 545-547.

Taşıma hizmetinin sağlanması problemi ise üçüncü bölümde taşıma filosofunun boyutlandırılması problemiyle birlikte ele alınacaktır.

II. TAŞIMA GÜZERGAHININ BELİRLENMESİ

Taşıma güzergâhının belirlenmesi problemi, yükleme ve boşaltma noktaları arasındaki taşımanın belirlenen taşıma ağı (serim) üzerinde hangi yolu kullanarak yapılacağıyla ilgilidir. Uygulamalarda iki tür güzergâh belirleme problemi ile karşılaşılmaktadır.

Birinci tür problem bir serim üzerinde iki farklı nokta arasındaki en kısa, en uzun veya en hızlı yolun bulunmasıdır. Buna göre bir yükleme (başlangıç) noktasından, bir boşaltma (bitiş) noktasına yapılacak taşımayla ilgilenilmekte, taşımayı yapan araçların geri dönüşü inceleme dışı bırakılmaktadır. Söz konusu problem "enkısa yol problemi" olarak adlandırılmaktadır. Bu problemin genel biçimi ise birden fazla yükleme noktasından yine birden fazla boşaltma noktasına taşıma problemi ve "ulaştırma problemi" olarak adlandırılmaktadır.

Taşıma güzergâhının belirlenmesine yönelik ikinci tür problemde ise çakışık başlangıç - bitiş noktaları söz konusudur. Buna göre taşımayı yapan araç iki veya daha fazla boşaltma noktasına uğradıktan sonra tekrar başlangıç noktasına dönmektedir. Bu problem ise "gezgin satıcı problemi" olarak tanımlanmaktadır.

II.1 Enkısa Yol Problemi

II.1.1 Tanım

Taşıma ve iletişim sistemlerinin analizinde karşılaşılan problemlerin başında serimin iki noktası arasındaki enkısa, enucuz, veya enhızlı yolun bulunması gelir. Başka bir deyişle, belirli bir ölçütü enküçükleyen bir yol

atama (routing) istenir. Bu problemi çözmek için önceden belirlenmiş iki nokta arasındaki en kısa yolu bulan bir algoritmaya gereksinim vardır.⁽⁶¹⁾ En kısa yol probleminde bir yükleme (başlangıç) noktasından bir boşaltım (bitiş) noktasına yapılacak taşımayla ilgilenilmekte ve taşımayı yapan araçların geri dönüşü inceleme dışı bırakılmaktadır.

Dreyfus kaleme aldığı bir tarama makalesinde en kısa yol problemlerini aşağıdaki 5 grupta toplamaktadır:⁽⁶²⁾

- (i) Serimin belirlenmiş iki düğümü arasında en kısa yolun bulunması
- (ii) Serimin bütün düğüm çiftleri arasında en kısa yolun bulunması
- (iii) İkinci, üçüncü,, k' inci en kısa yolların bulunması
- (iv) Ara düğümleri belirlenmiş ikidüğüm arasında en kısa yolun bulunması
- (v) Kalkış zamanına bağlı olarak yolculuk süresinin değişmesi durumunda en kısa yolun bulunması

Söz konusu makalede her gruba giren algoritmalar karşılaştırılarak kuramsal hesaplamalar için gerekli işlem sayıları verilmektedir. Ayrıca yapılan bazı düzeltmeler ve değişikliklerle mevcut algoritmalarda varolan hatalar giderilerek daha verimli hale getirilmektedir.

(61) Tulin AKTİN- Çetin EVRANUZ; "En kısa Yol Algoritmalarının Bilgisayara Uygulanış Yöntemleri ve İletişim Şebekelerinin Eniyilenmesinde Kullanılacak Bir Uyarlamanın Geliştirilmesi", (Bildiri), Yöneylem Araştırması 8. Ulusal Kongresi, Ankara, 1983.

(62) Stuart E. DREYFUS; "An Appraisal of Some Shortest Path Algorithms", Operations Research, Vol. 17, 1969, s.395-412

II.1.2 Enkisa Yol Probleminin Çözümü

Bir serim üzerinde, istenen noktalar arasında enkisa yolun belirlenmesi problemi literatürde geniş bir yer almaktadır. 1969 yılında yapılan bir bibliyografiya çalışmasında ⁽⁶³⁾ konuyla ilgili yüze yakın yayın olduğu belirtilmektedir.

Enkisa yol probleminin matematiksel programlama modeli olarak ifadesi ve çözümü mümkün olmakla birlikte, uygulamada karşılaşılan serimlerin genellikle büyük olması matematiksel programlama yöntemlerinin verimli olmasını engellemektedir. ⁽⁶⁴⁾ Bu nedenle enkisa yol probleminin çözümü- ne yönelik kabul görmüş algoritmalar temel olarak aşağıdaki özelliğe dayanmaktadır.

Eğer n_1 düğümü ile n_r düğümü arasındaki enkisa yol n_1 düğümünden geçiyorsa, n_1 'den n_1 düğümüne kadar olan kısım, n_1 ve n_1 düğümleri arasındaki enkisa yoldur. Benzer şekilde n_1 den n_r düğümüne kadar olan kısmın da n_1 ve n_r düğümleri arasındaki enkisa yol olacaktır. ⁽⁶⁵⁾

Yukarıdaki özelliğe bağlı olarak enkisa yolun belirlenmesi için bir dizi takılama (labelling) algoritması geliştirilmiştir. Takılama algoritmaları takı saptama ve takı düzeltme (label correcting) olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Takı düzeltme yöntemleri taşıma problemlerinde karşılaşılmayan bir durum olan sıfırdan küçük ayrit uzunluklarının varlığında da kullanılabilir. Takı saptama algoritmaları için ayrit uzunlukları veya süreleri sıfırdan küçük olmama koşulu vardır.

(63) J.D.MURCHLAND; Bibliography of the Shortest Route Problem, London Business Studies Report, LBS-TNT-6.2, 1969

(64) Enkisa yol probleminin matematiksel programlama yoluyla çözümü için bkz; Don T.PHILLIPS, Alberto Garcia-DIAZ; Fundamentals of Network Analysis, Prentice Hall, Inc., New Jerkey, 1981, s. 41-42

(65) POTTS - OLIVER; a.g.k. , s. 51-52

Enkisa yol algoritmaları, enkisa yolun belirlenmesi için gerekli işlem sayısı ve bağılı olarak işlem zamanına göre değerlendirilmektedir. Büyük serimler için genellikle bilgisayar kullanımı söz konusu olduğundan, etkin bir algoritma bilgisayar belleğini ve ana işlem birimi zamanını daha verimli kullanan algoritma olacaktır. Bu ölçütler ışığında enkisa yol probleminin çözümüne yönelik etkin algoritmalarından birisi olarak kabul görmüş Dijkstra algoritması aşağıda açıklanmaktadır.(66)

Dijkstra Algoritması

Dijkstra algoritması N sayıda düğümden oluşan (NxN) boyutunda ve simetrik olması zorunlu olmayan

$$D = [d_{ij}]$$

uzaklık matrisi, verilen serim için 1 ve N'inci düğümler arasındaki enkisa yolun bulunmasına yöneliktir. Burada d_{ij} terimi i ve j düğümleri arasındaki taşıma süresi veya taşıma maliyeti olarak alınabilir.

$d_{ij} \geq 0$ ve $d_{ii} = 0$ olmalıdır. Eğer i ve j düğümleri birbiriyle doğrudan bağlantılı değilse $d_{ij} = \infty$ olarak alınacaktır (Bilgisayar işlemleri için bu değer büyük bir sayı olarak alınabilir.)

Dijkstra algoritması serimdeki bütün düğümlerin takılandırılmasını gerektirir. Her aşamada düğümlerin bir kısmının kalıcı (permenant) takıları, bir kısmının da geçici (temporary) takıları vardır. Algoritma başlangıç düğümlüne 0 takısı ve kalan N-1 düğüme de ∞ (veya büyük bir sayı) değerinde takıların atanmasıyla başlar. Bundan sonra her iterasyonda bir başka düğüm aşağıdaki kurallara uygun olarak takılandırılır.

- i. Kalıcı takısı olmayan bir j düğümü için geçici takı şöyle hesaplanır:

$$Enk \left\{ J'nin \text{ eski takısı}, (i'nin \text{ eski takısı} + d_{ij}) \right\}$$

(66) DREYFUS; a.g.k., s. 396-397

Burada i ile gösterilen, bir önceki iterasyonda kalıcı olarak takılandırılmış enson düğümdür.

- ii. Geçici takılar arasında enküçük olanı bulunarak, bu değer ait olduğu düğümün kalıcı takısı olarak alınır. Eşitlik durumunda rastgele seçim yapılabilir.

Yukarıdaki iki adım bitiş düğüme ulaşınca kadar tekrarlanacaktır. Başlangıç ve bitiş düğümleri arasındaki enkısa yol, bitiş düğümünden geriye doğru, ayrıtın uzunluğu (d_{ij}) kadar fark gösteren düğümlerin sıralanmasıyla oluşturulacaktır. (Eşitlik birden fazla enkısa yolun varlığını gösterecektir.)

Bir serim üzerindeki bütün düğüm çiftleri arasındaki enkısa yollar, yukarıdaki algoritmanın bütün düğüm çiftlerine uygulanmasıyla bulunabilecektir. (67)

II.1.3 Enkısa Yol Probleminin Uzantıları

Enkısa yol problemi (yükleme-boşaltma) (sunum - istem) veya (başlangıç - bitiş) noktaları arasındaki taşıma güzergâhının belirlenmesine yönelik gerçek hayattaki temel güzergâh atama problemlerinden birisini yansıtmaktadır. Problemin değişik şekillerde ifadesiyle sonuçlar daha da kullanılır biçime dönüştürülmektedir. Örneğin, Dreyfus tarafından ele alındığı belirtilmiş olan, belirli ara düğümlere uğrama koşulu altında enkısa yolun belirlenmesi uygulamalarda rastlanılan bir problemdir.

Enkısa yol problemiyle ilgili en önemli unsur, enazlanması gereken ölçüttür. Enkısa yol problemiyle ilgili belirlenecek ölçütler taşıma mesafesi, taşıma süresi veya taşıma maliyetidir. Tanımlanan ölçüte bağlı olarak da problem enkısa, enhızlı veya enucuz yolun belirlenmesi olacaktır.

(67) Enkısa yol probleminin bilgisayar yardımıyla çözümü ve konuyla ilgili uygulamalar için Bkz. A.Ekrem ÖZKUL, Determination of O-D Trip Matrices from Traffic Volume Counts, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Uni. Endüstri MühBöl, Aralık, 1979.

Enkisa yol algoritmalarında, diğer güzergâh belirleme yöntemlerine benzer şekilde taşıma sürelerindeki değişiklikler göz önüne alınmamakta ve ayrıtlardaki taşıma süreleri genellikle ortalama değerleri yansıtmaktadır. Yollardaki taşıma süresinin yol koşulları nedeniyle her zaman aynı olmayacağı açıktır. Taşıma süresi değişkenliği, taşıma süresi varyansı ile belirlenecektir. Ortalama taşıma süresinin yüksek, buna karşılık taşıma süresi varyansının düşük olduğu bir güzergâh, sadece ortalama taşıma süresine bağlı olarak belirlenmiş enkisa yoldan daha kısa olabilecektir. Bu gibi durumlarda enkisa yolun hesaplanmasında ortalama taşıma süresine, taşıma süresinin varyansının uygun bir katsayıyla çarpılarak eklenmesi önerilmektedir. (68) Benzer görüşler taşıma maliyetleri içinde söz konusudur.

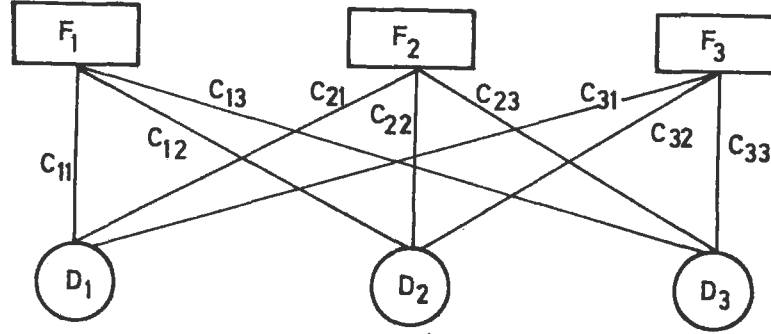
Bir yükleme noktasından bir boşaltma noktasına taşıma probleminin genel biçimi birden fazla sunum noktasından yine birden fazla istem noktasına taşıma problemi ve aşağıda ele alınmaktadır.

II.2 Ulaştırma Problemi

II.2.1 Tanım

Birden fazla sunum noktasından yine birden fazla istem noktasına taşıma söz konusu olduğunda, taşıma maliyetini enküçükleyecek taşıma güzergâhının belirlenmesi ulaştırma problemi (transportation problem) olarak tanımlanmaktadır. Tipik bir örnek Şekil 2-2' de görüldüğü gibi fabrikaların sunum merkezi, depoların veya pazarların (müşterilerin) istem merkezi olması durumudur. i sunum merkezinden j istem merkezine taşıma maliyeti c_{ij} ile gösterilmektedir.

(68) Ballou; a.g.k., s. 398



Şekil 2-2: Ulaştırma Problemi Gösterimi

Ulaştırma probleminin en kısa yol probleminin bir uzantısı olarak ele alınması tüm sunum-istem çiftleri arasındaki endüşük maliyetli yolların daha önceden belirlenmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Ulaştırma probleminin çözümü yoluyla, sunum ve istem kısıtlayıcı ve özelliklerine uyacak şekilde hangi sunum merkezinden hangi istem merkezine ne kadar taşıma yapılacağı belirlenir.

Sunum merkezi sayısının m , istem noktası sayısının n olduğu bir ulaştırma problemine ilişkin değişken ve parametreler ile probleme ilişkin model aşağıdaki şekildedir: (69)

- a_i : i 'inci sunum noktasının kapasitesi
- b_j : j 'inci istem noktasının gereksinimi
- c_{ij} : i 'inci sunum noktasından j 'inci istem noktasına birim taşıma gideri.
- x_{ij} : i 'inci sunum noktasından j 'inci istem noktasına taşınacak miktar.

(69) İmdat KARA; Yöneylem Araştırması (Ders Notları), E.İ.T.İ.A., Eskişehir, 1980, s. 227-231

Ulaştırma modeli;

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad a_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \quad b_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

ve

$$x_{ij} \geq 0$$

kısıtlarını sağlayacak şekilde

$$Z = f(c_{ij}, x_{ij})$$

amaç fonksiyonunun eniyi değerlerinin bulunmasıdır. Eğer i'inci noktadan j'inci noktaya taşıma gideri (veya katkı) c_{ij} x_{ij} şeklinde ise, doğrusal ulaştırma modeli söz konusudur. Katkı göstergeleri c_{ij} lerin rassal nitelikte olması durumunda "rassal ulaştırma" modeli söz konusudur.

II.2.2 Ulaştırma Modelinin Çözümü

Ulaştırma problemi, konuyla ilgili literatürde ve uygulamalarda genellikle doğrusal olarak ifade edilmektedir. Her istem merkezinde toplam kaynağın kullanıldığı ve toplam istemin toplam sunuma eşit olduğu doğrusal ulaştırma modeli;

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

olmak üzere

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

kısıtlayıcılarına göre

$$Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} x_{ij}$$

amaç fonksiyonunun eniyilenmesi şeklini alır.

Yukarıda tanımlanan ulaştırma problemi bir doğrusal programlama modelidir ve simpleks algoritması kullanılarak eniyi çözümü bulunabilir. Ancak doğrusal ulaştırma modellerinin eniyi çözümünü bulmak için simplex algoritmasına oranla daha kısa işlemlerle başlangıç uygun çözüm ve eniyi çözüm elde eden özel teknikler geliştirilmiştir. (70)

II.2.3 Ulaştırma Modelinin Uygulama Özellikleri

Ulaştırma modelinin amacı belirli sunum merkezlerinde üretilen bir ürünün, amaç ölçütünü enazlayacak şekilde belirli sayıda istem merkezine üleştirilmesidir (allocation). Örneğin bir plânlama döneminde fabrikaların belirli bir ürünün üretimine ilişkin kapasiteleri ile değişik şehirlerde kurulu bölge depolarının istemleri bilindiğinde, işletmenin amaç ölçütünü eniyileyecek şekilde hangi fabrikadan hangi bölge deposuna kadar ürün gönderileceği ulaştırma modeli yoluyla bulunur.

Ulaştırma modellerinde genellikle kullanılan ölçüt taşıma maliyetidir. Bu nedenle ulaştırma problemleriyle ilgili olarak sunum ve istem noktaları arasındaki birim taşıma giderlerinin hesaplanması gerekir. Hangi sunum merkezinden hangi istem merkezine ne kadar ürün gönderileceğinin belirlenmesinde maliyet ölçütü dışında birim kâr, birim taşıma süresi vb. katkı göstergeleri kullanılabilir.

(70) Doğrusal ulaştırma probleminin çözümüne ilişkin ayrıntılı incelemeler için Bkz; Özer SERPER, Doğrusal Ulaştırma Plânlaması - İdeal Çözüm ve Uygulama - , Bursa İ.T.İ.A. Yayını, no:8, 1974

Ulaştırma problemi birden fazla üretim merkezinden, yine birden fazla istem veya satış merkezine ürettiği mamüllerin dağıtımını yapacak işletmeler için önemlidir. Ancak bu tür işletmeler çoğunlukla birden fazla mamul üretecekler ve mamüllerin birim taşıma giderleri de değişiklikler gösterebilecektir. Bu nedenle ulaştırma modelindeki birim taşıma maliyetine ilişkin parametrenin (c_{ij}) mamul karışımını içerecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için mamul karışımının ortak ve anlamlı bir birimle (örneğin ton) ölçülerek, maliyetler ile istem ve talep miktarlarının bu birimlerle ifade edilmesi önerilmektedir.⁽⁷¹⁾ Söz konusu problem doğrusal programlama modeli olarak da ifade edilmekte ve "çok ürünlü ulaştırma" (multicommodity transportation) problemi olarak adlandırılmaktadır.⁽⁷²⁾

Ulaştırma probleminin bir uzantısı da bir merkezin aynı zamanda aktarma noktası olması durumudur ki bu problem "aktarmalı ulaştırma (transshipment) problemi" olarak adlandırılmaktadır.

II.3 Gezgin Satıcı Problemi

II.3.1 Tanım

Dağıtım sistemlerinde taşımayı yapan araçların birden fazla yükleme ve boşaltma noktasına uğradıktan sonra tekrar aynı noktaya dönmesi uygulamada oldukça sık karşılaşılan bir durumdur. Bu tür taşıma problemlerinde amaç, taşıma süresi veya katedilecek mesafeyi enazlayacak şekilde uğranılacak noktaların sırasını belirlemektir. Yöneylem araştırmasında bu tür problemler genel olarak "gezgin satıcı problemi" olarak adlandırılmakta ve çözüm algoritması geliştirilmesi yönünden geniş bir inceleme konusu olmaktadır.

(71) Harvey M. WAGNER; Principles of Operations Research, Prentice Hall, Inc., N.J., 1969, s. 168-169.

(72) Çok ürünlü ulaştırma modeliyle ilgili ayrıntılı bilgi için Bkz; Don PHILLIPS, Alberto Garcia-DIAZ; Fundamentals of Network Analysis, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1981, s. 386-414.

Problemın tanıımı Şu Şekilde yapılmaktadır:

Bir gezgin satıcı, bir Őehirden hareket ederek, $n-1$ Őehiri ziyaret edecek ve tekrar ilk hareket ettiği Őehire dönecektir. Bütün Őehirler arasındaki mesafe biliniyorsa, satıcının seyahat edeceği toplam mesafeyi enküçükleyecek olan seyahat çizelgesinin bulunması problemine gezgin satıcı problemi (GSP) denir.

Problem matematiksel olarak ise Şu Şekilde tanımlanmaktadır:⁽⁷³⁾

n : Gezgin satıcının gideceği toplam Şehir sayısı.

c_{ij} : j Őehrinin i Őehrinden uzaklığı.

$C=[c_{ij}]$: Bütün Őehirler arasındaki uzaklık matrisi.
($n * n$)

Tur kümesi (T) nin tanıımı:

$i_k \neq i_l : k=1,2, \dots, n ; l=1,2, \dots, n$
olmak koŐuluyla

$t = (i_1, i_2) , (i_2, i_3) , (i_k, i_l) , \dots, (i_{n-1}, i_n), (i_n, i_1)$

ise, t turu T kümesinin bir elemanıdır.

Amaç işlevi ise Şöyle tanımlanır:

$$Z(t) = \sum_{i,j \in t} c_{ij}$$

(73) İlhan OR:, "Gezgin Satıcı Problemi İçin Bir Bulgusal Algoritma" (Bildiri), Yöneylem Araştırması Bildiriler 77, Ü.Çınar, M. Oral, G. Ulusoy, (Düz), YAD-BUTSAE İstanbul 1980, s. 307-322

GSP, t turu T kümesinin içinde kalacak şekilde $Z(t)$ yi enküçükmektir.

C matrisi simetrik olduğu zaman GSP'ne de simetrik denir. GSP'nin sonlu bir uygun çözüm kümesi vardır. n sayıda şehri içeren bir GSP'de uzaklık matrisinin simetrik olması durumunda

$$(n-1)!/2$$

sayıda uygun çözüm vardır. Uzaklık matrisinin simetrik olmaması durumunda ise $(n-1)!$ sayıda olabilir tur vardır.

II.3.2 Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü

Bir gezgin satıcı probleminin çözümü olabilir turların tümünün denenmesi yoluyla bulunabilir ise de, n sayısını büyüdükçe olabilir tur sayısının çok büyümesi bu çözüm yöntemi seçeneğini küçük problemler için bile olanaksız kılmaktadır. Örneğin şehir sayısı (n=15) ise olabilir turlar sayısı $(n-1)! = 87178291000$ olacaktır.

