

**TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMA İÇİN BİR BULANIK ÇOK AMAÇLI
DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ**

Nilay DÖNMEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2007

ANKARA

Nilay DÖNMEZ tarafından hazırlanan TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMA İÇİN BİR BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK
Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Hasan BAL
İstatistik, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Zülal GÜNGÖR
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih: 07/12/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Nilay DÖNMEZ

TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMA İÇİN BİR BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Nilay DÖNMEZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2007

ÖZET

Tedarik zinciri yönetimi, küresel pazarlardaki ve teknolojiye gelişmeler sonucu önemi gitgide artan konulardan biridir. Bu çalışmada likit petrol gazının (LPG) temini, stoklanması, dolumu ve tüplü gaz olarak dağıtımı konusunda Türkiye’de faaliyet gösteren bir işletmenin tedarik zincirine ilişkin bir bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, altı planlama dönemine ilişkin tedarik edilecek, stoklanacak, tüplere dolumu yapılacak ve talep merkezlerine dağıtılacak LPG miktarlarını belirlemeye yöneliktir. Toplam maliyetlerin (tedarik, dolum, stoklama ve taşıma maliyetleri toplamı) ve toplam taşıma mesafelerinin minimizasyonunun amaçlandığı modelde, ana talep merkezlerine ilişkin talep miktarları ve karar vericinin amaç fonksiyonlarına ilişkin istek düzeyleri bulanık olarak ele alınmıştır. Modelden elde edilen sonuçlar, başka çözüm yöntemleriyle elde edilen sonuçlarla kıyaslanmış, önerilen metodun gerçek hayattaki problemlere kolay uygulanabildiği ve bu tarz problemlerde etken çözüm üretmek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 906.1.141

Anahtar Kelimeler : Tedarik zinciri, bütünleşik planlama, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama

Sayfa Adedi : 95

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK

**A FUZZY MULTI OBJECTIVE LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR
SUPPLY CHAIN PLANNING
(M.Sc. Thesis)**

Nilay DÖNMEZ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2007**

ABSTRACT

Supply chain management is a subject that has an increasing importance due to the developments in the global markets and technology. In this work, a fuzzy multi-objective linear programming model is developed for the supply chain of a company dealing with sourcing, storage, filling and distribution of liquefied petroleum gas (LPG) in Turkey. The model intends to determine the quantities of LPG to be sourced, stored, filled to cylinders and transported for six planning periods. In this model, which aims to minimize both total cost (sum of sourcing, storage, filling and transportation costs) and total transportation distance, demand quantities of main demand hubs and aspiration levels of decision maker about objective functions are fuzzy. Results obtained from the model are compared with the results obtained by using other methods and it is concluded that the proposed method can be applied to real world problems practically and can be used in this type of problems in order to generate an efficient solution.

Science Code	: 906.1.141
Key Words	: Supply chain, aggregate planning, fuzzy multi-objective linear programming
Page Number	: 95
Adviser	: Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca tecrübelerinden faydalandığım, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK'e, tez kapsamındaki uygulama için işletmelerini konu almama ve verilerini kullanmama izin veren, değerli vakitlerini ve ilgilerini esirgemeyen ilgili firma yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca manevi desteklerinden dolayı tüm dostlarıma, sevgili kardeşime ve öğrenim hayatım boyunca bana en iyi imkânları sağlamak için hiçbir fedakârlıktan çekinmemiş olan aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ	4
2.1. “Tedarik Zinciri” Kavramının Doğuşu ve Tanımı.....	4
2.2. Tedarik Zincirinin Yapısı.....	6
2.3. Tedarik Zincirinin Amacı ve Tedarik Zinciri Yönetimi Kavramı	7
3. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE KARAR SÜREÇLERİ	10
3.2. Tedarik Zincirinde Karar Alanları	11
3.2.1. Yer seçimi kararları.....	11
3.2.2. Üretim kararları.....	12
3.2.3. Stok kararları.....	12
3.2.4. Taşıma kararları	12
3.2.5. Dağıtım ağı kararları	13