GSP'nin çözümünde genellikle üç unsur önem taşır. Bunlar başlangıç noktası, çözüm türetme yolları ve durma kuralıdır. Eniyi çözüme ulaşılmadan durulabiliyorsa yaklaşık yöntem söz konusudur. Yaklaşık yöntemlerde başlangıç noktasına göre son olarak elde edilecek tur değişecektir ve bu nedenle farklı başlangıç noktalarına göre farklı sonuçlar elde edilebilir. Ancak başlangıç noktasının seçimi ve durma kuralının belirlenmesi çözüm türetme (tur oluşturma) yollarına bağlıdır. Bu nedenle GSP'nin çözümüne yönelik algoritmalar tur oluşturma yollarına göre sınıflandırılmaktadır.

Eilon ve arkadaşları gezgin satıcı problemini çözmeye yönelik algoritmaları uygulanan tur oluşturma yollarına göre aşağıdaki dört grupta toplayarak incelemektedirler.⁽⁷⁴⁾

(74) EILON ve diğerleri; a.g.k., s. 116-118

a) Ardışık Tur Oluşturma (sequential tour building):

Bu yöntemde herhangi bir düğümden başlanılarak bir tur tamamlanıncaya kadar her adımda bir düğümün ilâve edildiği bir dizi oluşturulması söz konusudur. Bu çözüm yaklaşımının uygulandığı kesin ve yaklaşık yöntemler vardır. Örneğin uğranılmayan enyakın düğümün, dizinin bir sonrakisi elemanı olarak seçilmesi, son düğüme gelindikten sonra da ilk düğüme dönülmesi şeklindeki algoritma yaklaşık çözüm veren basit bir algoritmadır.

b) Turdan - Tura Geliştirme (Tour -to- Tour Improvement):

Bu yöntemde rassal veya gelişmiş güzel seçilmiş bir başlangıç turundan başlanarak belirli kurallara uygun olarak turun geliştirilmesine çalışılmaktadır. Örneğin, başlangıç dizisinde yer alan ikidüğümün yerlerinin değiştirilmesi veya iki bağlantının başka ayrıtlarla bağlanması kuralı yoluyla, turların geliştirilmesi söz konusu olabilir. Geliştirme kuralının uygulanmasıyla herhangi bir iyileştirme sağlanamıyorsa işlemlere son verilecektir. Bu şekilde elde edilen son tur yaklaşık çözümlerden birisi olarak belirlenmiş olacaktır. Değişik başlangıç noktalarından başlanarak elde edilen son turların birbirleriyle karşılaştırılması yoluyla belirlenen tur eniyi yaklaşık çözüm olacaktır. Bu iteratif yöntem oldukça etkindir ve eniyiye yakın çözümler elde edilebilmektedir.

c) Sayılama Yöntemi (Enumerative Method):

Daha önce de belirtildiği gibi olası bütün turların sıralanarak, GSP'nin eniyi çözümünün bunlar arasından belirlenmesi hesaplama yönünden olanak dışı görülmektedir. Ancak kısmî (partial) sıralama mümkündür ve alt turlar şeklinde sıralama yapılarak bunların eniyisi seçilebilir. Olası tur sayısının çok büyük ve bunların çoğunun yüksek maliyetli turlar olduğu düşünülürse, bu yöntemin genellikle iyi sonuçlar üretmeyeceği akla gelebilir. Ancak yüksek maliyetli turları eleyebilmek için hesaplamalar sırasında bazı sınımlara yer verilmesi yoluyla bu yöntemin etkinliği oldukça arttırılmaktadır.

d) Alt - Tur Daraltma Yöntemi (Subtour Contraction):

Bu yöntem maliyet matrisi C'nin bütün köşegen elemanlarına ∞ değeri atanarak atama probleminin⁽⁷⁵⁾ çözülmesini içerir. Buna göre c_{ij} maliyeti i düğümünün j düğümüne atanmasına karşı gelen maliyettir ve i düğümüne j düğümü atandıktan sonra başka bir düğüm atanamaz. Atama probleminin çözümü yoluyla eniyi bağlantılar belirlenmiş olacaktır. $c_{ii} = \infty$ alınması yoluyla da tekli çevrimlerin önüne geçilmiş olacaktır. Eğer atama probleminin çözümü bir tur ise (bağlantılar bütün düğümlerden geçiyorsa), bu GSP'nin eniyi çözümüdür. Eğer atama probleminin çözümü bir tur oluşturmuyorsa, bu alt turların özel bazı yöntemlerle elenmesi yoluyla n sayıda düğümü birleştiren bir tur oluşturabilir. Bu yöntemi kullanan kesin algoritmalar arasında dal-sınır yöntemleri, tamsayı doğrusal programlama yaklaşımları vardır.

GSP'ni çözebilmek için önerilen yöntemler arasında;

- doğrusal programlama
- tamsayı doğrusal programlama
- dinamik programlama
- dal-sınır yöntemleri
- basit ve karmaşık bulgusal çözüm yöntemleri

sayılabilir.

(75) Doğrusal ulaştırma modelinin özel bir durumu olan atama modeli;

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

kısıtlayıcılara göre;

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

amaç fonksiyonunun enazlanmasıdır.

Bu yaklaşımların sonuçları çok kısa olarak şu şekilde değerlendirilebilir. Doğrusal programlama yaklaşımının en önemli sakıncası çok sayıdaki tur kısıtlarıdır. Tamsayı doğrusal programlama tamsayı değişkenlerin çokluğu yüzünden, dinamik programlama ve dal - sınır yöntemleri de hesaplanıp saklanması gerekli ara değerlerin çokluğu yüzünden pek verimli olamamaktadır. Bu nedenle GSP'nin çözümünde bulgusal yöntemlerin kullanılması ağırlık kazanmaktadır. (76)

II.3.3 Gezgin Satıcı Probleminin Uygulama Özellikleri ve Uzantıları

Bir satıcının n sayıda kentin tamamını en kısa zamanda dolaşmasını sağlayacak şekilde kentleri ziyaret etme sırasının bulunması olarak ifade edilen satıcı problemi, fiziksel dağıtım sistemleri açısından ele alındığında, bir aracın n sayıda yükleme veya boşaltma noktasını en kısa zamanda dolaşmasını sağlayacak taşıma güzergâhının bulunması şeklinde tanımlanabilir. Başka bir deyişle gezgin satıcı problemi, çakışık başlangıç - bitiş noktaları arasında en kısa yolun bulunması problemidir.

Gerçekte karşılaşılan problemleri yansıtmak üzere gezgin satıcı problemiyle ilgili olarak aşağıdaki özelliklerin göz önünde bulundurulması gereği belirtilmektedir. (77)

Birinci olarak eğer günlük taşımalar söz konusu ise, en iyi turun süresi araçların günlük standart çalışma saatlerine göre çok kısa veya uzun olabilir. Bu nedenle de taşıma güzergâhlarına yeni yükleme veya boşaltma noktaları ilâve edilmesi veya çıkarılması söz konusu olabilir. İkinci olarak, toplam süre her düğümdeki yükleme veya boşaltma işlemleri, gerekli dökümanların hazırlanması gibi işlemlerin

(76) GSP'nin çözümü için önerilen yönlerin ayrıntılı incelemesi için bkz: Haluk S. BALKAN; "Gezgin Satıcı Problemi"; (Bildiri), Yöneylem Araştırması Bildiriler, 75; M. Oral, U. Çınar (Düz); TBTA, MAE, 1976, s. 257-280

(77) BALLOU; a.g.k., s. 354

sürelerinden etkilenebilecektir. Bu nedenle toplam sürenin hesaplanmasında bu gibi işlemlerin sürelerinin de göz önüne alınması gerekir. Bir üçüncü husus da gezgin satıcı problemiyle ilgili olarak taşıma süresinin enazlanması isteniyorsa, dikkat edilmesi gereken bir durum trafik yoğunluğuna bağlı olarak gidiş ve dönüş sürelerinde farklılaşmalar olabilecektir.

III. ARAÇ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

III.1. Tanım

Şimdiye kadar incelenen güzergâh belirleme problemleri, taşımanın yeteri kadar büyük tek araçla yapılması ve kısıtlayıcı olarak belirli düğümlere uğranılmasına yöneliktir. Ancak dağıtım sistemlerinde taşıma araçları sayı ve kapasitesi önemli bir kısıtlayıcı olarak ortaya çıkar. Gerçek hayattaki problemlerin çoğu da coğrafi konumları belli bir dizi müşterinin istemlerinin belli sayıda araçtan yararlanarak karşılanmasıyla ilgilidir.

Araç Çizelgeleme Problemi:

"Araç kapasite kısıtlayıcılarına uygun olarak toplam mesafeyi enazlayacak taşıma güzergâhının belirlenmesi" şeklinde tanımlanmaktadır.⁽⁷⁸⁾ Buna göre belli bir sunum merkezinden istemleri belirlenmiş boşaltma noktalarına kapasiteleri birbirine eşit veya farklı olan taşıma araçlarıyla yapılacak taşımanın güzergâhının belirlenmesi istenmektedir. Güzergâh belirlenmesinde gözetilen ölçüt ise toplam taşıma mesafesinin enazlanmasıdır.

III.2 Araç Çizelgeleme Probleminin Çözümü

Küçük ölçekteki problemler için bile olası güzergâh ve araç birleşimi sayılarının çok büyük olduğu araç çizelgeleme problemleri için çeşitli formülasyon ve

(78) EILON ve diğerleri; a.g.k., s. 181

çözüm yöntemleri üzerinde çalışılmıştır.⁽⁷⁹⁾ Bunlar aşağıdaki şekilde gruplandırılarak ele alınabilir.

- Doğrusal tamsayı programlama
- Dinamik programlama
- Gezgin satıcı probleminin çözümüne dayanan algoritmalar
- Bulgusal algoritmalar

Araç çizelgeleme probleminin matematiksel programlama modelleri yoluyla çözümünde GSP problemine benzer zorluklar ortaya çıkar. Bu nedenle araç çizelgeleme, probleminin çözümünde de bulgusal algoritmaların kullanılmasına yönelinmektedir.

Araç çizelgeleme probleminin çözümü için önerilen yöntemler arasında çözümün duyarlılığı ve süresi açısından en çok ağırlık kazanan yöntem olarak "tasarruf" (savings) kavramından kaynaklanan bulgusal algoritmalar gösterilmekte ve 10 deney problemi üzerinde yapılan bir uygulama denemesinde eniyi çözümden ortalama olarak %3,2 sapma gösteren çözümlere ulaşıldığı belirtilmektedir.⁽⁸⁰⁾

Clarke ve Wright⁽⁸¹⁾ tarafından ortaya atılan tasarruf kavramı ve bağlı olarak tasarruf algoritması aşağıda gösterilmiştir.

Tasarruf kavramı şu şekilde açıklanabilir:

n sayıda müşterinin (düğümün) isteminin karşılanacağı bir yükleme noktası (depo) düşünelim. Depoda her müşteriye bir araç tahsis edilmesini sağlayacak sayıda taşıma aracı bulunduğu ve her müşteriye bir araç tahsis edildiği varsayılırsa, bu taşımanın maliyeti

$$2 \sum_{j=1}^n c_{oj} \text{ olacaktır.}$$

(79) Araç çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik matematiksel modeller konusunda bkz: R.H. MOLE; "A Survey of Local Delivery Vehicle Routing Methodology", Journal Of Operations Research, 1979, s. 245-255

(80) BALLOU; a.g.k., s. 355

(81) G. CLARKE, J.W.WRIGHT, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, Operations Research, V.11, 1964, s. 568-581

Burada sıfır indisi ile yükleme noktası gösterilmekte ve C_{oj} yükleme düğümünden j düğüme yapılacak taşımanın maliyeti olarak alınmaktadır. n sayıda istem noktası varsa, araç sayısı da n olacaktır.

Eğer herhangi iki düğümün (i ve j) istemleri bir araçla karşılanacak şekilde birleştirilirse, toplam araç sayısı bir azalmış olacaktır. Ayrıca bağlı olarak

$$S_{ij} = C_{oi} + C_{oj} - C_{ij}$$

kadar bir maliyet değişmesi söz konusu olacaktır. Burada C_{ij} i ve j düğümleri arasındaki taşımanın maliyetidir. S_{ij} ise, sunum merkezinde i ve j düğümlerine ayrı araçlarla iki taşıma yapılması yerine tek araçla iki düğüme uğranılması durumundaki maliyet değişimidir. Bir tasarruf sağlanabilmesi için S_{ij} değerinin negatif olmaması gerekmektedir ve doğal olarak S_{ij} tasarrufu arttıkça i ve j düğümlerinin bir güzergâh üzerinde alınması avantajlı olacaktır.

Yukarıdaki tasarruf kavramından kaynaklanan Clarke ve Wright algoritması aşağıdaki adımlardan oluşur:

- a) Bütün düğüm çiftleri için tasarruflar (S_{ij}) hesaplanır.
- b) Tasarruflar, büyüklüklerine göre azalan bir liste oluşturacak şekilde sıralanır.
- c) Listenin başından başlayarak aşağıdaki işlemler yapılır:
 - (i) Eğer bir ayrıtın dahil edilmesi kısıtlayıcıları sağlayan uygun bir yol oluşturuyorsa bu ayrıt diziye dahil edilir, aksi takdirde inceleme dışı bırakılır.
 - (ii) Listedeki bir sonraki ayrıta (i) işlemi uygulanır ve bu işlem listedeki bütün ayrıtlar için tekrarlanır.
- d) Listedeki uygun bir yol oluşturacak şekilde belirlenmiş ayrıtlar problemin çözümünü oluşturur.

Yukarıdaki algoritma problemin eniyi çözümünü garanti etmez. Esnetilemeyen bazı kısıtlayıcılar altında eniyi çözüm den oldukça fazla bir uzaklaşma söz konusu olabilecektir.

Ancak algoritmanın uygulanması çok basittir ve oldukça kısa bilgisayar zamanı gerektirmektedir. Bazı ilâve kısıtlayıcılar getirildiğinde algoritmanın uyarlanması zor olmakta ve bilgisayar depolama gereksinimleri oldukça fazla olmaktadır. Bu tür zorlukları gidermek için aynı kavramdan hareketle değişik bulgusal algoritmalar geliştirilmiştir.

III.3 Araç Çizelgeleme Probleminin Uygulama Özellikleri

Fiziksel dağıtım sistemlerinde sık tekrarlanan teknik problemlerden birisi de taşıma araçları çizelgelemesidir. Araç çizelgeleme problemlerinin çözümüyle zaman içinde değişen talep çerçevesinde taşıma araçlarının kapasitesi göz önüne alınarak enaz taşıma maliyetini sağlayacak güzergâh belirlenmektedir.

Fiziksel dağıtım sistemlerinde araç çizelgelendirme probleminin kısa zamanda çözülmesi ve siparişler geldiğinde derhal, elde hazır araçların hangisinin, hangi müşteriye, ne kadar, hangi mamûllerden hangi sırayla götüreceğinin belirlenmesi gerekir. Problemi ilgili verilerin zaman içinde sabit kalması halinde çözüm o derece acil olmayabilir. Problem bir kere çözülür, her karar durumunda aynı işlemler tekrarlanır. Ancak değişik müşterilerden, değişik mallar için değişik miktarlarda talep gelmesi halinde probleme yeni çözümler aramak gerekli olacaktır.⁽⁸²⁾

Uygulamalarda, araç çizelgeleme problemine kapasite kısıtlayıcılarından başka bir dizi kısıtlayıcı eklenmesi söz konusu olacaktır. Bu kısıtlayıcılardan bazıları şöyle gösterilmiştir: ⁽⁸³⁾

(82) KAYA+ a.g.k., s. 144

(83) J.J. McDONALD, "Vehicle Scheduling - A Case Study" Operational Research Quarterly, V.23, s. 433-444.

- (i) Araçların turları tamamlama süreleri belirli değerlerin üstünde olmalıdır.
- (ii) Taşıma süreleri veya katedilen mesafe her araç için eşit düzeyde olmalıdır.
- (iii) Taşıma belirli çalışma (mesai) saatleri içinde gerçekleştirilmelidir.
- (iv) Taşıma maliyetlerinin bir üst sınırı vardır, bu sınır aşılmamalıdır.

Ballou, araç çizelgeleme problemine güzergâh belirlenmesi yanında taşıma araçları sayısının enazlanması boyutunu da dahil etmektedir. Buna göre, zamanlaması belli bir dağıtım programını gerçekleştirmek üzere enaz araç sayısının belirlenmesi de bir araç çizelgeleme problemidir.⁽⁸⁴⁾ Saatçioğlu da çizelgeleme probleminin bu boyutunu hava aracı çizelgelemesi için "her bir uçuş için kalkış zamanlarının aralığı ile, uçuşların bu aralıkta bir zamanda başlaması kaydıyla enküçük filo büyüklüğü saptanır" şeklinde tanımlanmaktadır.⁽⁸⁵⁾ Böylece hava araçlarının günün belli zamanlarında hangi güzergâhlara dağıtılacağı belirlenir.

Eilon ve arkadaşları tarafından belirtildiği gibi taşıma mesafesini enazlayan çizelgeleme problemi çözümü aynı zamanda enaz araç sayısını garanti etmez.⁽⁸⁶⁾ Araç sayısının enazlanması "araç yükleme problemi" olarak aşağıda ele alınmaktadır.

(84) BALLOU:- a.g.k., s. 359

(85) Ömer SAATÇIOĞLU; "Hava Ulaşım Sistemlerinin Plânlaması ve işletilmesinde Yöneylem Araştırması Uygulamaları, (Bildiri), Yöneylem Araştırması Bildiriler'77, a.g.k. s. 195-216

(86) EILON ve diğerleri, a.g.k., s. 204

IV. ARAÇ YÜKLEME PROBLEMİ

IV.1 Tanım

Araç yükleme problemi istem noktalarının taleplerini karşılamak üzere belli kapasitedeki araçlardan enaz kaç taneye gerek olduğunun belirlenmesiyle ilgilidir. Belli yükü taşımak için gerekli enaz araç sayısı bir önceki kesimde ele alınan araç çizelgelemesi probleminin eniyi çözümüyle aynı olmayabilir. Bunun nedeni, araç çizelgeleme probleminde sadece uğranılması gereken istem noktaları söz konusu olmasıdır. Bu istem noktalarına taşınacak yüklerin miktarı ve araçlara nasıl yükleneceği problemi inceleme dışı bırakılmaktadır. Söz konusu problem "araç yükleme" başlığında ele alınmaktadır.

Araç yükleme problemi yöneylem araştırmaları problemleri içinde tanımlanan "sırt çantası" (knapsack) problemiyle⁽⁸⁷⁾ benzerlik göstermektedir. Taha, sırt çantası problemini bir aracın yüklenmesiyle ilişkilendirerek şu şekilde ifade etmektedir:⁽⁸⁸⁾

Bir taşıma aracına N sayıda değişik mal yüklenecektir. Her değişik malın birim ağırlığı W_i ve değeri de v_i ($i = 1, 2, \dots, N$) olarak verilmiştir. Taşıma aracının taşıyabileceği en çok ağırlık (kapasite) W olarak bilinmektedir. Problem, araç kapasitesini aşmadan yüklenebilecek en değerli yükün bulunmasıdır. Buna göre k_i , i malından yüklenecek birim sayısı olmak üzere problem:

$$W_1 k_1 + W_2 k_2 + \dots + W_N k_N \leq W$$

kısıtını sağlayacak şekilde

$$Z = v_1 k_1 + v_2 k_2 + \dots + v_N k_N \text{ amaç fonksiyonunu en çoklayacaktır.}$$

- (87) Sırt çantası problemi dağa tırmanma hazırlığındaki bir dağcının sırt çantasını belli bir ağırlığı aşmayacak, herbirinin önem derecesi sayısal olarak ifade edilebilen N sayıda malzemedan kaç tane alacağını belirlemesi olarak ifade edilmektedir. Bkz; WAGNER, a.g.k.s.350.
- (88) Hamdy TAHA; Operations Research, McMillan Publishing Co. Inc, New York, 1971, s. 203.

k_i karar değişkenlerinin tamsayı değerler alma zorunluluğu var ise, bu bir tamsayı doğrusal programlama modelidir. Tamsayı olma kısıtlayıcısı olmadığında, model kolayca çözülebilecek bir doğrusal programlama modelidir.

Eilon ve arkadaşları problemin kapsamını genişleterek birden fazla istem noktasının yükünün yine birden fazla araca yüklenmesini ele almışlardır. Buna göre araç yükleme problemi şu şekilde tanımlanmaktadır. (89)

n : istem noktası sayısı

q_i : i 'inci istem noktasına taşınacak yük miktarı
($i = 1, 2, \dots, n$)

m : taşıma aracı sayısı

Q_j : j 'inci araç kapasitesi ($j = 1, 2, \dots, m$)

İstem noktalarının gereksinmelerinin araçlara dağıtımında aşağıdaki durumlardan (D_1, D_2) birisiyle karşılaşılabilir:

$$D_1 : \sum_j Q_j \geq \sum_i q_i$$

$$D_2 : \sum_j Q_j \geq \sum_i q_i \quad \text{veya}$$

$$\sum_j Q_j < \sum_i q_i$$

Burada D_1 ve D_2 aşağıdaki durumları göstermektedir:

D_1 : Bütün istemlerin araçlara yüklenebilmesi

D_2 : Bütün istemlerin araçlara yüklenememesi

Yüklerin araçlara paylaştırılmasına ilişkin ölçütler şunlardır:

A_1 : Araçlarla ilgili ölçüt

(i) Araç sayısını enazlamak

(ii) Araçların kullanılmayan kapasite miktarını

enazlamak.

(89) EILON ve diğerleri, a.g.k., s. 204-207

A_2 : Yüklerle ilgili lt

Karşılanamayan istem sayısını (veya değerini) enazlamak.

A_3 : Birleşik lt

Araç sayısı ve karşılanamayan istemleri enazlamak.

Yukarıdaki durumlar aşığıdaki problem matrisini oluşturmaktadır.

	A_1	A_2	A_3
D_1	1	-	-
D_2	2	3	4

Söz konusu problemler şu şekilde açıklanabilir:

Birinci problem söz konusu olduğunda A_2 ve A_3 ltleri geçerli olmayacaktır. Yani problem yeterli araç sayısı ve kapasitesi olması durumunda, araç sayısının enazlanmasıyla ilgilidir. İkinci problem ise birinci problemin uzantısı olmakla birlikte istemlerin tümü karşılanamamakta, buna karşılık $A_1(ii)$ ölçütü doğrultusunda kapasite kullanımı enoklanmaktadır. nc problem yeterli araç kapasitesi olmaması durumunda, istemi karşılanan nokta sayısının ençoklanması, dördüncü problem ise yine aynı durumda istemi karşılanan nokta sayısıyle taşınan yük miktarının aynı zamanda enoklanmasına yöneliktir.

Araç yükleme problemi birinci problemle ifade edilmektedir. Yani, bütün istemleri karşılayacak enaz araç sayısının bulunması araç yükleme problemidir.

IV.2. Araç yükleme Probleminin zm

Eilon ve arkadaşları yukarıda tanımladıkları problem için bütün araç kapasitelerinin eşit olduğu

$(Q_j = Q; j = 1, 2, \dots, m \text{ için})$

varsayımına göre bir 0-1 tamsayı programlama modeli önermektedirler.

Modelin araç kapasitelerinin farklı olduğu durumu içeren uzantısı da vardır.⁽⁹⁰⁾

Modelde x_{ij} karar değişkeni, i 'inci istem noktası yükünün j aracına atanıp atanmayacağını gösteren 0-1 tamsayı değişkendir. Buna göre

$x_{ij} = 1$ eğer i istem merkezinin yükü j aracına yüklenecekse

$x_{ij} = 0$ aksi takdirde

olacaktır.

Modelin kısıtlayıcıları şu şekilde gösterilmiştir:

(i) araçların kapasitesi aşılmamalıdır. Yani

$$Q \geq q_i > 0$$

olmak üzere

$$\sum_{i=1}^n q_i x_{ij} \leq Q \quad j = 1, 2, \dots, m \text{ için}$$

şartı sağlanmalıdır.

(ii) Her istem noktasının yükü bir araca atanacaktır:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ için } (x_{ij} = 0 \text{ veya } x_{ij} = 1)$$

Yüklerin araçlara dağıtılmasına ilişkin amaç fonksiyonu ise V_j ceza göstergesi kullanılarak sağlanmaktadır. Buna göre yüklerin j aracına yüklenmesinin ceza göstergesi V_j ' dir ve ayrıca

$$V_{j+1} \gg V_j > 0$$

özellliği vardır. Amaç fonksiyonu toplam cezayı enazlayacak şekilde yüklerin araçlara dağıtımıdır. Buna göre amaç fonksiyonu

$$\text{Enk } Z = \sum_{j=1}^m \left[V_j \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} \right) \right] \quad \text{olacaktır.}$$

(90) EILON ve diğerleri, a.g.k., s. 207-209

V_{j+1} parametresinin V_j 'den yeteri kadar büyük seçilmesi yoluyla enaz sayıda araç kullanılması sağlanacaktır. Eğer bir araca yüklenecek toplam yük sayısının belli bir değeri (p) geçmemesi isteniyorsa, bu durumda ceza göstergeleri $V_1 = 1$ ve $V_{j+1} > pV_j$ olarak seçilmelidir.

Yukarıdaki modele bir dizi kısıtlayıcı daha ilâve etmek mümkündür. Örneğin belirli yükün (i_1), belirli bir araca atanması istenmiyorsa bu kısıtlayıcı

$$x_{i_1 j_1} = 0$$

şeklinde ifade edilebilir veya örneğin iki yükün (i_1 ve i_2) aynı araçta bulunması istenmiyorsa bu kısıtlayıcı da

$$x_{i_1 j} + x_{i_2 j} \leq 1 \quad \text{şeklinde gösterilecektir.}$$

Karar değişkeni veya kısıtlayıcı sayısının çok fazla olması ve dolayısıyla 0-1 tamsayı programlama modelinin çözümünün güçleştiği durumlarda yine Eilon ve arkadaşları tarafından önerilen bir bulgusal çözüm algoritması kullanılabilir.

IV.3 Araç Yükleme Probleminin Uygulama Özellikleri

Araç yükleme problemi de araç çizelgeleme problemi gibi fiziksel dağıtım sistemlerinde sık karşılaşılabilecek problem türlerinden birisidir. İstem merkezlerinin zaman içinde değişen istemlerini karşılamak üzere taşımaların yapılması her zaman araç yükleme probleminin çözülmesini gerektirecektir.

Bazı durumlarda çok boyutlu araç yükleme problemleri ortaya çıkabilir. Örneğin taşınacak yüklerin ağırlığından başka değer, hacim gibi başka ölçülerin de çözümü göz önüne alınması istenebilir. Başka bir deyişle taşınacak yüklerle ilgili olarak r sayıda özellik vardır. Bu da her araca ilişkin r sayıda kısıtlayıcı anlamına gelecektir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TAŞIMA FİLOSUNUN BOYUTLANDIRILMASI

I. TAŞIMA HİZMETİNİN SAĞLANMASI ve TAŞIMA FİLOSUNUN BOYUTLANDIRILMASI PROBLEMİ

Taşıma filosunun boyutlandırılması, daha geniş bir problem olan taşıma hizmetinin sağlanması probleminin çözüm seçeneklerinden birisi olan özel taşıma filosunun oluşturulması kararıyla ilgilidir. Başka bir deyişle taşıma filosunun boyutlandırılması problemi taşıma hizmetinin sağlanması probleminin bir alt problemidir. Bu nedenle bu kesimde öncelikle taşıma hizmetinin sağlanma biçimleri ele alınacak, bağlı olarak taşıma filosu oluşturma kararı ve taşıma filosu boyutlandırılması problemi tanımlanarak kapsamı belirlenecektir.

I.1 Genel Bilgiler

I.1.1 Taşıma Hizmetinin Sağlanması

İşletmeler faaliyet gösterdikleri sektöre, üretilen ve taşınacak malların özelliklerine, dağıtım politikasına, dağıtım araçlarının sağlanabilme kolaylıklarına, ulaşım ağının yapısına bağlı olarak çeşitli taşıma seçeneklerinden yararlanabilirler. Bu konuda başlıca;

- (i) İşletmenin kendi taşıma filosuna sahip olması,
- (ii) Çeşitli taşıma firmalarının sağladığı hizmetlerin satın alınması (nakliye firmalarından yararlanılması)

(iii) Belli bir süre taşıma araçlarının ve/veya tesislerinin kiralanması,

(iv) Taşıma işlerinde komisyoncuların aracılığından yararlanılması,

seçenekleri gösterilmektedir.⁽⁹¹⁾ Bu seçeneklerden ilki hariç diğerlerinde taşıma hizmetinin satın alınması söz konusudur. Taşıma hizmetinin sunumunu sağlayan taşıyıcılar genel olarak iki grupta incelenebilir:

1. Genel taşıyıcılar (common carriers)

2. Sözleşmeli taşıyıcılar (contract carriers)

Genel taşıyıcılar bir ücret karşılığında mallarını taşımak isteyenlere taşıma hizmetini sunarlar. Bu taşıyıcılar çeşitli tarifelerle belirli noktalar arasında malların taşınması sorumluluğunu üstlenirler.⁽⁹²⁾ Genel taşıyıcıların şirket, kooperatif vb. şekillerde örgütlenerek taşıma hizmetini pazarlamaları söz konusu olabilir.

Taşıyıcı ile taşıtanın sürekli ilişki kurabilmeleri için aralarında bir sözleşmenin yapılması halinde sözleşmeli taşıyıcılardan söz edilir. Sözleşmedeki süre taraflar arasında serbestçe kararlaştırılır. Genellikle bu süre malların taşınması için gerekli süreyi kapsar. Sözleşme üzerine taşıma işini yapanlar önceden miktarı belirlenmiş eşyanın belirli noktalar arasında taşınmasından sorumludurlar.⁽⁹³⁾

Taşıma hizmetinin komisyoncular yoluyla sağlanması, gönderici ve taşıyıcının komisyoncu aracılığıyla bir araya getirilmesi yoluyla olacaktır.

İşletmenin kendi taşıma filosu yoluyla taşıma hizmetini sağlaması özel taşımacılık olarak adlandırılır. İşletme kendi taşıma filosuna sahip olduğunda, araçlar ve araçları kullanan sürücüler üzerinde tam bir denetim hakkına sahip olacaktır.

(91) KAYA; a.g.k., s. 100

(92) TAFF; a.g.k., s. 89

(93) TENEKECİOĞLU; a.g.k., s. 55

İşletmeler taşıma hizmetinin sağlanması konusunda kararlarını ekonomik ölçütlere, işletme politika ve amaçlarına, taşınacak yüklere, değişik taşıma seçeneklerinin fiziksel dağıtım sistemine yapacağı etkiye göre belirleyeceklerdir. Ancak taşımaya ilişkin seçenekler başlıca iki grupta incelenebilir:

1. İşletmenin taşıma hizmetini satın alması
(malların taşıttırılması)
2. İşletmenin özel taşıma filosuna sahip olması
(mallarını kendi taşıması)

Taşıma filosunun boyutlandırılması problemi işletmenin özel taşıma filosu oluşturmada durumunda söz konusu olacaktır. Özel taşıma filosu oluşturma kararı çeşitli yönleriyle aşağıda ele alınmaktadır.

I.1.2 Taşıma Filosu Oluşturma Kararı

İşletmelerin mallarını taşıyıcı firmalar yoluyla taşıması, ya da özel taşıma filosuna sahip olması ekonomik önem taşıyan bir soru olarak ortaya çıkmaktadır. İki seçenek arasındaki temel fark işletmenin üstlenmesi gereken yatırım giderleri ve taşıma faaliyetlerini denetleme derecesidir. İşletmeler özel taşıma filosu oluşturmak için yatırım ve işletim giderlerini üstlenecekler, buna karşılık taşıma araçları taşıma araçlarını kullananlar tamamen kendi denetimlerinde olacaktır. Taşıma hizmetinin satın alınması durumunda, yani işletmenin mallarını taşıttırması durumunda üstlenilmesi gereken giderler, tarifeler ya da sözleşmeler yoluyla belirlenen taşıma ücretleri olacaktır. Fiziksel dağıtım sistemlerinde taşıma hizmetinin satın mı alınacağı, yoksa özel taşıma filosu mu oluşturulacağı problemi, bu özelliğiyle işletmelerin mamûllerinde kullandıkları bir girdiyi kendilerinin mi üreteceği yoksa satın mı alacaklarına yönelik imal ya da satınalma problemlerine benzerlik göstermektedir.

İşletmeler özel taşıma filosunu iki şekilde oluşturabilirler:

- (i) Taşıma araçlarını satın alarak,
- (ii) Taşıma araçlarını sözleşme yoluyla kiralayarak.

Taşıma araçlarının satın alınması durumunda, işletme araçlar üzerinde her türlü tasarruf yetkisine sahiptir. Taşıma araçları tümüyle işletmenin sahipliğindedir. Taşıma filosunun sözleşme yoluyla oluşturulması durumunda, işletme taşıma işlerinde kullanmak üzere taşıt araçlarını satın almak, dolayısıyla bunlar için yatırım yapmak külfetinden kurtulur. Taşıma filosunu oluşturmak üzere her türlü sözleşme hazırlanabilir. Sözleşme şartları taşıyıcı ve taşıtan arasındaki anlaşmaya bağlıdır. Sözleşme yoluyla taşıma filosunun oluşturulması durumunda, taşıma araçları belirli bir süre taşıma gereksiniminde olan işletmenin denetimine geçer.

İşletmelerin özel taşıma filolarına sahip olmalarının avantajları şöyle sıralanmaktadır: (94)

1. Hizmet kalitesinin yükseltilmesi
2. İki yönlü yük taşımalarında daha düşük maliyet
3. Acil istemlerin gecikmesiz olarak karşılanması
4. Başka göndericilerin mallarıyla karışma olmadığı için gönderilen malların daha iyi izlenmesi ve denetlenmesi
5. Çizelgeleme, yükleme-boşaltma kolaylıkları ve karışıklıkların önlenmesi
6. Daha az masraflı ambalajlama
7. Yapılan taşıma hizmeti karşılığında genel ya da sözleşmeli taşıyıcıların tarifeleri kadar ücret talep edilebilmesi nedeniyle taşımanın kendi giderlerini karşılayabilmesi
8. Zamanında teslim garantisi
9. İstenen her yere taşıma yapılabilme serbestliği
10. İşletme araçlarının taşımayla birlikte reklâm aracı olarak kullanılması
11. Taşıma sürelerindeki kısaltmalar yoluyla stok düzeylerinde azalmalar sağlanması

İşletmenin taşıma filosu oluşturma kararı (i) hizmet düzeyi, (ii) maliyet yönüyle ele alınabilir. Hizmet yönüyle (94) TAFF; a.g.k., s.180

görülen en önemli avantaj taşıma sürelerindeki azalmalar olmaktadır. Bu şekilde yollama ve teslim konusunda istenen zamanlama sağlanabilmektedir. Bir diğer unsur müşteri ilişkileridir. Taşıma filosu oluşturulması yoluyla istemler daha hızlı karşılanacak, plânlanan zamanda teslimat yapılmadığı için müşterilerin stok kopması durumunda kalmaları önlenecek acil istemleri olan müşterilerin istemleri gecikmeksizin karşılanabilecektir.

Taşıma filosu oluşturma kararı maliyet yönüyle de ayrıntılı olarak incelenmelidir. Taşıma filosu oluşturma kararı bir fiziksel dağıtım kararı olması yanında finansal karar özelliği de taşır. Bu yönüyle taşıma filosu oluşturma kararı uzun dönemli stratejik bir karardır. Temel amaç yatırımın yarar gücünü ölçmektir. Daha doğru bir deyişle yatırımı yapmak ya da yapmamak arasında karar vermektir. Taşıma filosu oluşturma kararının taşıma maliyetlerinin dışındaki bir maliyet yönü, üretim ve dağıtım plânlarının taşıma plânlarıyla uyumunun sağlanmasıdır. Böylece stok kontrolunda kolaylık sağlanacak, stok düzeylerinin azaltılması mümkün olacaktır.

I.1.3 Taşıma Filosunun Boyutlandırılması Problemi

Taşıma hizmetinin özel taşıma araçlarından oluşmuş taşıma araçlarıyla sağlanması kararından sonra, karşılaşılan problem filoyu oluşturacak araç tip ve sayılarının belirlenmesidir. Taşıma filosunun boyutlandırılması olarak adlandırılan bu problem iki yönüyle ele alınabilir:

(i) Bütün araçların aynı özelliklere (kapasite, maliyet, hız vb.) sahip olduğu durumda problem taşıma gereksinmelerini en ekonomik şekilde karşılayacak araç sayısının belirlenmesidir. Bu problem "filo büyüklüğünün belirlenmesi" problemidir.

(ii) Bütün araçların aynı özelliklere sahip olmaması durumunda filoyu oluşturacak araçların tip ve sayılarının belirlenmesi gerekir ki bu problem "filo birleşim ve büyüklüğünün belirlenmesi" olarak adlandırılır.

İşletmenin varlığını sürdürdüğü sürece taşıma faaliyetlerine gereksinme duyacağı düşünülürse, araçların plânlama dönemi içinde ne zaman sağlanacağı sorusunu da taşıma filosu boyutlandırma problemi içinde ele almanın gereği açıktır.

Taşıma filusunun oluşturulması kararı, işletmenin taşıma gereksinmesinin tümünün karşılanmasında bu seçeneğin kullanılacağı anlamına gelmez. Taşıma araçları satın alınarak taşıma filosu oluşturulacağı gibi, gereksinme duyulan taşıma hizmetinin bir kısmı da hizmetin satın alınması yoluyla karşılanabilir. Başka bir deyimle işletme mallarının bir kısmını kendisi özel taşıma filosu yoluyla taşır, geri kalan mallar da taşıyıcı kuruluşlar yoluyla taşıttırılabilir. Bu seçenekler arasındaki denge, işletmenin politika ve amaçlarına, taşınacak yüklerin özelliklerine, ekonomik ölçütlere göre verilecektir. Bu nedenle taşıma filusunun boyutlandırılması problemiyle ilgili olarak taşıma hizmetinin satın alınması seçeneği de gözden uzak tutulmamalıdır.

Bu özellikler ışığında taşıma filosu boyutlandırma problemi şu şekilde tanımlanabilir:

"Plânlama süresi içinde taşıma gereksinmelerinin ne kadarının özel taşıma filosu yoluyla karşılanacağı ve bu faaliyetler için hangi tip taşıma araçlarından, hangi sayıda ve ne zaman temin edileceği soruları taşıma filosu boyutlandırılması problemini oluşturur."

Taşıma filosu boyutlandırılması problemiyle ilgili olarak göz önüne alınması gerekli ve niceliksel hale getirilebilen ana değişkenler şunlardır:

1. Taşımanın yapılacağı coğrafi alan:

Diğer taşıma problemlerinde olduğu gibi taşıma filusunun boyutlandırılmasında da taşımanın yapılacağı coğrafi alanın bir serim olarak gösterilerek bölgedeki istem noktaları ve yollar belirlenmelidir.

2. Taşıma istemleri:

Taşıma filusunun oluşturulmasında temel veri gruplarından birisi de müşterilerin konumları ve istemleridir.

Taşıma istemiyle ilgili olarak , istemlerin sabit olduğu, istemlerin rassal olduğu ancak olasılık dağılımının bilindiği, istemlerin rassal olduğu ancak olasılık dağılımının bilinmediği üç durumla karşılaşılabılır. İstemle ilgili bilgiler işletmenin geçmiş kayıtlarından ya da kestirim yoluyla elde edilebilir.

3. Taşıma araçları:

Özel taşıma filosu oluşturma kararıyla ilgili olarak taşıma araçları iki yönüyle önem taşır.

a) Araçların sahipliği: Taşıma araçları satın alma yoluyla ya da uzun dönem sözleşme yapılarak kiralama yoluyla temin edilebilir.

b) Araçların özellikleri: Taşıma filosunu oluşturan araçlar tek tip ya da farklı tiplerde olabilir.

4. Taşıma giderleri:

Taşıma araçlarının temini ve işletimine ilişkin giderler ayrıntılı olarak hesaplanarak sabit ve değişken giderler olarak belirlenmelidir.

5. Plânlama süreleri:

Taşıma faaliyetleri sonlu veya sonsuz plânlama dönemleri içinde ele alınabilir. Taşıma istemleri zaman içinde değişiklik göstereceği ve taşıma araçlarının belli ekonomik ömürleri söz konusu olduğundan, taşıma filosu boyutlandırılması problemini sonlu plânlama dönemi içinde ele almak daha gerçekçi olacaktır.

I.2 Taşıma Filosunun Boyutlandırılmasına Yönelik Modeller

Fiziksel dağıtım sistemlerinde taşımayla ilgili diğer karar problemleri, özellikle güzergâh belirleme ve çizelgeleme problemleri oldukça yaygın bir inceleme ve modelleme konusu oluşturmakta ise de, taşıma filosunun boyutlandırılması problemi aynı derecede ilgi çekmemiş, konuyla ilgili olarak oldukça az sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel dağıtım sistemlerinde taşıma araçlarına ilişkin giderlerin oldukça yüksek olmasına rağmen, konuyla ilgili fazla çalışma yapılmamış olmasının oldukça ilginç bulunduğu belirtilmektedir. (95)

Taşıma filosu boyutlandırılmasına yönelik modeller çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Ancak konuyla ilgili az sayıdaki çalışmanın biri diğerini etkilediği düşüncesiyle söz konusu çalışmalar kronolojik sırayla incelenecektir. Daha sonraki kesimde yaklaşım ve modellerin çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılması yapılacaktır.

II.2.1 Kirby ve Wyatt Yaklaşımları

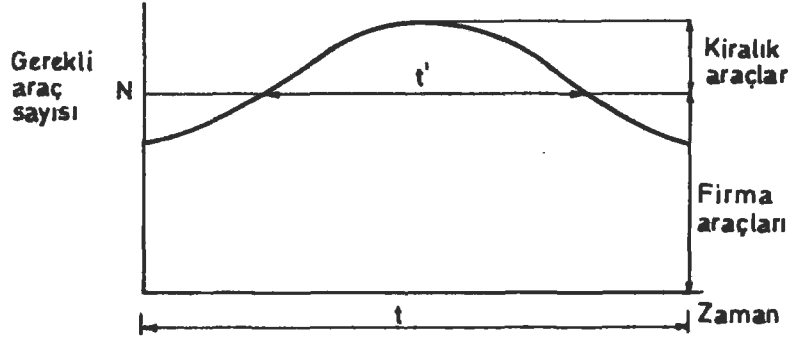
Filo büyüklüğünün belirlenmesi problemi literatürde ilk olarak Kirby⁽⁹⁶⁾ tarafından ele alınmıştır. Kirby, zaman içinde değişkenlik gösteren istemlerin karşılanmasında kiralanan araçların değişken (kira) giderleri ile sahip olunan araçların sabit giderleri arasında bir denge kurulacak şekilde taşıma filosunu oluşturacak araç sayısının belirlenmesi gerektiğini belirtmektedir. Eğer sahip olunan araç sayısı belirli bir denge sayısının üzerinde ise, araçlardan yararlanma (utilization) azalacaktır. Araç sayısının gereğinden az olması durumunda ise, dışarıdan kiralanan araçlara çok fazla ödeme yapılması söz konusudur. Başka bir deyişle, ilk durumda sabit giderler yüksek olacak, ikinci durumda ise değişken giderler yükselecektir. Wyatt'da problemi⁽⁹⁷⁾ benzer yaklaşımla ele almış, Kirby'nin yaklaşımına ilâve olarak işletmenin sahip olduğu araçların değişken maliyetlerinin de göz önüne alınmasını önermiştir.