4. TEZ KONUSUNA İLİŞKİN LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	14
4.1. Bütünleşik Üretim - Dağıtım Planlama Modelleri.....	15
4.2. Bulanık Matematiksel Programlama Modelleri.....	19
5. BULANIKLIK VE TEDARİK ZİNCİRİNDEKİ YERİ	26
5.1. Temel Kavramlar	26
5.1.1. Bulanıklık.....	26
5.1.2. Bulanık küme	27
5.2. Bulanık Sistemlerin Modellenmesi	28
5.3. Tedarik Zincirinde Bulanıklık.....	30
6. BÜTÜNLEŞİK TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMADA BİR BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ	34
6.1. Sistemin Yapısı ve Problemin Tanımı	34
6.2. Varsayımlar.....	36
6.3. Yöntem.....	37
6.4. Çözüm	38
6.4.1. Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modelinin oluşturulması .	38
6.4.2. Bulanık kısıtlardaki bulanıklığın giderilmesi.....	41
6.4.2. Amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarının oluşturulması..	43
6.4.2. Üyelik fonksiyonları için parçalı doğrusal denklemlerin oluşturulması.....	44
6.4.3. Eşdeğer doğrusal programlama modelinin elde edilmesi	49
6.4.4. Modelin çözümü ve değerlendirmeler	52
7. SONUÇ.....	56
KAYNAKLAR	58

EKLER.....	63
EK-1 Eşdeğer doğrusal programlama modelinin türetilişi	64
EK-2 Modelde kullanılan parametreler.....	69
EK-3 Modelin çözümü sonucunda elde edilen çıktılar	83
EK-4 Modelin LINGO paket programında yazılmış hali	89
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. İncelenen çalışmaların sınıflandırılması	23
Çizelge 6.1. Amaç fonksiyonlarına ait üyelik fonksiyonları için belirlenen değerler	43
Çizelge 6.2. Problemin farklı modellerle çözüm sonuçları.....	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tedarik zincirinin halkaları.....	6
Şekil 2.2. Bütünleşik tedarik zinciri modeli (Handfield, 1999)	9
Şekil 3.1. Tedarik zinciri yönetiminde karar seviyeleri	11
Şekil 5.1. Üçgensel bulanık sayı $x: (3, 4, 5)$	28
Şekil 5.3. Bulanık küme örnekleri.....	33
Şekil 6.1. Sistemdeki örnek malzeme ve ürün hareketleri	35
Şekil 6.2. $\tilde{D}_{kt}$ bulanık sayısının üçgensel dağılımı.....	41
Şekil 6.3. Birinci amaç fonksiyonuna (z_1) ait parçalı doğrusal üyelik fonksiyonunun çizimi.....	43
Şekil 6.4. İkinci amaç fonksiyonuna (z_2) ait parçalı doğrusal üyelik fonksiyonunun çizimi.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A	Bir klasik küme
A'	A kümesinin tamlayan kümesi
$\tilde{A}$	Bir bulanık küme
AT_{imt}	i'den m'ye taşıma yapılıp yapılamadığını ifade eden 0-1 parametreler
AX_{mt}	m'ye t döneminde ana ikmal tesislerinden gelecek toplam LPG miktarı
BX_{it}	i'ye t döneminde ana ikmal tesislerinden gelecek toplam LPG miktarı
$\tilde{C}$	Bulanık kısıtların kümesi
c_i	i ana ikmal tesisindeki LPG alım maliyeti
d_{ge}^+	g amaç fonksiyonuna ilişkin pozitif sapma değişkenleri
d_{ge}^-	g amaç fonksiyonuna ilişkin negatif sapma değişkenleri
D_{kt}	k talep merkezinin t dönemindeki bulanıklığı giderilmiş talep miktarı
$\tilde{D}_{kt}^m$	$\tilde{D}_{kt}$ 'nin alabileceği en olası değer
$\tilde{D}_{kt}^o$	$\tilde{D}_{kt}$ 'nin alabileceği en iyimser değer
$\tilde{D}_{kt}^p$	$\tilde{D}_{kt}$ 'nin alabileceği en kötümser değer
$\tilde{D}$	Bulanık karar kümesi
$\tilde{D}_{kt}$	k talep merkezinin t dönemindeki bulanık talep miktarı
dc_j	j dolum tesisindeki tüp dolum maliyeti
DM_{jkt}	j'den k'ye taşıma yapılıp yapılamadığını ifade eden 0-1 parametreler
DX_{ijt}	t döneminde i'den j'ye taşınacak LPG miktarı
ec_{im}	i'den m'ye 1 ton LPG'yi tanker ile taşıma maliyeti
F_i	i ana ikmal tesisinin emniyet stoğu miktarı
fc_{ik}	i'den k'ye 1 ton LPG'yi tüplere doldurulmuş olarak taşıma maliyeti
G_i	i ana ikmal tesisinin stok kapasitesi