(95) T. ETEZADI, J.E BEASLEY; "Vehicle Fleet Composition", Journal of Operational Research Society, V. 34, 1983 s. 87-91

(96) D. KIRBY; "Is Your Fleet the Right Size", Operational Research Quarterly, V.10, 1959, s. 10

(97) J.K. WYATT; "Optimal Fleet Size", Operational Research Quarterly, V.12, 1961, s. 186

Kirby ve Wyatt tarafından ele alınan problemde taşıma istemi Şekil 3-1'de görüldüğü gibi mevsimsel değişim göstermektedir. Problem, taşıma maliyetini enazlayacak şekilde talebi karşılayacak araç sayısının belirlenmesidir. Taşıma maliyetini oluşturan unsurlar işletmenin sahipliğinden bulunan araçların sabit ve değişken giderleriyle kiralanacak araçların değişken (kira) giderleridir. Kirby ve Wyatt tarafından önerilen yaklaşım aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3-1: Taşıma İstemlerinin Dağılımı

- f : İşletmenin sahipliğinde bulunan aracın günlük sabit maliyeti
- v : İşletmenin sahipliğinde bulunan aracın günlük değişken maliyeti
- h : Araç kira gideri
- t' : Kiralık araçların kullanıldığı gün sayısı
- t : Çalışma günü sayısı
- N : İşletme filosunda bulunacak araç sayısı
(karar değişkeni)

olmak üzere aşağıdaki ilişkiler söz konusudur.

Filoya bir araç ilâve edilmesinin işletmeye yükleyeceği maliyet

$$ft + vt'$$

olacaktır. Bir aracın filoya katılmasıyla ht' kadar kiralama giderinden tasarruf edilecektir.

$$ht' > ft + vt'$$

yani;

$$\frac{t'}{t} > \frac{f}{h-v}$$

durumunda aracın filoya katılması kârlı olacaktır. Başka bir deyişle eniyi filo büyüklüğü, araçların kiralandıkları gün oranının

$$\frac{f}{h-v}$$

değerini almasını sağlayacak şekilde bulunacaktır.

Eğer talebin olasılık dağılımı $P(D)$ biliniyorsa,

$$\sum_{i=N+1}^{\infty} P(D = i) > \frac{f}{(h-v)}$$

koşulunu sağlayan en büyük N değeri filo büyüklüğünü belirleyecektir.

Wyatt tarafından ele alınan yukarıdaki model Kirby'nin $v = 0$ olarak elde ettiği sonuçla aynıdır.

Aynı problem Maskell⁽⁹⁸⁾ tarafından, bölgesel dağıtımları en az maliyetle sağlayacak araç sayısını belirlemek için benzetim tekniği kullanılarak ele alınmıştır. Maskell tek amaç tipi için günler itibarıyla istemleri üreterek değişik araç sayıları için benzetim çözümlemesi yapmıştır. Benzetim çözümlemeleri sonunda işletmenin sahip olduğu araç sayıları ve kiralanan araç sayılarının endüşük maliyeti sağlayacak şekilde dengelendiği çözümün Wyatt yaklaşımıyla uyum gösterdiği belirlenmiştir.

Eniyi filo büyüklüğünü belirlemek için yukarıda ele alınan yaklaşım talebin mevsimsel değişiklik gösterdiği veya talep dağılımının bilindiği durumlarda uygulanabilir. Yaklaşımın en önemli eksikliği tek tip araç için geçerli olmasıdır.

(98) T.W. MASKELL; The Optimal Size of Vehicle Fleet for Local Deliveries, MSC. Report, Management Engineering Section, Imperial College, London, 1961.

Gerçek problemlerde farklı kapasitelerdeki araçların kullanılması söz konusudur ve araç tipine göre giderler (f,v ve h) farklılık gösterecektir.

I.2.2 Gould Modeli

Gould⁽⁹⁹⁾ birden fazla araç türünün de göz önüne alınabileceği bir doğrusal karar modelini Kirby ve Wyatt yaklaşımlarından kaynaklanarak ortaya koymuştur. Aşağıdaki değişkenlerin ilâvesiyle model şu şekilde gösterilebilir:

x_i : i' inci günde işletme araçlarıyla yapılan (1 günlük) sefer sayısı.

y_i : i' inci günde kiralık araçlarla yapılan (1 günlük) sefer sayısı.

d_i : i' inci gündeki taşıma istemi (sefer sayısı olarak)

Modelin kısıtlayıcıları şunlardır.

- Günlük talebin karşılanma kısıtlayıcısı

$$x_i + y_i = d_i \quad \text{bütün } i\text{'ler için}$$

- Herhangi bir günde firma araçlarıyla yapılan taşımanın eldeki araçlarla karşılanabilme kısıtlayıcısı

$$x_i \leq N \quad \text{bütün } i\text{'ler için}$$

Model yukarıdaki kısıtlayıcıları sağlayacak ve

$$Z = ftN + v \sum_{i=1}^t x_i + h \sum_{i=1}^t y_i$$

amaç fonksiyonunu enazlayacaktır.

Günlük talebin frekans dağılımı $f(d_r)$ kullanılarak yukarıdaki karar modelinin sadeleştirilmesi mümkündür. Buna göre karar değişkenleri şu şekilde ele alınacaktır:

(99) J. GOULD: "The Size and Composition of a Road Transport Fleet", Operational Research Quartely, V.20, 1969, s. 81-92.

- x_r : Taşıma istemi d_r olduğunda firma araçlarıyla yapılacak sefer sayısı
 y_r : Taşıma istemi d_r olduğunda kiralık araçlarla yapılacak sefer sayısı
 m : Frekans bölünmeleri sayısı

Model,

$$x_r + y_r = d_r \quad \text{bütün } r\text{'ler için}$$

ve

$$x_r \leq N \quad \text{bütün } r\text{'ler için}$$

kısıtlayıcılarının sağlayacak ve

$$Z = ftN + v \sum_{r=1}^m x_r f(d_r) + h \sum_{r=1}^m y_r f(d_r)$$

amaç fonksiyonunu enazlayacaktır.

Gould yukarıdaki doğrusal programlama yaklaşımını 12 değişik tip aracın ele alındığı gerçek bir taşıma filosu büyüklüğü ve birleşimi belirlenmesi problemine uygulamıştır. Model sonuçlarının uygulamaya konmasından sonra firmanın toplam taşıma giderlerinde %10 civarında bir azalma sağlamıştır.

I.2.3 Eilon ve Arkadaşlarının Yaklaşımları

Eilon ve arkadaşları⁽¹⁰⁰⁾ taşıma filosunun boyutlandırılması problemini başlangıç varsayımlarının farklı olduğu iki yaklaşımla incelemiştir.

a) Tek Tür Araç İçin Taşıma Filosu Büyüklüğünün Belirlenmesi

Taşıma filosunun belirli kapasitedeki tek tür araçtan oluşacağı varsayımından hareketle firma araçları ile kiralık araçların sabit ve değişken giderlerini enazlayacak filo büyüklüğünün belirlenmesi problemi diğer taşıma problemlerinden (araç çizelgelemesi ve araç yükleme) bağımsız olarak ele alınmamalıdır. Buna göre, taşıma filosu büyüklüğü söz konusu problemlerin çözümüne bağlı olarak belirlenecektir.

Yaklaşımla ilgili aşağıdaki varsayımlar söz konusudur:

i) Müşteriler konumları, sayıları ve talepleri dönemler itibarıyla bilinmektedir.

(100) EILON ve diğerleri, a.g.k. , s. 222-236

ii) İşletmenin sahipliğindeki araçların dönemlik sabit maliyetleri (α) ve birim taşıma uzaklığına karşı gelen değişken maliyet (β) bilinmektedir. Benzer şekilde kiralık araçların dönemler itibariyle sabit giderleri ile birim taşıma uzaklığına karşı gelen sabit ve değişken giderleri bilinmekte olup (α') ve (β') ile gösterilmiştir. Genellikle ($\alpha' > \alpha$) ve ($\beta' > \beta$) özelliği söz konusudur.

Herhangi bir dönem maliyeti, c_i ve c'_i ile gösterilen firma araçları giderleri ve kiralık araçların giderlerinden oluşacaktır. N firmanın sahip olduğu araç sayısı, N' kiralanan araç sayısı, d_i firma araçlarıyla yapılan toplam taşıma uzaklığı, d'_i kiralık araçlarla yapılan toplam taşıma uzaklığı olmak üzere dönem maliyeti

$$C_i = c_i + c'_i = (\alpha N + \beta d_i) + (\alpha' N' + \beta' d'_i) ;$$

toplam maliyet ise p dönem için :

$$C = \sum_{i=1}^p C_i = \alpha pN + \beta \sum_{i=1}^p d_i + \alpha' \sum_{i=1}^p N'_i + \beta' \sum_{i=1}^p d'_i$$

Amaç, yukarıdaki toplam maliyet fonksiyonunun enazlayacak araç sayısını (N) bulmaktır.

Herhangi bir i döneminde istenen taşımanın gerçekleştirilebilmesi için n_i araç gerekiyorsa ve firmanın elindeki araç sayısı N ise ; $(N < n_i)$, $N'_i = n_i - N$ sayıda araç kiralanacaktır.

Herhangi bir i döneminde istenen taşımanın sağlanması için gerekli araç sayısına ilişkin aşağıdaki özellik vardır.

$$n_{i1} \leq n_i \leq n_{i2}$$

Burada n_{i1} taşıma istemlerinin karşılanabilmesi için gerekli enaz araç sayısıdır. Bu sayı Bölüm 2-IV'de ele alınan araç yükleme probleminin çözümüyle bulunacaktır. Bu sayıya karşı gelen toplam taşıma mesafesi D_{i1} olacaktır. n_{i2} ise taşıma istemlerinin enaz mesafe katedilerek karşılanmasını sağlayan araç sayısıdır ve Bölüm 2-III'de ele alınan araç çizelgeleme probleminin çözümü yoluyla bulunacaktır. n_{i2} 'ye karşı gelen taşıma mesafesi D_{i2} 'dir. Taşıma mesafelerine ilişkin ise

$$D_{i2} \geq D_i \geq D_{i1}$$

özelliliği söz konusudur. Burada D_i , n_i araçla yapılacak taşımaların mesafesini vermektedir.

Plânlama süresi içindeki bütün dönemler için n_{i1} ve n_{i2} değerleri bulunduğundan sonra eniyi N değeri

$$Enk_i \quad n_{i1} \leq N \leq Enb_i \quad n_{i2}$$

koşulunu sağlayan değerler arasından toplam maliyet fonksiyonunu enazlayacak şekilde seçilebilir.

b) Birden Fazla Araç Türü İçin Filo Büyüklük ve Birleşiminin Belirlenmesi

Farklı kapasitede araçlar söz konusu olduğunda ve firma araçlarıyla kiralık araçlardan oluşan filo büyüklük ve birleşiminin belirlenmesine yönelik aşağıdaki doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Modelin öngördüğü durum koşulları ve değişkenler şöyledir:

i) Her dönem için müşteri talepleri bilinmekte olup, herhangi bir i döneminde ($i = 1, 2, \dots, p$) toplam talep W_i ile gösterilmiştir. İlk yaklaşımda olduğu gibi dönem, bütün müşterilere bir taşımanın yapıldığı süredir.

ii) m değişik türde (kapasitede) araç söz konusu olup Q_j kapasiteli j türünden firma aracının sayısı x_j ile gösterilmiştir. ($j = 1, 2, \dots, m$). Benzer şekilde kiralanabilecek m' araç türü olup, herhangi bir i döneminde j türünden ($j = 1, 2, \dots, m'$) Q_j' kapasiteli kiralanacak araç sayısı x'_{ij} ile belirlenmektedir.

iii) Araçların dönemlik maliyeti e_j , kiralık aracın dönem maliyeti ise e_j' olarak gösterilmiştir.

iv) Herhangi bir firma aracı bir dönemde h_j sayıda müşteriye dağıtım yapabilmektedir. Benzer şekilde j tür araçla h_j' sayıda müşteriye uğranabilmektedir. Bu sayılar geçmiş kayıtlar ve benzetim yoluyla bulunabilir.

Yukarıdaki varsayım ve özellikler ışığında eniyi filo büyüklüğü ve birleşiminin bulunması, plânlama dönemi süresince toplam maliyeti enazlayacak x_j ve x'_{ij} değerlerinin bulunmasıyla elde edilecektir.

Herhangi bir dönem için maliyet

$$C_i = \sum_{j=1}^m e_j x_j + \sum_{j=1}^{m'} e_j' x'_{ij} \quad \text{ile belirlenecektir.}$$

Toplam maliyet ise

$$C = \sum_{i=1}^p C_i = p \sum_{j=1}^m e_j x_j + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m'} e'_j x'_{ij}$$

olacaktır. Kısıtlayıcılar ise şöyle belirlenmiştir:

- Kapasite kısıtlayıcısı:

Firma araçları ve kiralık araçlarla sağlanan toplam kapasite, taşıma istemini karşılamalıdır.

$$\sum_{j=1}^m x_j Q_j + \sum_{j=1}^{m'} x'_{ij} Q_j \geq W_i \quad (i=1,2,\dots, p)$$

- Müşteri kısıtlayıcısı:

Herhangi bir i döneminde araçların dağıtım yapacakları toplam müşteri sayısının enaz değeri o dönem istemde bulunan müşteri sayısı (n_i) kadar olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^m h_j x_j + \sum_{j=1}^{m'} h'_j x'_{ij} \geq n_i \quad (i=1,2,\dots, p)$$

- Karar Değişkenlerinin Tamsayı olma Kısıtlayıcısı:

$x_j, x'_{ij} \geq 0$ ve tamsayı ($i=1,2,\dots,p$) ve ($j=1,2,\dots,m'$)

Yukarıdaki karar modelinin çözülmesiyle eniyi filo büyüklüğü ve birleşimi belirlendiği gibi, dönemler itibarıyla hangi tip araçtan hangi sayıda kiralanacağı soruları da cevaplandırılmış olacaktır.

I.2.4 Mole Yaklaşımı

Eniyi taşıma filosu büyüklüğünün belirlenmesine yönelik çalışmalardan birisi de Mole⁽¹⁰¹⁾ tarafından gerçekleştirilmiştir.

(101) R.H. MOLE; "Dynamic Optimization of Vehicle Fleet Size" Operational Research Quarterly, V.26, 1975, s. 25-34

Mole taşıma kapasitesiyle ilgili kararların plânlama süresi içinde alt dönemler itibariyle ardışık yatırım problemleri oluşturduğu noktasından hareketle, problemi dinamik bir yaklaşımla incelemiştir. Mole'un önerdiği modelin varsayımları şöyle sıralanmaktadır.

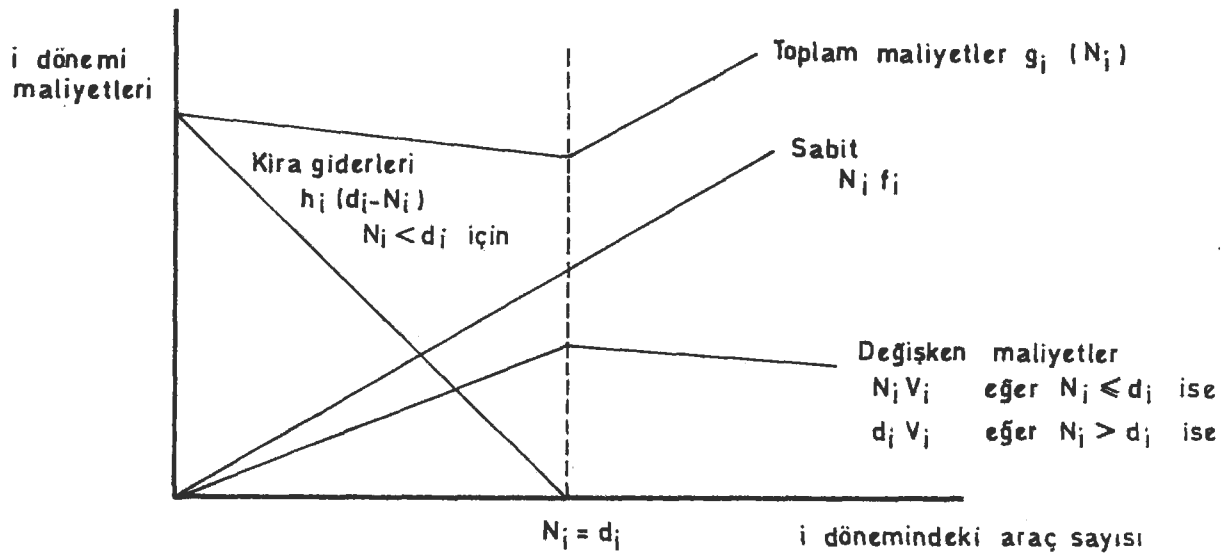
- Q sayıda dönemden oluşan plânlama süresi içinde alt dönemler itibariyle talep kestirimleri ($d_i, i=1,2,\dots,Q$) bilinmektedir.

- Herhangi bir i döneminde b_i harcamasıyla b_{i+1} döneminden hemen önce birim kapasite artışı sağlanabilecektir.

- Dönemler itibariyle kapasitenin azaltılması mümkün değildir.

- Kira giderleri ve işletme araçlarının sabit ve değişken giderleri dönemler itibariyle farklılık gösterebilir. Buna göre herhangi bir i dönemi için h_i , ve v_i ve f_i değişkenleri sırasıyla birim kapasite kira gideri, birim kapasite değişken giderleri ve birim kapasite sabit giderlerine karşı gelmektedir.

- Araç sayılarındaki (N_i) değişikliğin giderler üzerindeki etkisi Şekil 3-2 de görülmektedir. Şekilde gösterim kolaylığı sağlamak üzere kesikli değişkenler yerine sürekli değişkenler kullanılmıştır.



Şekil 3-2 Araç Sayısına Bağlı Olarak Taşıma Giderleri

Herhangi bir i döneminde toplam maliyetleri $g_i(N_i)$ oluşturan giderler (sabit, değişken ve kira giderleri) parçalı doğrusaldır ve,

$$h_i > v_i$$

özelligi sağlanıyor ise $g_i(N_i)$ dışbükey bir fonksiyondur. Zaten bu koşulun sağlanmaması durumunda firma araçları kullanılmayarak tüm taşımaların kiralık araçlarla yapılması gerekecektir. Satınalma giderlerinin de doğrusal varsayılmasıyla dönem maliyetleri dışbükey parçalı doğrusal olacaktır. Dışbükey fonksiyonların toplamalarının da dışbükey olma özelliğinden ötürü firma araçları ve kiralık araçlardan oluşacak filoya ilişkin toplam maliyet fonksiyonunun enküçüklenmesi N_i ($i=1,2,\dots,Q$) değişkenlerinin $0, d_1, d_2, \dots, d_Q$ değerleri arasından belirlenmesiyle sağlanacaktır.

Araç sayısının dönemler itibariyle azalması söz konusu olmadığına göre $N_1, N_2, \dots, N_Q$ değerleri azalmayan (non-decreasing) bir dizi oluşturacaktır. Gerçekte bazı dönemler araç satın alınması söz konusu olacağından toplam maliyeti enazlama problemi, araçların hangi dönemlerde satın alınacaklarının belirlenmesi karar problemi dönüşmektedir.

Yukarıdaki özellikler nedeniyle problem dinamik programlama formülasyonu ile ele alınabilmektedir. Buna göre durum değişkenleri (firmanın elinde bulunan araç sayısı) her aşamada (plânlama dönemi) değişebilir. Aşamaların ileriye doğru numaralandırılmasıyla aşağıdaki ileri ardıştırma (forward recursion) tanımlanmaktadır:

F_i : $i=1,2,\dots,Q$ için , $1,2,\dots, i$ plânlama dönemlerini kapsayan eniyi araç satın alma politikası.

N_i^* : F_i 'ye bağlı olarak işletmenin sahipliğindeki araç sayısının eniyi değeri.

Eğer sadece bir dönem söz konusu ise o dönem araç satın alınmayacaktır. Yani;

$$F_1 = g_1(N_1)$$

ve başlangıçtaki araç sayısı N_1 olmak üzere

$$N_1^* \quad N_1$$

olacaktır.

F_i için ileriye doğru bir gösterim elde etmek istendiğinde $j, j+1, \dots, i$ aralığı incelenecektir. Bu aralıkta j dönemi için verilen satın alma kararı $j+1$ döneminde N_{j+1} kapasitesini (araç sayısını) oluşturacaktır ve başka herhangi bir satın alma kararı söz konusu değildir. Buna göre;

$N_k = N_{j+1}$, $k = j+2, j+3, \dots, i$ olacaktır.

$\alpha_{j,i}$, j döneminde oluşan satın alma gideri ile

$j+1, j+2, \dots, i$ dönemlerindeki işletim giderlerini (sabit, değişken ve kira giderleri) belirliyorsak,

$j \geq 1$ için $\alpha_{j,i} = b_j (N_{j+1} - N_j) + \sum_{k=j+1}^i g_k (N_{j+1})$ olacaktır.

$j = 0$ durumunda araçların satın alma gideri olmayacağından,

$$\alpha_{0,i} = \sum_{k=1}^i g_k (N_1)$$

olacaktır.

$j \geq 1$ için $N_{j,i}$ çift dizinli değişkeni, $(1, 2, \dots, j)$ aralığına ilişkin eniyi politika verildiğinde, N_{j+1} değeri olarak alınacaktır. Yani, $j \geq 1$ için,

$$\alpha_{j,i} = b_j (N_{j+1} - N_j^*) + \sum_{k=j+1}^i g_k (N_{j+1})$$

ifadesini enküçükleyen N_{j+1} değeri, $N_{j,i}$ ye karşı gelecektir.

Toplam maliyet fonksiyonunun parçalı doğrusal dışbükey olması nedeniyle $N_{j,i}$ değişkeni $N_j^*, d_{j+1}, d_{j+2}, \dots, d_i$ değerlerinden birisini almak zorundadır. Ancak eğer,

$$N_{j,i} \leq N_j^*$$

ise, kapasitenin ~~azaltı~~lamıyacağı koşulu nedeniyle j döneminde araç satın alma söz konusu olmayacaktır. Yani,

$$\alpha_{j,i}^* = \infty$$

durumu söz konusudur. Buna göre (j, i) aralığı için N_j başlangıç durumu verildiğinde eniyi maliyet şu şekilde belirlenecektir:

$$\alpha_{0,i} = \sum_{k=1}^i g_k(N_1)$$

ve $0 < j < i$ için

$$\alpha_{j,i} = \begin{cases} b_j(N_{j,i} - N_j^*) + \sum_{k=j+1}^i g_k(N_{j,i}), & N_{j,i} > N_j^* \text{ ise} \\ \infty, & N_{j,i} \leq N_j^* \text{ ise} \end{cases}$$

$\alpha_{0,i}^*$ terimiyle tanımlanan giderler plânlama süresi içinde hiçbir araç satın alınması kararına karşı gelen maliyeti vermektedir.

$\alpha_{j,i}^*$ ile gösterilen maliyetler ise j döneminde $(N_{j,i} - N_j)$ sayıda araç satın alınması giderleriyle $j+1, j+2, \dots, i$ dönemlerine ilişkin işletim giderleri toplamıdır.

Yukarıdaki tanımlar doğrultusunda ardışık ilişki $F_0 = 0$ ve $F_1 = g_1(N_1)$ olmak üzere $i \geq 2$ için

$$F_i = \min_{0 \leq j < i} (F_j + \alpha_{j,i}^*)$$

olacaktır. Bu ifadeyi enküçükleyen j değeri, eniyi satın alma dönemi dizinine karşı gelmektedir. Örneğin j 'nin değeri m ise,

$$N_i^* = \begin{cases} N_1, & m=0 \text{ ise} \\ N_{m,i}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

olacaktır.

Ardıştırma işlemi tamamlandıktan sonra geriye doğru izleme yoluyla satınalma dönemleri dizisi belirlenerek satınalma kararları elde edilecektir.

Yukarıdaki dinamik programlama modeli, dönemler itibariyle araç sayısında azaltma yapılmasını da içerecek şekilde genişletilmiştir.

I.2.5 Parikh Yaklaşımı

Eniyi taşıma filosu büyüklüğü belirlenmesi problemini Parikh⁽¹⁰²⁾ oldukça farklı biçimde ele almıştır. Problem şu şekilde tanımlanmıştır:

Müşteri istemlerinin geliş dağılımı ve taşıma süreleri dağılımı biliniyor ise, istemlerin gecikmesinin belli bir β ($0 < \beta < 1$) oranının üstünde olmaması için araç sayısı kaç olmalıdır?

Tanımlanan probleme göre politika içeren β parametresiyle belirlenen hizmet düzeyine ulaşmak için filo büyüklüğü araştırılmaktadır. Parikh, filo büyüklüğü belirlenmesi problemini bir kuyruk problemi olarak ifade etmektedir. Müşteri istemleri gelişler, araçlar servis kanalları ve taşıma hizmeti de servis olmak üzere problem, "bilinen geliş ve servis debilerine bağlı olarak çok kanallı bir kuyruk sisteminde gecikme olasılığının belirli bir β değerinin altında olmaması için kanal sayısı ne olmalıdır?" şeklinde ifade edilmektedir.

Yapılan uygulamayla ilgili olarak geçmiş kayıtların analizi sonunda müşteri gelişlerinin Poisson dağılımına uygun olduğu, servis süreleri dağılımının ise $6 \leq k \leq 12$ olmak üzere k-Erlang dağıldığı belirlenmiştir. Buna göre $M/E_k/C$ kuyruk sistemi⁽¹⁰³⁾ söz konusudur.

(102) S.C. PARIKH; "On a Fleet Sizing and Allocation Problem", Management, Science, V.23, 1977, s, 972-977

(103) Kuyruk sistemlerinin gösteriminde genellikle Kendall gösterimi kullanılmaktadır. Buna göre (a/b/c) şeklinde ifade edilen kuyruk sistemlerinde (a) geliş dağılımı, (b) servis süresi dağılımı, (c) ise servis kanalı sayısını göstermektedir. Geliş ve servis süresi dağılımları için kullanılan simgelerden bazıları ise M, üssel dağılmış, D deterministik, E_k k'inci dereceden Erlang, G ise genel dağılmış gelişlerarası veya servis sürelerine karşı gelmektedir. Ayrıntılı bilgi için Bkz. İ.KARA; Servis Sistemleri ve Gelişler Zamana Bağlı Olduğunda Kapasite Sorununa Matematiksel Yaklaşım; E.İ.T.İ.A. Yayını, Eskişehir, 1976 s. 11-21

Değişik servis istasyonu sayılarına göre gecikme olasılığının analitik olarak hesaplanması sadece M/M/C kuyruk sistemleri için mümkün olduğundan ve alternatif olarak Monte-Karlo benzetiminin pahalı ve uzun süre alacağı göz önünde tutularak, yaklaşık çözüm bulma yoluna gidilmiştir. İzlenen yol aşağıda özetlenmektedir.

Değişik servis istasyonu sayısı (C) için gecikme olasılığının hesaplanabildiği M/M/C kuyruk sistemi, $k=1$ için $M/E_k/C$ sisteminin özel bir durumudur. M/D/C kuyruk sistemi de $k=\infty$ olmak üzere $M/E_k/C$ sisteminin özel bir durumu olacaktır. Öte yandan $M/E_k/C$ sistemi için gecikme olasılığı değeri üstten ve alttan M/M/C ve M/D/C sistemlerinin gecikme olasılık değerleriyle sınırlanmıştır. CM, CD, CE_k , CG istenen gecikme olasılığı sınır değeri için M/M/C, M/D/C, $M/E_k/C$ ve M/G/C kuyruk sistemlerinin eniyi servis istasyonu sayısı ise M/G/C kuyruk sisteminin de M/D/C kuyruk sisteminin özel bir durumu olması nedeniyle;

$$CG \leq CD \leq CE_k \leq CM$$

özellliği bulunmaktadır ve değişik geliş ve servis debileriyle β değerleri için CM - CG değerinin önemsiz ölçüde küçük olduğu gözlenmiştir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, önerilen yöntemle göre verilen geliş ve servis debileriyle β olasılığı ve k değerine bağlı olarak eniyi servis istasyonu (araç) sayısı aşağıdaki şekilde belirlenecektir:

$$CE_k = \begin{cases} CM & k=1 \text{ için} \\ CG & k>1 \text{ için} \end{cases}$$

Parikh tarafından yapılan çalışmanın ikinci aşamasında bir şirketin sahip olduğu çok sayıda taşıma aracından istenen hizmet düzeyini sağlayacak şekilde yukarıda belirtilen yöntemle göre değişik bölgelerde taşıma yapacak belirli sayıda filo oluşturmuştur.

I.2.6 Etezadi ve Beasley Modeli

Etezadi ve Beasley⁽¹⁰⁴⁾ bir sunum noktasından belirli sayıda istem noktası talebinin enaz maliyetle karşılanması için taşıma filosunun boyutlandırılmasının uzun vadeli bir karar problemi oluşturduğunu belirtmektedir. Buna göre taşıma filosunun eniyi büyüklük ve birleşiminin belirlenmesinde sabit ve değişkin maliyet parametreleri göz önüne alınacağı gibi, dönemler itibariyle istem noktalarının değişen talepleri de göz önüne alınmalıdır. Önerilen modelin parametre ve değişkenleri şunlardır:

- c_i : sunum noktası ile i 'inci müşteri arasındaki uzaklık ($i=1,2,\dots, n$)
- q_{it} : t döneminde i 'inci müşteriye taşınacak yük miktarı ($t=1,2, \dots, T$)
- d_{it} : t döneminde i 'inci müşteriye yapılan taşımayla ilgili olarak yükleme, boşaltma payı (Bu pay yükleme-boşaltma süresinde yapılabilecek yol uzunluğu olarak ifade edilebilir)
- D_j : j tip araçla herhangi bir dönemde katedilebilecek enbüyük uzaklık (Dönem sonunda bütün araçların sunum noktasına dönecekleri kabul edilmektedir)
- Q_j : j tip aracın kapasitesi
- F_j : j tip araca T dönem sahip olmanın sabit maliyeti
- f_j : j tip kiralık aracın 1 dönemlik sabit maliyeti
- V_j : Sahip olunan j tip aracın birim taşıma uzaklığı değişken gideri
- v_j : kiralanan j tip aracın birim taşıma uzaklığı değişken gideri
(V_j ve v_j farklı değerler alabilir)
- x_j : Sahip olunan j tip araç sayısı
- y_{jt} : t döneminde kiralanan j tip araç sayısı

(104) ETEZADI- BEASLEY; a.g.k.

- u_{jt} : Sahip olunan j tip araçlardan t döneminde kullanılan sayı
 z_{jt} : Sahip olunan j tip araçlarla t döneminde katedilen uzaklık (yükleme-boşaltma payları hariç)
 w_{jt} : j tip kiralık araçlarla t döneminde katedilen uzaklık (yükleme-boşaltma payları hariç)
 e_t : t döneminde katedilmesi beklenen uzaklık (yükleme-boşaltma payları hariç)

Model

- (1) $u_{jt} \leq x_j$ $j=1,2,\dots,m$ ve $t=1,2,\dots,T$
 (2) $z_{jt} \leq u_{jt} D_j$ $j=1,2,\dots,m$ ve $t=1,2,\dots,T$
 (3) $w_{jt} \leq y_{jt} D_j$ $j=1,2,\dots,m$ ve $t=1,2,\dots,T$
 (4) $\sum_{j=1}^m (z_{jt} + w_{jt}) = e_t$ $t=1,2,\dots,T$ için
 (5) $\sum_{j=1}^m (u_{jt} + y_{jt}) D_j \geq e_t + \sum_{i=1}^n d_{it}$ $t=1,2,\dots,T$
 (6) $\sum_{j=1}^m (u_{jt} + y_{jt}) Q_j \geq \sum_{i=1}^n q_{it}$ $t=1,2,\dots,T$
 (7) $e_t, w_{jt}, z_{jt} \geq 0$ $j=1,2,\dots,m$ ve $t=1,2,\dots,T$
 (8) x_j, y_{jt} ve u_{jt} tamsayı $j=1,2,\dots,m$ ve $t=1,2,\dots,T$

kısıtlayıcılarını sağlayacak ve

$$z = \sum_{j=1}^m (F_j x_j \sum_{t=1}^T f_{jt} y_{jt})$$

$$+ \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T (v_j z_{jt} + v_j w_{jt})$$

amaç fonksiyonunu enazlayacaktır.

Birinci kısıtlayıcı yoluyla herhangi bir dönemde kullanılan araç sayısının eldeki toplam sayıdan fazla olmaması sağlanmaktadır. İkinci ve üçüncü kısıtlayıcılar yoluyla sahip olunan veya kiralanan araçlarla yapılan taşımalarda katedilen uzaklığın enbüyük değeri aşmaması sağlanmaktadır. Dördüncü kısıtlayıcı katedilen toplam uzaklığın beklenen değere eşit olmasına ilişkindir. Beşinci kısıtlayıcıyla araç kümesinin tüm müşterilere ulaşacak düzeyde olması sağlanmaktadır. Altıncı kısıtlayıcı ise yeterli kapasitenin varlığını sağlamaktadır.

Yukarıda önerilen model bir karışık-tamsayı programlama modelidir ve sahip olunan/kiralanan araçlara ilişkin ya da her tip araçla gidilecek müşterilere ilişkin kısıtlayıcıların da ilâve edilebileceği belirtilmektedir. Öte yandan modele beklenen taşıma uzaklıklarına ilişkin farklı kısıtlayıcılar da eklenmesi mümkün olmaktadır.

I.2.7 Diğer Yaklaşımlar

Taşıma filosu boyutlandırılması problemi bazı araştırmacılar güzergâh belirleme problemiyle birlikte ele alarak çözümleme yolunu seçmişlerdir. Problemin bu şekilde ele alınması uzun dönemli bir kapasite plânlaması niteliğinin ortadan kalkmasına yol açmaktadır. Bu nedenle söz konusu yaklaşımlar ayrıntıya inilmeden ana hatlarıyla tanıtılacaktır.

Ball ve arkadaşları çalışmalarında⁽¹⁰⁵⁾ kimyasal ürünler üreten bir işletmenin uzun dönemli kiralanan araçlar ve taşıyıcı kuruluşlar yoluyla sağlanan taşıma faaliyetleriyle ilgili olarak aşağıdaki sorulara yanıt aramağa çalışmışlardır:

- (i) Uzun dönem sözleşme yoluyla oluşturulacak filo büyüklüğü ne olmalıdır?
- (ii) Hangi taşımalar özel filo araçlarıyla yapılmalı, hangileri taşıyıcı kuruluşlara taşittirilmelidir?

(105) M.O. BALL, L. BODIN, B. GOLDEN, A. ASSAD, "A Strategic Fleet Sizing Problem Analyzed by a Routing Heuristics," (working Paper), College of Business and Management, University of Maryland at College Park, 1980

(iii) Taşıma filosu araçlarının güzergâhını nasıl belirlemelidir?

Çalışmada eniyi filo büyüklüğünü ve karşı gelen taşıma güzergâhının belirlenmesi için kurulan bir matematiksel modele yaklaşık çözüm yöntemleri önerilerek değerlendirilmektedir.

Levy ve arkadaşları da konuyla ilgili çalışmalarında⁽¹⁰⁶⁾ taşıma filosu boyutlandırılması problemini güzergâh belirleme problemiyle birlikte ele alarak bulgusal çözüm algoritmaları geliştirmişler ve sınınamışlardır. Geliştirilen bulgusal yöntemler genellikle Clarke ve Wright algoritmasına dayanmaktadır. Bunlar arasında Enbüyük Tur (Giant Tour) algoritması olumlu sonuçlar vermesi nedeniyle önerilmektedir.

Ulusoy ise taşıt sayısı ve kapasitelerinin belirlenmesi problemini ayrıtlara hizmet götürülen dağıtım sistemleri için incelemektedir.⁽¹⁰⁷⁾ Çalışmada verilen bir serim üzerinde hizmet talep eden ve taşıt kapasitelerini kullanmak isteyen bir ayrıt kümesinin istemini sabit ve değişken maliyetlerin toplamını enküçük düzeyde tutarak karşılayacak taşıt sayısı, kapasiteleri ve güzergâhı saptamaya yönelik sezgisel bir algoritma önerilmektedir.

I.3 Taşıma Filosu Boyutlandırılmasına İlişkin Modellerin Değerlendirilmesi ve Yeni Bir Model Gereği

Taşıma filosu boyutlandırılmasına yönelik modeller önce genel olarak değerlendirilerek sınıflandırılacak, daha sonra da her yaklaşımla ilgili özellikler belirlenecektir.

(106) L. LEVY, B. GOLDEN, A. ASSAD, "The Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem" (Working Paper), No. 80-011, College of Business and Management, University of Maryland at College Park, 1980

(107) Gündüz ULUSOY; "The Fleet size and Mix Problem for Capacitated Arc Routing; (Working Paper); Boğaziçi Ün. End. Müh. Böl. 1982.

İncelenen modellerin tümüne ilişkin aşağıdaki özellikler belirlenmiştir.

- Taşıma filosu boyutlandırılmasına yönelik modellerden bazıları taşıma filosunun tek tip araçtan oluşacağı varsayımından hareketle problemi filo büyüklüğünün (araç sayısının) belirlenmesi yönüyle ele almışlardır. Kirby ve Wyatt tarafından önerilen yaklaşımlar, Eilon ve arkadaşlarının önerdiği birinci model, Mole ve Parikh'in yaklaşımları bunlar arasındadır. Diğer modellerde ise problem filo büyüklüğünün (araç tipleri ve sayıları) belirlenmesine yöneliktir.

- Problemin gösterimi için yapılan yaklaşımlar Kirby ve Wyatt'ın yaklaşımı ve Parikh'in kuyruk sistemi gösterimi dışında matematiksel programlama modelleridir. Gould, Eilon ve arkadaşları ile Etezadi problemi bir doğrusal programlama modeli olarak ifade etmişler, Mole ise taşıma filosunun boyutlandırılması problemini ardışık karar evrelerinin söz konusu olduğu dinamik programlama modeli olarak göstermiştir.

- İncelenen modellerin hiçbirisinde taşıma gereksiniminin bütünüyle özel filo yoluyla karşılanması zorunlu değildir. Taşıma filosunun boyutlandırılması problemi kiralık araçların her an temine hazır olduğu varsayımını içermektedir.

Taşıma filosu boyutlandırılmasıyla ilgili modeller tek tek ele alındığında aşağıdaki özellikler gözlenmiştir.

- Kirby ve Wyatt'ın yaklaşımı tek dönem için, istemin sabit olduğu ancak mevsimsel dalgalanma gösterdiği durumlara ilişkindir. Buna göre bir dönemden oluşan plânlama süresi için toplam istem bilinmekte olup, bunun dönem içindeki dağılımı mevsimsel özellik göstermektedir. Yaklaşım tek dönem ve bir araç tipi için geçerlidir ve bu yönleriyle bir yatırım problemi niteliğindeki taşıma filosu boyutlandırılması probleminin gösterimi için yetersiz kalmaktadır.

- Gould tarafından tek araç tipi için önerilen doğrusal programlama modeli Kirby ve Wyatt yaklaşımlarından kaynaklanmaktadır ve benzer eleştiriler getirilebilir. Öte yandan modelin birden fazla araç tipi için yapılan uygulamasında özel bir probleme dönük modelleme yapılmıştır ve genelleme söz konusu değildir.

- Eilon ve arkadaşları tarafından önerilen modellerden birincisi tek araç tipi için geçerli olup bu yönüyle eksik görülmektedir. Öte yandan yaklaşım plânlama dönemleri için her istem noktasının talebinin bilinmesini ve istemlerin karşılanması için en az araç sayısı ve en kısa taşıma sağlayan araç sayısının belirlenmesini gerektirir ki, bu yönüyle de çok fazla işlem yükü getirmektedir.

- Eilon ve arkadaşları tarafından önerilen ikinci model birden fazla plânlama dönemi için geçerlidir ve taşıma filosunun tek tip araçtan oluşması zorunluluğu da yoktur. Bu yönüyle gerçek problemleri yansıttığı düşünülebilir. Ancak dönem olarak tanımlanan sürenin tüm müşterilere bir taşımanın yapılabildiği süre olarak tanımlanması, modelin uzun dönemli bir yatırım problemi olarak ele alınmasını kısıtlamaktadır. Öte yandan araç maliyetlerinin de dönem maliyeti olarak tanımlanması, yapılan taşıma miktarıyla ilgili maliyet özelliklerinin modele dahil edilmesini engellemektedir.

- Taşıma filosu boyutlandırılması probleminin Mole tarafından birden fazla dönemi içeren ardışık bir karar problemi şeklinde ele alınması konuya bir yatırım problemi özelliği getirmiş olmakla birlikte, önerilen dinamik programlama modelinde araçların tektürel (homojen) olması özelliği modelin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır.

- Parikh taşıma filosu boyutlandırılması problemini hizmet yönüyle ele alarak konunun maliyet yönünü inceleme dışı bırakmıştır. Taşıma filosu oluşturma kararının hizmet yönü yanında işletme yöneticileri için maliyet yönü de önemlidir ve bu nedenle yaklaşım karar verici için yeterli bilgiyi sağlayamamaktadır.

- Etezadi ve Beasley konuya en gerçekçi yaklaşımda bulunarak taşıma filosu boyutlandırılmasının uzun vadeli bir karar problemi olduğunu belirtmişlerdir. Geliştirilen model birden fazla dönemi içermekte, ancak araçların plânlama dönemi sonunda kadar elde bulundurulacağı varsayılmaktadır. Plânlama dönemi içinde araçların ekonomik ömürlerini tamamlamaları durumuyla, araçlardan bir kısmının ekonomik ömürleri dolmadan elden çıkartabilecekleri modele dahil edilmemiştir.

- Konuyla ilgili diğer modellerde ise taşıma filosu boyutlandırma problemi güzergâh belirleme problemiyle birlikte ele alınarak çözümlenmiştir. Problemin bu şekilde ele alınması konuya durağan bir özellik vermektedir. Zaman içerisinde taşıma yapılacak müşterilerin konumları ve bunların istemleri sabit kabul edilmekte ve buna göre filo boyutlandırması ve güzergâh belirleme problemleri eşzamanlı olarak çözülmektedir. Söz konusu yaklaşımlarda talep dağılımları ve araç sayılarındaki değişikliklerin göz önüne alınmaması, modellerin uzun dönemli olarak ele alınmasını engellemektedir.

Taşıma filosunun boyutlandırılmasına yönelik modellerde konuya değişik açılardan yaklaşılmakta, ancak aşağıdaki özellikleri tümüyle yansıtan bir model bulunmamaktadır.