$\tilde{G}$	Bulanık amaçların kümesi
gc_{jk}	j'den k'ye 1 ton LPG'yi tüplere doldurulmuş olarak taşıma maliyeti
h_i	i ana ikmal tesisindeki dönemlik stoklama maliyeti
i	Ana ikmal tesisleri
I_{it}	i ana ikmal tesisinin t dönemi sonundaki stok miktarı
IM_{ikt}	i'den k'ye taşıma yapıp yapılamadığını ifade eden 0-1 parametreler
j	Dolum tesisleri
k	Ana talep merkezleri
L	Karar vericinin bulanık amaçlara ilişkin toplam tatmin düzeyi
L_j	j dolum tesisinin stok kapasitesi
lc_j	j dolum tesisindeki dönemlik stoklama maliyeti
m	Tüm tesisler (i+j)
M_j	j dolum tesisinin emniyet stoğu miktarı
$mesx_{im}$	i ile m arasındaki mesafe
$mesy_{jk}$	j ile k arasındaki mesafe
$mesz_{ik}$	i ile k arasındaki mesafe
N_{jt}	j dolum tesisinin t dönemi sonundaki stok miktarı
p_i	i ana ikmal tesisindeki tanker dolum maliyeti
P_g	g. amaç fonksiyonu için belirlenen nokta sayısı
q_{gr}	μ_{z_g} üzerinde belirlenen üyelik fonksiyonu değerleri
Q_{it}	i ana ikmal tesisinin t döneminde rafinerilerden alacağı LPG miktarı
r_i	i ana ikmal tesisindeki tüp dolum maliyeti
S_{gr}	$X_{g, r-1}$ ve X_{gr} arasında kalan doğru parçasının y eksenini kesim noktası
S_i	i ana ikmal tesisinin dönemlik tanker dolum kapasitesi
t	plan dönemleri
t_{gr}	$X_{g, r-1}$ ve X_{gr} arasında kalan doğru parçasının eğimi
U_j	j dolum tesisinin dönemlik tüp dolum kapasitesi
w_1	Bulanık talep miktarının en kötümser değerinin ağırlığı
w_2	Bulanık talep miktarının en olası değerinin ağırlığı
w_3	Bulanık talep miktarının en iyimser değerinin ağırlığı
W_i	i ana ikmal tesisinin dönemlik tüp dolum kapasitesi