1. Taşıma filosu boyutlandırılması birden fazla dönemi içeren uzun vadeli bir karar problemidir.
2. Taşıma filosu boyutlandırılması problemi araç tipi ve sayısı yönüyle de ele alınmalıdır.
3. Taşıma filosu birleşim ve büyüklüğü zaman içerisinde değişebilir.
(Yeni araçlar filoya katılabilir, mevcut araçlar elden çıkartılabilir)
4. Taşıma hizmeti gerektiği anda dış taşıyıcılar yoluyla da karşılanabilir.
5. Taşıma araçları ve taşıma hizmetinin satın alınmasına ilişkin giderler zaman içerisinde değişiklik gösterebilir.
6. Taşıma istemleri zaman içinde değişiklik gösterebilir. Ancak plânlama dönemleri itibariyle istem değerleri bilinmelidir veya kestirilebilir olmalıdır.

İzleyen kesimde taşıma filosu boyutlandırılmasına ilişkin yukarıdaki özellikleri içeren bir yaklaşım ele alınacaktır.

II. TAŞIMA FİLOSU BOYUTLANDIRILMASINA YÖNELİK BİR DOĞRUSAL KARAR MODELİ

II.1 Genel Yaklaşım

Taşıma filosu boyutlandırılması problemi plânlama süresi içinde taşıma gereksinmelerinin karşılanması için hangi tip ve kaç adet araç satın alınacağını belirlenerek zamanlandırılması ve taşıma hizmetinin ne kadarının nakliyeciler firmalar yoluyla sağlanacağını belirlemesine yöneliktir. Bu yönüyle problem uzun dönemli kapasite plânlaması özelliği göstermektedir.

Kapasite plânlaması genellikle fabrika veya makina açısından düşünülmektedir. Buna göre kapasite belirli zamandaki üretim miktarı veya üretim oranıdır.⁽¹⁰⁸⁾ Kapasite plânlaması ise üretim hızının istem hızına uyum sağlaması olarak tanımlanmaktadır. Bu uyumun sağlanması için başlıca iki yol vardır:

- a) Sistem kapasitesinde değişmelere ve ayarlamalara olanak sağlanır.
- b) Sistem kapasitesinde değişmelere ve ayarlamalara izin verilmez.

(108) Bülent KOBU; Üretim Yönetimi, İstanbul Üniversitesi Yayını, No. 2298, 1981, s. 421

İkinci yolun uygulanmasında dört durumla karşılaşılır.

- 1) Kapasiteyi yüksek tutmak
- 2) Müşteri kaybını göze almak
- 3) Müşterilerden beklēmelerini talep etmek
- 4) Mamûl stokları bulundurmak

Uzun dönemli kapasite plânlamasında istem kapasite uyumunu sağlamak için Fetter genel bir doğrusal karar modeli önermiştir.⁽¹⁰⁹⁾ Modelin genel olma özelliği üretim, bilgi işlem, taşıma vb. kapasite problemleri için aşağıdaki ana özellikler varolduğunda geçerli olmasıdır.

- a) Kapasiteye sahip olmak uzun dönemli yatırım gerektirir.
- b) Kapasitenin uzun dönemli kira (leasing) yoluyla temini mümkündür.
- c) Kapasite istenildiği an (spot) ve kısa süreli olarak temin edilebilir.
- d) Kapasite temini için üstlenilecek giderler zaman içinde değişiklik gösterebilir.

Model plânlama süresi boyunca istemlerin karşılanması ve kapasite sınırlarının aşılması koşulları altında dönemler itibariyle oluşacak giderlerin bugünkü değerinin enazlanmasına yöneliktir.

Bu çalışmada taşıma filosu boyutlandırılması problemi Fetter'in önerdiği genel yaklaşım çevresinde aşağıdaki özellik ve varsayımlar altında ele alınmaktadır.

II.2 Modelin Özellik ve Varsayımları

Taşıma filosunun boyutlandırılması birden fazla istem merkezinin dönemler itibariyle tonaj, hacim veya sefer sayısı olarak belirlenmiş isteminin belirli bir noktada ve bir karar vericinin yönetiminde toplanmış değişik tip ve özellikteki taşıma araçlarıyla karşılanmasıyla ilgilidir.

(109) R.B. FETTER; "A Linear Programming Model For Long Range Capacity Planning", Management Science, V. 7 s. 372-378. Ayrıca uygulama için bkz: C.C. NEW; "Transport Fleet Planning for Multiperiod Operations", Operational Research Quarterly, V.25, 1975, s. 151-166

Belirlenen istemi taşımakla yükümlü olan karar verici taşımayı kendi denetimindeki özel taşıma filosu araçlarıyla yapabileceği gibi, taşımaların gerçekleştirilmesinde taşıyıcı kuruluşlardan da (nakliye firmalarından) yararlanabilir. Sonlu sayıda dönemi içeren taşıma probleminde dönem başlarında eldeki araç kapasitesini arttırmak veya azaltmak mümkündür. Eylem seçeneklerine karşı gelen birim gider veya gelirler karar verici tarafından bilinmektedir. Amaç, sonlu plânlama dönemi süresince her dönemde elde bulundurulacak, satın alınacak ve elden çıkartılacak araç sayılarını tip ve özelliklerine göre saptamak, istemin tamamını karşılamak için hangi tip araçla, hangi bölgeye kaç sefer yapılacağı ve kaç seferde nakliyeciler kuruluşlardan yararlanılacağı sabit ve değişken maliyetler toplamının enazlanacak şekilde belirlenmesidir.

Yukarıda tanımlanan problemle ilgili olarak, amaca ulaşmada çeşitli faktörler rol oynar. Bu faktörler aşağıda ele alınmaktadır.

- İşletmenin sahip olduğu araç sayısına ve taşıyıcı kuruluşlardan sağlanan taşıma hizmetinin miktarına (sefer sayısına) bağlı olarak taşıma maliyetleri doğrusal olarak değişmektedir. Taşıma maliyetlerini oluşturan unsurlar:

- i) İşletmenin satın aldığı araçların sabit maliyetleri
 - ii) İşletmenin sahipliğindeki araçların değişken maliyetleri
 - iii) İşletmenin taşıyıcı kuruluşlardan sağladığı taşıma hizmetinin maliyeti (sefer ücreti)
- olarak ele alınacaktır.

- Taşıma filosu boyutlandırılması problemi sonlu bir plânlama süresi için söz konusudur. Plânlama süresi eşit uzunluktaki dönemler olarak alt aralıklara bölünebilir.
- İstem merkezleri taşıma sürelerine göre bölgelere ayrılmıştır. Buna göre bir bölgedeki tüm istem merkezlerine taşıma süresi aynı olup, istem merkezlerinin toplam istemi bölge istemine karşı gelecektir.

- İstem merkezlerinin talepleri dönemler itibariyle kestirilebilmekte olup, bu istemlerin gerektirdiği taşımaların dönem boyunca gerçekleştirilmesi zorunludur. Talepler miktarlar, hacim veya bir tip araç kapasitesi esas alınarak sefer sayısı cinsinden ifade edilebilir.
- Taşımayı gerçekleştirecek araçlar değişik kapasitede olabilir. Araçların kapasiteleri ile biri diğeri cinsinden kapasite oranları bilinmektedir.
- İstem merkezlerine yapılacak taşımalar işletmenin sahipliğindeki araçlarla yapılabileceği gibi, gerektiğinde taşıyıcı kuruluşlardan yararlanılabilir. Taşıma hizmetinin satın alınması taşıyıcı kuruluşların araçları ve sürücülerin istem merkezlerine sefer yapmak üzere kiralanması şeklinde olacaktır.
- İşletmenin satın alarak kendi taşıma filosunu oluşturduğu araçların belli bir ekonomik ömrü olup, bu devre sonundaki değeri bilinmektedir. Ayrıca işletme araçları, satın alındıkları dönemden bir dönem sonra başlamak üzere, ekonomik ömürleri doluncaya kadar olan sürede herhangi bir dönem elde çıkartılabilir. İşletmenin sahip olduğu araçları elden çıkartması halinde elde edilecek gelir, araç yaşına bağlı olarak bilinmektedir.
- Taşıma süreleri istem merkezlerinin coğrafi konumları itibariyle farklılık göstermekle birlikte, araç tipleri açısından farklılık göstermemektedir.

Yukarıda ele alınan faktörlerin niceliksel biçime dönüştürülmesiyle aşağıdaki matematiksel model elde edilmiştir.

II.3 Modelin Temel Bileşenleri

Geliştirilen matematiksel modelin temel bileşenleri, (parametre, karar değişkeni, kısıtlayıcı ve amaç fonksiyonu) aşağıda gösterilmiştir. Gösterimde kullanılan dizin kümeleri şunlardır:

i : dönemler	$i = 1, 2, \dots, m$
j : bölgeler	$j = 1, 2, \dots, n$
k : araç tipleri	$k = 1, 2, \dots, K$
t : araç yaşı	$t = 1, 2, \dots, T$

II.3.1 Parametreler

Modelin içerdığı parametreler aşağıdaki gibidir.

v_{ij}^k	: k tip işletme aracıyla i döneminde j bölgesine yapılan seferin değişken gideri.
F_t^k	: t yaşındaki k tip aracın dönemlik sabit maliyeti.
h_j^k	: k tip kiralık araçla (nakliye firması aracı) j bölgesine yapılan seferin maliyeti
d_{ij}	: i döneminde j bölgesinin istemi (miktar, hacim veya sefer sayısı cinsinden ifade edilebilir)
a_i^k	: k tip aracın i döneminde birim satınalma gideri
b_{it}^k	: t yaşındaki k tip aracın i dönemindeki satış fiyatı
T	: İşletmenin satın aldığı araçların ekonomik ömrü (dönem cinsinden). Buna göre araç engeç T yaşında elden çıkartılmalıdır.
α^k	: k tip aracın kapasitesi veya kapasite oranı
r_i	: i döneminde iskonto oranı
s_j	: j bölgesine yapılan seferin süresi (gün)
G	: Dönem uzunluğu (gün)

II.3.2 Karar Değişkenleri

Modelde eniyi değerleri araştırılan değişkenleri ise şöyle belirlenmiştir.

x_{ij}^k : k tip işletme aracıyla i döneminde j bölgesine yapılacak sefer sayısı

y_{ij}^k : k tip kiralık araçla i döneminde j bölgesine yapılacak sefer sayısı

N_{it}^k : i döneminde elde bulundurulmuş t yaşındaki k tip araç sayısı

A_i^k : i döneminde satın alınacak k tipindeki araç sayısı

B_{it}^k : i döneminde t yaşında elde çıkarılacak k tipindeki araç sayısı

II.3.3 Kısıtlayıcılar

Modelde gerçekleşmesi zorunlu ilişkiler olan kısıtlayıcılar şu şekilde ele alınmıştır.

i) Dönemler itibariyle sunum merkezinden bölgelere gönderilen ürün miktarı talep edilen miktardan az olmamalıdır. İstem merkezleri gereksinmesi karşılanmalıdır:

$$\sum_{k=1}^K \alpha(x_{ij}^k + y_{ij}^k) \geq d_{ij} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix}$$

ii) İşletmenin kendi araçlarıyla yapacağı sefer sayısı eldeki araçlarla yapılabilecek en fazla sefer sayısından büyük olmamalıdır. Bölgelerin coğrafi konumuna göre farklılık gösteren taşıma süresi bilindiğine göre yapılabilecek en fazla sefer sayısı hesaplanabilir.

$$\sum_{j=1}^n s_j x_{ij}^k \leq G \sum_{t=1}^T N_{it}^k \quad \begin{matrix} (k=1, 2, \dots, K) \\ (i=1, 2, \dots, m) \end{matrix}$$

Bu kısıtlayıcıya bağlı olarak elde edilen çözümde

bazı durumlarda araç sayısının yetersiz kalması söz konusu olabilir. Kısıtlayıcının gerektirdiği ilişkiler sağlandığı halde farklı araçların seferlerinin birleştirilememesi nedeniyle yapılması zorunlu seferler eldeki araçlarla dönem içinde bitirilemiyebilir. Dönem uzunluğunun (G) bölgelere sefer süresinin (s_j) ortak katları arasından seçilmesiyle bu sakınca ortadan kalkacaktır.

iii) Herhangi bir dönemde elde bulunan her yaş grubundan araç sayısı, o döneme kadar satın alınmış araç sayısı ile elden çıkartılmış araç sayısı farkına eşit olmalıdır. Herhangi bir i döneminde ($k=1,2,\dots,K$) için aşağıdaki ilişkiler vardır:

$$N_{11}^k = A_1^k$$

$$\sum_{t=1}^i N_{it}^k = \sum_{z=1}^i A_z^k - \sum_{z=2}^i \sum_{t=2}^z B_{zt}^k \quad 2 \leq i < T \text{ için}$$

$$\sum_{t=1}^{T-1} N_{it}^k = \sum_{z=i-T+1}^i A_z^k - \sum_{t=2}^T \sum_{z=i-T+t}^i B_{zt}^k \quad i \geq T \text{ için}$$

iv) Herhangi bir araç ekonomik ömründen uzun süre elde bulundurulamaz. Buna göre i döneminde satın alınmış bir araç ekonomik ömrü olduğu $i+T$ döneminde elden çıkarılmalıdır.

$$A_1^k = \sum_{t=2}^T B_{1+t-1,t}^k \quad \begin{matrix} i=1,2,\dots,n-T-1 \\ k=1,2,\dots,K \end{matrix}$$

II.3.4 Amaç Fonksiyonu

Taşıma filosu boyutlandırılmasına yönelik modelde amaç belirli bir plânlama süresinde ürünlerin sunum merkezinden bölgelere taşınmasına ilişkin taşıma (değişken) giderleriyle araçların yatırım ve sabit giderleri toplamının enaz olmasıdır. Buna göre amaç fonksiyonu ürün dağıtımında devreye giren işletme araçlarının ve taşıma kuruluşlarından sağlanan araçların sefer maliyetleri, işletme araçlarının dönemlik sabit maliyetleri, satın alınan araçların yatırım

maliyetleri toplamından, elden çıkartılan araçların gelirlerinin çıkartılmasıyla elde edilecektir. Karşılaştırmaya esas olmak üzere toplam maliyet önceden saptanmış faiz oranları üzerinden bugüne indirgenir.

$$\sum_{i=1}^m \left[\prod_{p=1}^i \frac{1}{(1+r_p)} \left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K (v_{ij}^k x_{ij}^k + h_j^k y_{ij}^k) + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^{T-1} (F_t^k N_{it}^k) + \sum_{k=1}^K (a_i^k A_i^k) - \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (b_t^k B_{it}^k) \right\} \right]$$

Amaç fonksiyonunda birinci terim bölgelere filo araçlarıyla ve kiralık araçlarla yapılan seferlerin toplam giderlerini, ikinci terim filoyu oluşturan araçların toplam sabit giderini, üçüncü terim satın alınan araçların yatırım giderleri toplamını, son terim ise elden çıkartılan araçların toplam değerini vermektedir.

II.4 Modelin Çözümünün Sağlanması

Yukarıda tanımlanan genel model karar değişkenlerinin alacağı değerlerin tamsayı olma zorunluğu olan bir tamsayı doğrusal programlama modelidir. Modelin çözümü için bilgisayar desteği şarttır ve model özel amaçlı paket programlar kullanılarak çözülebilir. (Tamsayı programlama modellerinin çözümü Ek-1'de incelenmiştir.)

Önerilen modelin çözümünde iki unsur darboğaz yaratacaktır. Bunlar aşağıda ele alınmaktadır.

II.4.1 Modeldeki Değişken ve Kısıtlayıcı Sayıları

Doğrusal programlama modellerinin bilgisayar destekli çözümünde değişken ve kısıtlayıcı sayısının çok olması, çözüm süresinin uzamasına yol açması nedeniyle önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

Önerilen doğrusal karar modelindeki değişken ve kısıtlayıcı sayılarına ilişkin aşağıdaki özellikler vardır.

a) Karar değişkeni sayısı

Sefer sayılarına $(x_{ij}^k$ ve $y_{ij}^k)$ ilişkin değişken sayısı:

$$2(m * n * K)$$

- Eldeki araçlara (N_{it}^k) ilişkin değişken sayısı:

$$(m * T - 1 * K)$$

- Satın alınacak araçlara (A_i^k) ilişkin değişken sayısı:

$$(m * K)$$

- Elden çıkarılacak araçlara (B_{it}^k) ilişkin değişken sayısı: $(m * K * T)$

b) Kısıtlayıcı Sayısı

- İstemlerin karşılanmasına ilişkin kısıtlayıcı sayısı: $(m * n)$

- Sefer sayılarına ilişkin kısıtlayıcı sayısı: $(m * K)$

- Elde bulunan araç sayısına ilişkin kısıtlayıcılar: $(n * K)$

- Araçların ekonomik ömürlerinden daha uzun süre elde bulundurulmamasına ilişkin kısıtlayıcılar: $(m - T - 1) * K$

Önerilen model örneğin 10 plânlama dönemi, 4 bölge, 3 araç türü ve araçların ekonomik ömürlerinin 5 dönem olduğu bir probleme uygulandığında, yaklaşık 750 değişken ve 130 kısıtlayıcı içeren bir modelle karşılaşılacaktır. Ancak uygulamalarda önerilen genel modelin tüm ayrıntılarını içeren problemlerle karşılaşılmayacağı düşünülmektedir. Gerçek problemlerde aşağıdaki özelliklerin bulunacağı öngörülmektedir.

- Kiralık araçlarla yapılan seferlerde araç tipinin göz önünde alınması gerekmebilir. Bölgelere her hangi bir araç cinsinden belli sayıda sefer yapılması söz konusudur. Bu seferleri taşıyıcı kuruluş istediği araçlarla yapabilir.
- Araç sayılarıyla ilgili olarak genellikle araçların ekonomik ömürleri dolana kadar işletme sahipliğinde kalması düşünülebilir.

Yani işletme satın aldığı araçları ekonomik ömrü dolana kadar elinde tutacaktır. Veya araç yaşına göre sabit giderler değişmiyorsa ve yatırım maliyetleri (amortisman) her yıl için eşitse, araçların yaşının modele dahil edilmesi gerekmeyecektir.

Sadece yukarıdaki özelliklerin geçerli olması durumunda, model yaklaşık 250 değişken ve 120 kısıtlayıcı içerecektir. Bu büyüklükteki bir problemin bilgisayar destekli çözümü elde edilebilir.

II.4.2 Tamsayı Değişkenler

Modelde yer alan değişkenler tamsayı değerler almak zorundadır. Bunlar arasında sefer sayılarına ilişkin değişkenler için tamsayı olma zorunluğu ortadan kaldırılsa, modelin çözümünde göz önüne alınması gerekli tamsayı değişken sayısı büyük ölçüde azalacak, bağlı olarak da çözüm süresi kısılacaktır. Bu varsayımın modelin uygulanabilirliğini bozmayacağı söylenebilir. Çünkü uygulamalarda dönemler itibarıyla bölgelere yapılması gerekli sefer sayıları oldukça yüksek olacaktır ve karşı gelen değişkenler için tamsayı olma zorunluğu kaldırılabilir. Bu durumda eniyi çözümde elde edilecek tamsayı olmayan sefer sayıları çizelgeleme aşamasında yeniden ele alınarak gerekli düzenlemeler yapılabilir.

II.5 Modelin Sayısal Uygulaması

Önerilen doğrusal karar modeli bir deney problemi üzerinde uygulanarak çözüm elde edilmiştir. Ele alınan problemin özellikleri şöyledir.

- Araç tipi sayısı (K) = 1
- Plânlama dönemi sayısı (m) = 6
- Bölge sayısı (n) = 3 (n = A, B, C)
- Dönem uzunluğu (G) = 10

- Bölgelere göre sefer süreleri (S_j):

$$S_A = 1$$

$$S_B = 2$$

$$S_C = 3$$

- Bölgelere göre filo araçları ve kiralık araçların sefer giderleri dönemler itibariyle değişmemekte ve aşağıdaki gibidir:

$$v_{iA} = 2$$

$$v_{iB} = 4$$

$$v_{iC} = 6$$

$$(i = 1, 2, \dots, 6)$$

$$h_{iA} = 8$$

$$h_{iB} = 15$$

$$h_{iC} = 20$$

- Taşıma araçlarının sabit giderleri dönemler itibariyle ve aracın yaşna göre değişmemektedir.

$$F_i = 50 \quad (i = 1, 2, \dots, 6)$$

- Araçların ekonomik ömürleri 4 dönem olup, sahip olunan araçlar ekonomik ömürleri sonuna kadar elde bulundurulacaktır.

- Dönemler itibariyle bölge istemleri sefer sayısı olarak aşağıdaki gibidir.

Dönem Bölge	1	2	3	4	5	6
A	20	30	20	20	15	20
B	20	10	15	15	10	15
C	35	30	25	45	30	25

Yukarıdaki özellikleri belirlenen problemin matematiksel gösterimi şu şekildedir.