x	X evrensel kümesinin elemanları
X	Evrensel küme
X_{gr}	μ_{z_g} üzerinde belirlenen amaç fonksiyonu değerleri
X_{imt}	t döneminde i'den m'ye taşınacak LPG miktarı
Y_{jkt}	t döneminde j'den k'ye taşınacak LPG miktarı
z_g	g. amaç fonksiyonu
Z_{ikt}	t döneminde i'den k'ye taşınacak LPG miktarı
α	Kabul edilebilir en düşük üyelik seviyesi
α_{ge}	μ_{z_g} üyelik fonksiyonunu oluşturmak için hesaplanan bir katsayı
β_g	μ_{z_g} üyelik fonksiyonunu oluşturmak için hesaplanan bir katsayı
γ_g	μ_{z_g} üyelik fonksiyonunu oluşturmak için hesaplanan bir katsayı
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	x elemanının $\tilde{A}$ bulanık kümesine üyelik derecesi
$\mu_{\tilde{C}}(x)$	Bulanık kısıtlar kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{\tilde{D}}(x)$	Bulanık karar kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{\tilde{D}_{kt}}$	$\tilde{D}_{kt}$ 'nin üyelik fonksiyonu
$\mu_{\tilde{G}}(x)$	Bulanık amaçlar kümesinin üyelik fonksiyonu
μ_{z_g}	z amaç fonksiyonuna ilişkin üyelik fonksiyonu

Kısaltmalar Açıklamalar

km	Kilometre
LPG	Likit petrol gazı
pb	Para birimi

1. GİRİŞ

Uzun yıllar boyunca işletmeler, yeterli miktarda stok bulundurmak suretiyle, üretim ve dağıtım süreçlerini ayrı ayrı ele almışlardır. Ancak böyle bir yaklaşım, stok maliyetlerinin yükselmesine ve teslimat sürelerinin uzamasına yol açmaktadır. Pazarların küreselleşmesi sonucu zorlaşan rekabet koşulları ve artan müşteri beklentileri, işletmeleri tedarik zinciri boyunca stok maliyetlerini azaltmaya ve müşteri memnuniyetine daha fazla önem vermeye zorlamıştır. Stokların azaltılması, üretim ve dağıtım işlevlerinin birbiriyle sıkı sıkıya ilişkili olması gerekliliğini de beraberinde getirmiştir [Chen, 2004]. Dolayısıyla günümüzde maliyetleri düşürmek ve müşteri memnuniyetini artırmak için tedarik zincirinde yer alan satın alma, üretim, dağıtım gibi farklı faaliyetlerin bütünleşik bir yapıda optimize edilmesi gerekmektedir.

Birçok alt sistemin birleşmesinden oluşan tedarik zinciri, gerek bütünleşik yapısı gerekse içinde barındırdığı insan faktörü nedeniyle çok sayıda belirsizlik içermektedir. Bir tedarik zinciri boyunca, tesadüfi olaylar, verilen kararlardaki öznel istek düzeyleri, veri eksikliği, mevcut verilerin kesin olmaması gibi çeşitli belirsizlik kaynakları ve türleri söz konusudur. Tedarik zinciri üzerindeki her bir tesis için, kendinden önceki süreçlerin arzı da, kendinden sonraki süreçlerde faaliyet gösteren tesislerin talepleri de kesin olarak belli değildir. Hammaddelerin tedariki ve bir tesisten diğerine yapılan teslimatlar da bir tedarik zincirinde karşılaşılan belirsizlik kaynaklarından biridir. Bir dış tedarikçiden sağlanan hammaddelerin ya da ara ürünlerin miktarı ve kalitesi istenilenden farklı olabilecektir. Bu gibi durumlar, makine arızaları gibi üretimdeki belirsizliklerden, kalite sorunlarından, tedarikçi tesisin stok düzeyinin düşük olmasından ya da daha farklı sebeplerden kaynaklanabilir. Geliştirilen tedarik zinciri modellerinin çoğu, gerçek hayatta sıkça karşılaşılan belirsizlikleri ya göz ardı etmekte ya da olasılıklı yaklaşımlar kullanarak yaklaşık olarak hesaba katmaya çalışmaktadır [Petrovic ve ark., 1999].