- İstemin karşılanmasına ilişkin kısıtlayıcılar:

$$\begin{array}{lll}
 x_{1A} + y_{1A} \geq 20 & x_{1B} + y_{1B} \geq 20 & x_{1C} + y_{1C} \geq 35 \\
 x_{2A} + y_{2A} \geq 30 & x_{2B} + y_{2B} \geq 10 & x_{2C} + y_{2C} \geq 30 \\
 x_{3A} + y_{3A} \geq 20 & x_{3B} + y_{3B} \geq 15 & x_{3C} + y_{3C} \geq 25 \\
 x_{4A} + y_{4A} \geq 20 & x_{4B} + y_{4B} \geq 15 & x_{4C} + y_{4C} \geq 45 \\
 x_{5A} + y_{5A} \geq 15 & x_{5B} + y_{5B} \geq 10 & x_{5C} + y_{5C} \geq 30 \\
 x_{6A} + y_{6A} \geq 20 & x_{6B} + y_{6B} \geq 15 & x_{6C} + y_{6C} \geq 25
 \end{array}$$

- Sefer-Gün sayısı kısıtlayıcısı

$$\begin{array}{ll}
 x_{1A} + x_{1B} + x_{1C} < 10 N_1 \\
 x_{2A} + x_{2B} + x_{2C} < 10 (N_1 + N_2) \\
 x_{3A} + x_{3B} + x_{3C} \leq 10 (N_1 + N_2 + N_3) \\
 x_{4A} + x_{4B} + x_{4C} \leq 10 (N_2 + N_3 + N_4) \\
 x_{5A} + x_{5B} + x_{5C} \leq 10 (N_3 + N_4 + N_5) \\
 x_{6A} + x_{6B} + x_{6C} \leq 10 (N_4 + N_5 + N_6)
 \end{array}$$

- Amaç fonksiyonu

$$\text{Enk } Z = 150 N_1 + 150 N_2 + 150 N_3 + 150 N_4 + 100 N_5 + 50 N_6$$

$$\begin{aligned}
 & + 2 \sum_{i=1}^6 x_{iA} + 4 \sum_{i=1}^6 x_{iB} + 6 \sum_{i=1}^6 x_{iC} \\
 & + 8 \sum_{i=1}^6 y_{iA} + 15 \sum_{i=1}^6 y_{iB} + 20 \sum_{i=1}^6 y_{iC}
 \end{aligned}$$

Modelin çözümü Anadolu Üniversitesi Bilgi-İşlem Merkezi ICL - 2903 bilgisayarı kullanılarak aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$N_1 = 5 ; N_4 = 5$$

Buna göre 1' inci ve 4' üncü dönem başlarında oluşturulacak 5'er araçlık taşıma filosu ve çeşitli dönemlerde taşıyıcı kuruluşlar yoluyla yapılacak seferlerle taşıma maliyeti enazlanmakta ve taşıma filosu büyüklüğü belirlenmektedir. Dönemler itibariyle yapılacak sefer sayıları aşağıdaki gibi bulunmuştur:

Filo Araçlarıyla

$x_{1A} = 20$	$x_{1B} = 15$	$x_{1C} = 0$
$x_{2A} = 30$	$x_{2B} = 10$	$x_{2C} = 0$
$x_{3A} = 20$	$x_{3B} = 15$	$x_{3C} = 0$
$x_{4A} = 20$	$x_{4B} = 15$	$x_{4C} = 0$
$x_{5A} = 15$	$x_{5C} = 10$	$x_{5C} = 5$
$x_{6A} = 20$	$x_{6B} = 15$	$x_{6C} = 0$

Taşıyıcı Kuruluşların Araçlarıyla

$y_{1B} = 5$	$y_{1C} = 35$	$y_{4C} = 45$
	$y_{2C} = 30$	$y_{5C} = 25$
	$y_{3C} = 25$	$y_{6C} = 25$

Yukarıdaki çözüme karşı gelen amaç fonksiyonu değeri ise 5875 birim olarak belirlenmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmanın temel amacı fiziksel dağıtım sistemlerindeki taşıma faaliyetlerinin düzenlenmesiyle ilgili çabaları bilimsel yöntemlerle güçlendirmektir. Bu amaçla taşımayla ilgili sorunlar genel olarak incelenmiş, önerilen çözüm yaklaşımları tanıtılmıştır. Bağlı olarak taşıma filosu boyutlandırılması sorunu ele alınarak konuyla ilgili bir model geliştirilmiş, böylece mevcut bilimsel çabalara özgün bir katkıda bulunulmuştur.

Çalışmayla ilgili sonuçlar ve konuyla ilgili çalışmalar için öneriler şöyle sıralanabilir:

- İşletmelerde fiziksel dağıtım faaliyetleri belirlendikten sonra söz konusu faaliyetler sistem yaklaşımı anlayışıyla yeniden tanımlanarak sistemi oluşturan öğeler ve öğelerarası etkileşimler ortaya konulmuştur. Amaç ölçütleri farklı da olsa, fiziksel dağıtım sistemi öğeleri arasındaki uyumun ve sistem etkinliğinin sistem yaklaşımı yoluyla sağlanabileceği belirlenmiştir.

- Fiziksel dağıtım sistemi yalnız taşıma boyutuyla ele alınarak taşıma alt sisteminin yapısı ve özellikleri belirlenmiş taşıma faaliyetleriyle ilgili araç ve gösterimler tanıtılmıştır.

- Fiziksel dağıtım sistemlerindeki taşıma sorunları sınıflandırılarak tanımlanmıştır. Bunlar arasında özellikle güzergâh belirleme ve araç çizelgelendirme problemlerinin yöneylem araştırması disiplini içinde bilimsel çabaların yoğunlaştığı problemler olduğu gözlenmiştir.

Bunun nedeni de taşıma problemlerinin farklı alanlardaki problemlerle yapısal benzerlik göstermesidir.

- Taşıma araçlarıyla ilgili giderler toplam fiziksel dağıtım maliyetleri içinde önemli bir yer tutuyor olmasına rağmen, taşıma filosu boyutlandırılması problemiyle ilgili bilimsel çalışmaların oldukça az olduğu gözlenmiştir.

- Taşıma filosu boyutlandırılması problemi ele alınarak konuyla ilgili bilimsel çalışmalar kronolojik olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda taşıma filosu boyutlandırılması için mevcut eksiklikleri gideren bir model gereği vurgulanmıştır.

- Taşıma filosu boyutlandırılmasının bir kapasite plânlanması problemi olduğu belirlenerek, konuyla ilgili bir doğrusal karar modeli geliştirilmiştir. Model, bir sunum noktasından farklı bölgelere taşıma yapan bir işletmenin toplam yatırım ve işletim maliyetlerini enazlayacak şekilde taşıma filosunun hangi tip ve sayıda araçlardan oluşacağı sorusunu yanıtlamaya yöneliktir.

-Geliştirilen karar modeli yoluyla işletmenin mamûllerini nakliyeciler kuruluşlara taşıttırması ya da kendi özel filosuyla taşıması seçeneklerinden hangisini tercih edeceği eşzamanlı olarak yanıtlanmaktadır.

- Geliştirilen karar modeli bir tamsayı doğrusal programlama modelidir. Yöneylem araştırması teknikleri içinde yer alan tamsayı doğrusal programlama modellerinin çözüm yöntemleri incelenerek, önerilen modelin çözümünün nasıl bulunacağı belirlenmiş ve konuyla ilgili sayısal örneklerle yer verilmiştir.

- Çalışmada modelin gerçek verilerle çözümüne gerek duyulmamıştır. Bunun nedeni, çalışmada yeni bir model geliştirme ve geliştirilen modelin çözümünün sağlanmasının amaçlanmasıdır. Modelin gerçek verilerle çözümü ayrı bir çalışma konusu olarak önerilebilir.

- Kanımızca önerilen model taşıma filosu birleşim ve büyüklüğünün belirlenmesi için yeterli bir yaklaşım sağlanmıştır.

Çalışmada taşıma filosu boyutlandırılması problemi fiziksel dağıtım sistemi içinde ayrı olarak ele alınarak eniyilenmiştir. Taşıma filosuna ilişkin seçeneklerin diğer fiziksel dağıtım sistemi öğeleriyle birlikte incelenmesi daha ileri bir çalışma konusu olarak önerilebilir. Tüm fiziksel dağıtım sistemini bir etkinlik fonksiyonuyla göstermenin zorluğu düşünülürse, böyle bir çalışma için benzetim yönteminin kullanılması önerilebilir. Analitik çözümlerlerin olanaksızlığı durumunda, sistemin değişken koşullar altında davranış göstereceğinin model yoluyla denenmesi olan benzetim yönteminden yararlanarak, fiziksel dağıtım sisteminde taşıma ve depolama alt sistemlerine ilişkin seçenekler değerlendirilebilir.

EK-1

TAMSAYI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELLERİNE
ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI (*)

Tamsayı doğrusal programlama (TDP) doğrusal programlama (DP) problemlerinin özel bir durumudur. DP'de amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonları olup tüm değişkenler negatif olmayan sürekli bir değer kümesine sahiptirler. TDP da ise değişkenlerin bazılarının ya da tümünün yalnızca tamsayı değerler alması gerekmektedir. Bu durumda DP modeline karar değişkenlerinin tamsayı alacağını gösteren bir kısıtlayıcı eklenirse TDP modeli elde edilmiş olur.

TDP modeli şu şekilde gösterilecektir:

X : $(n \times 1)$ boyutunda sütun vektörü (karar değişkenleri)

b : $(m \times 1)$ boyutunda sütun vektörü (kaynaklar)

C : $(1 \times n)$ boyutunda satır vektörü (katkı göstergeleri)

A : $(m \times n)$ boyutunda bir matris (katsayılar)

olmak üzere

$$AX \leq b$$

$$X \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

koşullarına göre

$$= CX$$

amaç fonksiyonunun eniyilenmesi bir TDP modelidir.

(*) Bu bölüm aşağıdaki kaynaklardan yararlanılarak hazırlanmıştır:

H.A. TAHA; Operations Research, Macmillan Publishing Co. Inc., New York, 1976, s. 239-280

H.A. TAHA; Integer Programming; Academic Press, Inc. N.York 1975

A.H. LAND, S. POWELL; Fortran Codes For Mathematical Programming John Wiley and Sons, Inc. New York, 1974

H.M. WAGNER; Operations Research, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1969, s. 445-512

TDP modelleri üç grupta incelenmektedir:

1. Salt Tamsayı Doğrusal Programlama (TDP):
Karar değişkenlerinin tümünün tamsayı olması halidir.
2. Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama (KTDP):
Karar değişkenlerinin yalnızca bir kısmının tamsayı olması halidir.
3. İkili Tamsayı Programlama (İTP):
Karar değişkenlerinin yalnızca 0 ve 1 değerler alması halidir.

TDP modellerinin çözümü için;

(i) kesen düzlem yöntemleri

(ii) dal-sınır yöntemleri

olmak üzere başlıca iki yaklaşım önerilmektedir. Bu yaklaşımlar aşağıda tanıtılmaktadır.

A. Kesen Düzlem Yöntemleri

Kesen düzlem yöntemlerinde başlangıçta değişkenlerin sürekli değerler alabilecekleri kabul edilir ve DP modelinin eniyi çözümü bulunur. Eğer tamsayı olması gereken değişkenler tamsayı değerli ise eniyi çözüm bulunmuştur. Aksi takdirde probleme yeni (ikincil) kısıtlar eklenerek DP modeli yeniden çözülür. Burada dikkat edilecek nokta hiçbir tamsayı değişkenin yeni çözüm uzayı dışında kalmamasıdır. Yeni DP modeli çözülür. Her iterasyonda bir önceki DP problemine ikincil kısıtlar eklenmekte, çözüm uzayının uygun tamsayı noktalar içermeyen kısmı kesilerek (hesaplama dışı bırakılarak) tamsayı olmayan eniyi çözüm istenen eniyi çözüme doğru yönlendirilir. Sorun ikincil kısıtların sistematik biçimde DP modeline nasıl eklenecekleridir.

R.E. Gomory tarafından geliştirilen kesen düzlem yöntemlerinden kesirli algoritma (fractional algorithm) salt tamsayı programlama modellerinin çözümü için, karma algoritma da (mixed algorithm) karışık tamsayılı programlama modellerinin çözümü için kullanılabilir.

B. Sayılama Yöntemleri

Sayılama yöntemlerinden ilk akla gelen tüm sayılama yöntemiştir. Bu yöntemde tamsayı değeriilerin tüm olası birleşimleri (kombinezonları), başka bir deyişle tüm çözüm vektörleri bulunur. Her birleşim için amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Eniyi değeriili birleşim seçilir. Ancak bu yaklaşımın çok küçük problemler dışında uygulama değeri yoktur. Örneğinin n sayıda 0-1 tamsayı değerişken içeren bir ikili tamsayı programlama modeli için değeriendirilmesi gereken 2^n olası çözüm vektörü vardır. Eğer değerişken sayısı 15 ise ikili problem

$$2^{15} = 32768$$

sayıda çözüm vektörü içeriir. Görüldüğü gibi az sayıda değerişken içeren bir problem için bile çözüm vektörü sayısı ve hesaplama süresi çok fazla olacaktır. Bunu önlemenin yolu çözüm vektörlerinin tümünün değeriil, yalnızca küçük bir kısmının sayılması ile eniyi çözüme ulaşmaya yönelik kısmi sayılama algoritmaları kullanmaktır.

Ençok kullanılan kısmi sayılama yöntemleri, çok dalçok düğüim (multibranch - multi node) ve tek dal-tek düğüim (single branch - single node) yöntemleri olarak iki grupta toplanır.

Tek dal-tek düğüim yöntemi ilk kez E. Balas tarafından geliştirilmiştir ve daha çok 0-1 TDP modellerinin çözümünde kullanılmaktadır. Algoritmanın etkinliğı (bellek yükü ve hesaplama süresi) büyük ölçüde başlangıç noktasına bağılıdır. Bu sakıncayı gidermek için Spielberg tarafından önerilen arama çıkışı noktası yöntemi önerilmektedir.

Çok dalçok sınır yöntemi çoğı kez dal-sınır (branch and bound) algoritması olarak adlandırılır. Söz konusu yöntem ilk olarak A.H. Land ve A.G. Doig tarafından geliştirilmiş ancak R.J. Dakin'in düzeltmeleriyle etkin bir hale dönüştürülmüştür.

Dal-sınır yöntemlerinin temel yaklaşımı şöyledir. Uygun çözüm uzayı daha küçük alt kümelere bölünür ve her bir alt kümedeki çözümler için bir sınır (enküçükleme problemleri için alt sınır, enbüyükme problemleri için üst sınır) hesaplanır. İşlemler sırasında olası çözümlerin yalnızca küçük bir bölümü ele alınmakta, kalan çözümler, bunların uygun olmayacağını gösteren sınırlar nedeniyle inceleme dışı bırakılmaktadır. Dal-sınır algoritmasında iki temel işlem aynı zamanda yöntemin ismini vermektedir. Bu işlemler şunlardır:

(i) Dallenma:

Çözümler kümesinin (çözüm uzayının) alt kümelere (alt uzaylara) ayrılması

(ii) Sınırlama:

Çözümler alt kümesi yoluyla amaç fonksiyonunun değerini sınırlandırmak.

Dal-sınır algoritmasında doğrudan tamsayı problemlerle ilgilenmemekte, değişkenler üzerindeki tamsayı olma kısıtlayıcıları kaldırılarak sürekli problemlere çözüm aranmaktadır. Bunun nedeni özellikle doğrusal modellerde sürekli değişkenler için çözümün daha kolay elde edilebiliyor olmasıdır. Öte yandan dal-sınır algoritmaları STP ve KTP modellerinin çözümünde kullanılabilir.

Dal-sınır yöntemleri tamsayı programlama dışında çok sayıda teniyileme probleminin çözümünde kullanılır. Bunlar arasında çizelgeleme problemleri, gezgin satıcı problemi, doğrusal olmayan atama problemleri, sırt çantası problemi sayılabilir.

c. Örnek Problem Çözümü

Tamsayı doğrusal programlama modellerine çözüm yaklaşımları aşağıdaki problemin çözümüyle örneklenecektir.

Problem

$$-x_1 + 3x_2 \leq 6$$

$$7x_1 + x_2 \leq 35$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

kısıtlayıcılarını sağlayan ve

$$z = 7x_1 + 9x_2$$

amaç fonksiyonunu enbüyükleyen x_1 , x_2 tamsayı değişkenlerin bulunmasıdır.

a) Problem STDP modellerinin çözümü için önerilen kesen düzlem yoluyla çözüldüğünde aşağıdaki işlem adımları gerçekleştirilir.

(i) Eniyi sürekli çözümün bulunması

Temel	z	x_1	x_2	x_3	x_4	çözüm
z	(1)	0	0	28/11	15/11	63
x_2	0	0	(1)	7/22	1/22	7/2
x_1	0	(1)	0	-1/22	3/22	9/2

Çözümde tamsayı sonuçlar elde edilemediği için ikincil kısıtların probleme eklenmesi gerekmektedir. İkincil kısıta temel olarak x_1 veya x_2 ' ye karşı gelen ifadelerden herhangi birisi kullanılabilmeyle birlikte genel bir kural olarak kendinden önceki tamsayı değerden en çok sapma gösteren değişkene karşı gelen eşitlik ikincil kısıta esas olacaktır. Problemden bu değerler

$$r_1 = 1/2 \text{ ve } r_2 = 1/2$$

olarak bulunduğundan herhangi bir seçim yapılabilir.

(ii) x_2 denklemleri seçilerek

$$x_2 + (0 + \frac{7}{22})x_3 + (0 + \frac{1}{22})x_4 = (3 + \frac{1}{2})$$

ifadesinden

$$S_1 = -\frac{7}{22}x_3 - \frac{1}{22}x_4 = -\frac{1}{2}$$

ikincil kısıtı elde edilir ve aşağıdaki çözüm tablosu elde edilir.

Temel	z	x_1	x_2	x_3	x_4	S_1	
z	(1)	0	0	28/11	15/11	0	63
x_2	0	0	(1)	7/22	1/22	0	3 1/2
x_1	0	(1)	0	-1/22	3/22	0	4 1/2
S_1		0	0	-7/22	-1/22	(1)	- 1/2

İkil simplex uygulanarak aşağıdaki çözüm elde edilir.

	z	x_1	x_2	x_3	x_4	S_1	Çözüm
z	(1)	0	0	0	1	8	59
x_2	0	0	(1)	0	0	1	3
x_1	0	(1)	0	0	1/7	-1/7	4 4/7
x_3	0	0	0	(1)	1/7	-22/7	1 4/7

(iii) Çözümde değişkenler hala tamsayı değerler almadığı için ikincil yeni kısıt eklenmesi gerekmektedir. x_1 ' e karşı gelen

$$x_1 + (0 + \frac{1}{7})x_4 + (-\frac{1}{7} + \frac{6}{7}) S_1 = (4 + \frac{4}{7})$$

eşitliği kullanılarak

$$S_2 - \frac{1}{7} x_4 - \frac{6}{7} S_1 = -\frac{4}{7}$$

ikincil kısıtı elde edilir. Bu durumda yeni çözüm tablosu aşağıdaki gibi olacaktır.

Temel	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	S_1	S_2	
z	①	0	0	0	1	8	0	59
x_2	0	0	①	0	0	1	0	3
x_1	0	①	0	0	1/7	-1/7	0	4 4/7
x_3	0	0	0	①	1/7	-22/7	0	1 4/7
S_2	0	0	0	0	-1/7	-6/7	①	-4/7

İkil simplex yöntemi uygulanarak aşağıdaki çözüm bulunur

Temel	z	x_1	x_2	x_3	x_4	S_1	S_2	Çözüm
z	1	0	0	0	0	2	7	55
x_2	0	0	1	0	0	1	0	3
x_1	0	1	0	0	0	-1	1	4
x_3	0	0	0	1	0	-4	1	1
x_4	0	0	0	0	1	6	-7	4

Yukarıdaki çözümde karar değişkenleri tamsayı değerler almışlardır ve eniyi çözüm

$$z = 55$$

$$x_1 = 4$$

$$x_2 = 3$$

olarak bulunmuştur.

Problemin Şekil A-1 deki gösterimi incelendiğinde ikincil kısıtların çözüm uzayını istenen biçimde kestikleri görülmektedir. İkincil kısıtlardan ilki olan

$$S_1 - \frac{7}{22} x_3 - \frac{1}{22} x_4 = -\frac{1}{2}$$

x_1 ve x_2 cinsinden yazıldığında

$$S_1 - \frac{7}{22} (6 + x_1 - 3x_2) - \frac{1}{22} (35 - 7x_1 - x_2) = -\frac{1}{2}$$

veya

$$S_1 + x_2 = 3$$

ifadesi elde edilmekte, bu da

$$x_2 \leq 3$$

kısıtlayıcısına karşı gelmektedir.

Benzer şekilde ikincil kısıtlardan ikincisi olan

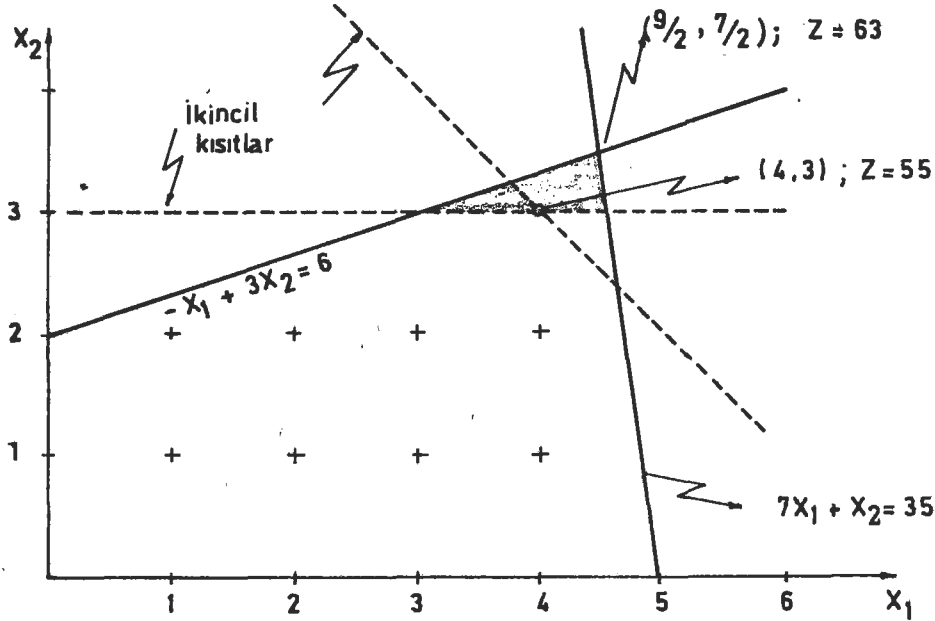
$$S_2 - \frac{1}{7} x_4 - \frac{6}{7} S_1 = -\frac{4}{7}$$

x_1 ve x_2 cinsinden yazıldığında

$$x_1 + x_2 \leq 7$$

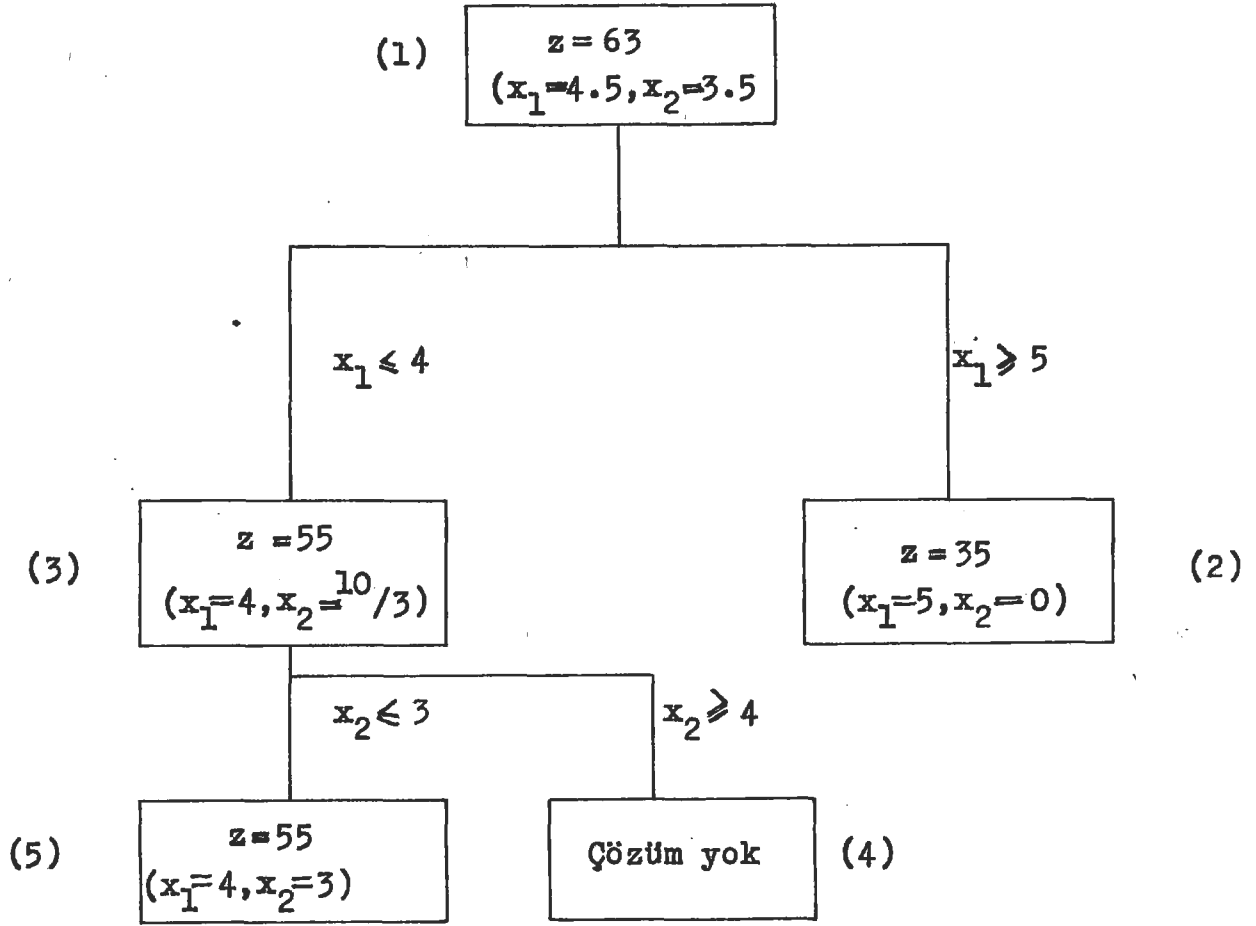
ifadesi elde edilecektir.

Bu kısıtlayıcıların ilâvesiyle Şekil A-1'de görüldüğü gibi yeni uç nokta (4,3) olmaktadır.



Şekil: A-1

b) Yukarıda ele alınan problem dal-sınır yöntemi ile çözüldüğünde Şekil A-2 de gösterilen ağaç çizelgesindeki alt problemler çözülmektedir. Buna göre ilk düğüm verilen problemin çözümüdür. Bu çözümde x_1 ve x_2 değişkenleri kesirli değerler aldıklarından 1'inci düğümden sonra $x_1 \leq 4$ ve $x_1 \geq 5$ kısıtlayıcıları yoluyla iki alt problem elde edilmektedir. 2'inci düğümdeki alt problemin çözümüyle tamsayı sonuçlar elde edilmekte böylece diğer düğümler için bir alt sınır oluşturulmaktadır. Buna göre herhangi bir düğümde $z < 35$ durumu söz konusu olduğunda bu düğüm inceleme dışı bırakılabilecektir.



Şekil: A-2

3' üncü düğümde $x_2 = 10/3$ elde edilmiş, bağlı olarak $x_2 \leq 3$ $x_2 \geq 4$ dallanması türetilmiştir. 4' üncü düğümde çözümsüz bir probleme karşılaşılmış ancak 5' inci düğüm tamsayı çözüm vermiştir. Bu çözüme karşı gelen $z=55$ değeri 2' inci düğümde elde edilen tamsayı çözümden daha iyi olduğu için bulunan aşamaya kadar elde edilmiş eniyi çözüm olarak alınacaktır. Ancak tüm düğümlerin incelenmiş olması veya inceleme dışı bırakılmış olması nedeniyle eniyi çözümde bulunmuş olmaktadır.

D. Bilgisayar Destekli Çözüm

Küçük problemler dışında TDP problemlerinin çözümünde bilgisayar desteği şarttır. Bilgisayar sistemlerinin çoğunda TDP modellerinin çözümü için özel yazılımlar geliştirilmiştir. Bu programlar genellikle dal-sınır yöntemlerini kullanmaktadırlar. Ancak dallanmaya esas olacak değişkenlerin seçiminde ve alt problemlerin taranmasında deneysel olarak geliştirilmiş bazı bulgusal yöntemlere de yer verilmektedir.

CO. FIG EK 2:

ROW 17

CONFIGURATION

NO. OF WORDS OF IAS 13056

NO. OF ADJECTIVE ROWS 1

NO. OF POSITIVITYS 0

NO. OF POSITIVE SLACKS 0

NO. OF NEGATIVE SLACKS 24

TOTAL NO. OF CONSTRAINTS 24

PROJECT NAME PLANT

DATE 22/08/83 TIME 14/55/03

MAIN CHARACTERISTICS

TOTAL NO. OF ROWS 25
 NO. OF VARIABLES ACCEPTED TO DATE 42
 NO. OF VARIABLES ACCEPTED TO DATE 1

ROW NAMES AND NO. OF NON ZERO ELEMENTS

AWAF	7	42	SIRA1	-	2	SIRA2	-	2	SIRA3	-	2	SIRA4	-	2	SIRA5	-	2	SIRA6	-	2
SIPAT	-	2	SIRAB	-	2	SIRAD	-	2	SIPATN	-	2	SIPAT1	-	2	SIPAT2	-	2	SIPAT3	-	2
SIPAT4	-	2	SIRAS	-	2	SIPAT6	-	2	SIRAT7	-	2	SIRAT8	-	2	SIRAT9	-	2	SIRATN	-	2
SIRAT1	-	6	SIRAT2	-	6	SIRAT3	-	6	SIRAT4	-	6	SIRAT5	-	6	SIRAT6	-	6	SIRAT7	-	6

COL. NAMES AND NO. OF NON ZERO ELEMENTS

X1A	3	X2A	3	X3A	3	X4A	3	X5A	3	X6A	3	X7A	3	X8A	3	X9A	3	X10A	3	X11A	3
X2C	3	X3C	3	X4C	3	X5C	3	X6C	3	X7C	3	X8C	3	X9C	3	X10C	3	X11C	3	X12C	3
X3F	3	X4F	3	X5F	3	X6F	3	X7F	3	X8F	3	X9F	3	X10F	3	X11F	3	X12F	3	X13F	3
V4A	2	V5A	2	V6A	2	V7A	2	V8A	2	V9A	2	V10A	2	V11A	2	V12A	2	V13A	2	V14A	2
V5F	2	V6F	2	V7F	2	V8F	2	V9F	2	V10F	2	V11F	2	V12F	2	V13F	2	V14F	2	V15F	2
V6C	2	V7C	2	V8C	2	V9C	2	V10C	2	V11C	2	V12C	2	V13C	2	V14C	2	V15C	2	V16C	2

WATERY OF CONFIDENTIALITY

X1	APACF	2.0000	SIP11	1.0000	SIP10	-	1.0000
X2	APACF	2.0000	SIP12	1.0000	SIP20	-	1.0000
X3	APACF	2.0000	SIP13	1.0000	SIP21	-	1.0000
X4	APACF	2.0000	SIP14	1.0000	SIP22	-	1.0000
X5	APACF	2.0000	SIP15	1.0000	SIP23	-	1.0000
X6	APACF	2.0000	SIP16	1.0000	SIP24	-	1.0000
X1	APACF	4.0000	SIP17	1.0000	SIP10	-	2.0000
X2	APACF	4.0000	SIP18	1.0000	SIP20	-	2.0000
X3	APACF	4.0000	SIP19	1.0000	SIP21	-	2.0000
X4	APACF	4.0000	SIP10	1.0000	SIP22	-	2.0000
X5	APACF	4.0000	SIP11	1.0000	SIP23	-	2.0000
X6	APACF	4.0000	SIP12	1.0000	SIP24	-	2.0000
X1	APACF	6.0000	SIP13	1.0000	SIP10	-	3.0000
X2	APACF	6.0000	SIP14	1.0000	SIP20	-	3.0000
X3	APACF	6.0000	SIP15	1.0000	SIP21	-	3.0000
X4	APACF	6.0000	SIP16	1.0000	SIP22	-	3.0000
X5	APACF	6.0000	SIP17	1.0000	SIP23	-	3.0000
X6	APACF	6.0000	SIP18	1.0000	SIP24	-	3.0000

PROFILES & AFFILIATION

DATE 22/08/83 TIME 16/55/26

MATRIX OF COEFFICIENTS

NUT					
AUTCF	150.0000	SIRA19	10.0000	STRA20	10.0000
					SIRA21
					10.0000

AMT	150.0000	STRA20	10.0000	STRA21	10.0000	STRA22	10.0000
-----	----------	--------	---------	--------	---------	--------	---------

APACF	150.0000	SIRA21	10.0000	SIRA22	10.0000	SIRA23	10.0000
-------	----------	--------	---------	--------	---------	--------	---------

AmacF	120,0000	SIRA22	10,0000	SIRA23	10,0000	SIRA24	10,0000
-------	----------	--------	---------	--------	---------	--------	---------

[illegible]

1

RIGHT HAND SIDES

AMACF	C-0000	SIP41	20.0000	SIR42	30.0000	STR45	20.0000
ST000		ST007					
ST004							

STRA19	25.0000	0.0000	0.0000	0.0000
STRA20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
STRA21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

[illegible]

PROBLEM NAME ITIADP

DATE 22/08/83 TIME 16/55/50

STATISTICAL DATA

NO. OF NON ZERO MATRIX ELEMENTS

111

AMACF

NN1

DENSITY(X)

10.571

STRAT

X1A

LARGEST ELEMENT

150.0000

NO. OF ROWS WITH ONE ELEMENT

1.0000

NO. OF COLUMNS WITH ONE ELEMENT

0

CONTROLS

7 7 0 0 0 0 200 1 7

INVERT

0

NORMAL SUMMING AMACF

OPTIMAL SOLUTION

LAST DUMP NO. 5

[illegible]

PR-LEVEL	ITADP	CST ROW	AVAF	P.H.S.	SHR4	LAST RUP	A	DATE	TIME
SHARD POINTS									
VARIABLE									
X1			2.500000						
X2			0.500000						
X4			2.500000						
X6			0.500000						
V24			1.166667						
V14			0.500000						
V34			1.333333						
V44			0.500000						
V54			1.333333						
V64			1.166667						
V28			1.333333						
V38			1.666667						
V58			1.666667						
V68			1.333333						
N88			5.000000						
N94			1.666667						

KAYNAKLAR

KİTAPLAR

- BALLOU, Ronald H. : Business Logistics Management, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1973.
- BOWERSOX, Donald J. : Logistical Management, Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1974.
- BOWERSOX, Donald J. : Readings in Physical Distribution Management, (Derleme), Macmillan Co., New York, 1969.
- LaLONDE Bernard J.
SMYKAY Edward W.
- BOWERSOX Donald J.
SMYKAY Edward W.
LaLONDE Bernard J.
- CEMALCILAR, İlhan : Physical Distribution Management, Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1969.
- CEMALCILAR, İlhan : Pazarlama, E.İ.T.İ.A. Yayını, Eskişehir, 1977.
- CEMALCILAR, İlhan : İşletmecilik Bilgisi, E.İ.T.İ.A. Yayını, No. 122, Eskişehir, 1979.
- BAYAR, Doğan
ÖZ-ALP, Şan
AŞKUN, İnal C.
- ÇINAR, Ünver : Yöneylem Araştırması Bildiriler'77, (Derleme), YAD - BÜTSAE, 1980.
- ORAL, Muhittin
ULUSOY, Gündüz
- DANIEL, Norman E. : Business Logistics, Concepts and Viewpoints, Allyn and Bacon, Inc., Boston, 1969.
- JONES, Richard J.
- EILON, Samuel : Distribution Management Mathematical Modelling and Practical Analysis, Charles Griffin and Company, Ltd., London, 1971.
- GANDY, C.D.T. Watson
CHRISTOFIDES, Nicos
- KARA, İmdat : Servis Sistemleri ve Gelişler Zamana Bağlı Olduğunda Kapasite Sorununa Matematiksel Yaklaşım, E.İ.T.İ.A. Yayını, Eskişehir. 1976.

- KARA, İmdat : Yöneylem Araştırmasının Yöntembilimi, E.İ.T.İ.A. Yayını, No. 215/139, Eskişehir, 1979.
- KARA, İmdat : Yöneylem Araştırması, (Ders Notları), E.İ.T.İ.A., Eskişehir, 1980.
- KAYA, İsmail : Bir Pazarlama Bileşeni Olarak Fiziksel Dağıtımın Önemi ve Türkiye'deki Durumu, İstanbul Univ., Pazarlama Enst. Yayını, No. 13, İstanbul, 1976.
- KING, William : Quantitative Analysis For Marketing, McGraw Hill, Inc., New York, 1967.
- KOBU, Bülent : Üretim Yönetimi, İstanbul Univ. Yayını No. 2298, İstanbul, 1981.
- KOTLER, Phillip : Pazarlama Yönetimi (Cilt 3) (Çev. E. Yaman) Bilimsel Yayınlar Derneği, Yayın No. 3, İstanbul, 1976.
- LAND, A.H. : Fortran Codes for Mathematical Programming, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1974.
- POWELL, S.
- MAGEE, John F. : Physical Distribution Systems, McGraw Hill, Inc., New York, 1967.
- PHILLIPS, Don T. : Fundamentals of Network Analysis, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1981.
- DIAZ, Alberto G.
- POTTS, Rentley B. : Flows in Transportation Networks, Academic Press, Inc., New York, 1972.
- OLIVER, Robert M.
- ORAL, Muhittin : Yöneylem Araştırması Bildiriler'75, (Derleme), TBTA - MAE, 1976.
- ÇINAR, Ünver
- ÖZKUL, A.Ekrem : Determination of O-D Trig Matrices from Traffic Volume Counts, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Boğaziçi Univ. Endüstri Mühendisliği Böl. 1979.

- SERPER, Özer : Doğrusal Ulaştırma Planlaması -
İdeal Çözüm ve Uygulama, Bursa
İ.T.İ.A. Yayını, No. 8, 1974.
- SKYKAY, Edward W. : Physical Distribution Management,
BOWERSOX, Donald J. Macmillan Co., New York, 1961.
MOSSMAN, Frank H.
- SMYKAY, Edward M. : Physical Distribution Management
Macmillan Publishing Co., New York,
1973.
- STARR, Martin K. : System Managements of Operations,
Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1971.
- TAFF, Charles A. : Management of Physical Distribution
and Transportation, Richard D. Irwin,
Inc., Ill., 1972.
- TAHA, Hamdy A. : Operations Research, Mcmillan
Publishing Co., Inc., New York, 1971.
- TAHA, Hamdy A. : Integer Programming, Academic Press,
Inc., New York, 1975.
- TENEKECİOĞLU, Birol : Pazarlamada Fiziksel Dağıtım ve
Türkiye'deki Uygulama, E.İ.T.İ.A.
Yayını, No. 128/78, Eskişehir, 1978.
- WAGNER, H.M. : Operations Research, Prentice Hall,
Inc., New Jersey, 1969.
- _____ : Pazarlama Yönetimi, (Seminer Notları),
İstanbul Üniv. İşletme Fak.Yayını,
No. 10, İstanbul, 1978.
- _____ : İktisadi Rapor, Türkiye Ticaret,
Sanayi, Deniz Ticaret Odaları ve
Ticaret Borsaları Birliği, Ankara,
1983.

MAKALELER

AKTİN, Tülin
EVVRANUZ, Çetin

: "Enkisa Yol Algoritmalarının Bilgi-
sayara Uygulanış Yöntemleri ve İle-
tişim Şebekelerinin Eniyilenmesinde
Kullanılacak Bir Algoritmanın Geliş-
tirilmesi", (Bildiri), Yöneylem
Araştırması, 8.Ulusal Kongresi,
Ankara, 1983.

BALL, M.O.
BODIN, L.
GOLDEN, B.
ASSAD, A.

: "Strategic Fleet Sizing Problem
Analyzed by a Routing Heuristics"
(Working paper), College of Business
and Management, Univ. of Maryland
at College Park, 1980.

BALKAN, Haluk S.

: "Gezgin Satıcı Problemi",
(Ed.ORAL, ÇINAR), a.g.k.

BAUMOL, W.J.
VINDA, H.D.

: "An Inventory Theoretic Model of
Freight Transport Demand" Management
Science, Vol.16, No. 7. 1970.

CLARKE, G.
WRIGHT, J.W.

: "Scheduling of Vehicles from a
Central Depot to a Number of
Delivery Points" Operations Research,
Vol. 11, 1964.

DODGE, William H.

: "Purchasing Transportation Services",
Business Logistics - Concepts and
Viewpoints, (Ed. DANIEL, JONES) a.g.k.

DREYFUS, Stuart

: "An Appraisal of Some Shortest Path
Algorithms" Operations Research,
Vol. 10, 1968.

- ETEZADI, T.
BEASLEY, J.E. : "Vehicle Fleet Composition",
Journal of Operational Research Society, Vol. 34, 1983.
- FETTER, R.B. : "A Linear Programming Model for
Lang Range Capacity Planning",
Management Science, Vol. 7, 1961.
- GOULD, J. : "The Size and Composition of a
Road Transport Fleet", Operational
Research Quarterly, Vol. 20, 1969.
- GÜRSEL, Z.Hüldan : "Dağıtım Sistemlerinde Etkinliğin
Ölçülmesi Sorunu", (Bildiri), Yö-
neylem Araştırması, 5.Ulusal Kong-
resi Eskişehir, 1979.
- JOHNSON, R.A.
KAST, F.A.
ROSENZWEIG, J.E. : "Systems Theory and Management",
Management Science, Vol. 10, No.2,
1964.
- KAYA, İsmail : "Fiziksel Dağıtım Planlaması"
Pazarlama Yönetimi (Seminer Notları)
a.g.k.
- KIRBY, D. : "Is Your Fleet The Right Size"
Operational Research Quarterly,
Vol. 10, 1959.
- KUMLU, Erdoğan : "Dağıtım Kanalları", Pazarlama
Yönetimi, (Seminer Notları), a.g.k.
- LEVY, L.
GOLDEN, B.
ASSAD, A. : "The Fleet Size and Mix Vehicle
Routing Problem" (Working paper),
No. 80-011, College of Business
and Management, Univ. of Maryland
at College Park, 1980.

- McDONALD, J.J. : "Vehicle Scheduling - A Case Study"
Operational Research Quarterly,
Vol. 23, 1972.
- MOLE, R.H. : "Dynamic Optimization of Vehicle Fleet
Size" Operational Research Quarterly,
Vol. 26, 1975.
- MOLE, R.H. : " A Survey of Local Delivery Routing
Methodology" Journal Of Operations
Research Society, Vol.30, No.3, 1979.
- NEUSCHEL, Robert P. : "Physical Distribution - Forgotten
Frontier", Business Logistics -
Concepts and Viewpoints, (Ed. DANIEL,
JONES), a.g.k.
- NEW, C.C. : "Transport Fleet Planning for
Multiperiod Operations", Operational
Research Quarterly, Vol. 26, 1975.
- OR, İlhan : "Gezgin Satıcı Problemi İçin Bir
Bulgusal Algoritma" (Ed. ÇINAR, ORAL,
ULUSOY), a.g.k.
- PARIKH, S.C. : "On a Fleet Sizing and Allocation
Problem" Management Science, Vol. 23,
1977.
- SAUNDERS, William B. : "Designing a Distribution System"
Readings In Physical Distribution,
(Ed. BOWERSOX, LaLONDE, SMYKAY) a.g.k.
- SAATÇIOĞLU, Ömer : "Hava Ulaşım Sistemlerinin Planlanması
ve İşletilmesinde Yöneylem Araştırması
Uygulamaları" (Ed. ÇINAR, ORAL, ULUSOY)
a.g.k.

ULUSOY, Gündüz

: "The Fleet Size and Mix Problem for Capacitated Arc Routing" (Working paper), Boğaziçi Univ., End.Müh.Böl., 1982.

WYATT, J.K.

: "Optimal Fleet Size", Operational Research Quarterly, Vol. 12, 1961.