Zadeh tarafından 1965'te ortaya atılmasının ardından yöneylem araştırması, yönetim bilimi, kontrol teorisi ve yapay zekâ gibi farklı disiplinlerde geniş uygulama alanı

bulan bulanık küme teorisi, gerçek hayatta karşılaşılan belirsizlikleri tanımlamak ve modellemede hesaba katmak için kullanılabilecek uygun ve yararlı bir araçtır [Zadeh, 1965]. Özellikle tutulan verilerin eksik olması, kesinliğinin tartışılır olması ya da hiç kaydedilmiş veri bulunmaması gibi sebeplerden dolayı standart olasılıklı mantığa dayalı yöntemlerin kullanılmasının uygun olmadığı durumlarda bulanık yaklaşımlar etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Nitekim tedarik zincirlerinin modellenmesinde bulanık matematiksel modelleri kullanarak çözüm arayan araştırmacıların sayısı son on yılda giderek artmıştır.

Yukarıda anlatılanların yanısıra, bir tedarik zincirinin modellenmesinde farklı ve kimi zaman çelişen amaçların bir arada ele alınması gerekmekte, bu durum da oluşturulan modellerin çoğunlukla çok amaçlı olmasına neden olmaktadır. Örneğin üretim maliyetleri minimize edilirken dağıtım maliyetleri de göz önüne alınmalı, dağıtım maliyetlerinin minimizasyonu ise teslimat süreleri düşünülmeden yapılmamalıdır. Benzer şekilde, büyük partiler halinde sevkiyat yapılarak dağıtım maliyetlerinin optimize edilmesi, depolardaki stok maliyetlerinde artışa neden olacaktır. Tedarik zincirini oluşturan alt sistemler birbirine sıkı sıkıya bağlı olduklarından, bunların bütünsel bir yaklaşımla ele alınmaları gerekmektedir. Literatürde üretim ve dağıtım planlama problemlerini ayrı ayrı ele alan çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, tedarik zincirlerinde farklı süreçleri bütünleştiren çalışmalar sınırlıdır [Pundoor, 2005].

Bu çalışmada, bulanık bir ortamda faaliyet gösteren bir tedarik zincirinin satın alma, üretim, depolama ve dağıtım fonksiyonlarının, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli kullanılarak bütünsel bir şekilde planlanması amaçlanmıştır. Tez çalışmasının ikinci bölümünde tedarik zinciri kavramı üzerinde durulmuş, tedarik zinciri yönetiminde karşılaşılan başlıca karar süreçlerine üçüncü bölümde yer verilmiştir. Tezin kapsamından uzaklaşmamak amacıyla, yapılan literatür araştırması, bazı kriterler gözetilerek sınırlandırılmış, bunu yaparken de genelden özele inen bir yaklaşım benimsenmiştir. Literatür araştırması kapsamında incelenen makalelerden dördüncü bölümde bahsedilmektedir. Beşinci bölümde bulanıklıkla ilgili temel kavramlar açıklanmasının ardından tedarik zincirinde bulanıklığın

nerelerde ortaya çıkabileceğine ve bunlara neden olan unsurlara değinilmiştir. Altıncı bölümde ise likit petrol gazının (LPG) temini, stoklanması, dolumu ve tüplügaz olarak dağıtımı konusunda Türkiye’de faaliyet gösteren bir işletmede yapılan uygulamaya yer verilmiştir. Öncelikle incelenen sistemin ve problemin tanımı yapılmış, ardından varsayımlar ve kullanılacak yöntem açıklanmıştır. Yöntemde belirtilen adımlar izlenerek bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli oluşturulmuş ve elde edilen çözüm, farklı modeller kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise tez çalışmasına ilişkin genel değerlendirmelere yer verilmiştir.

2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

2.1. “Tedarik Zinciri” Kavramının Doğuşu ve Tanımı

Yöneticiler son yirmi yılda, teknolojik gelişmeler, pazarların küreselleşmesi, ekonomik politikalarda istikrarın sağlanması gibi konularda dünya tarihinde benzeri görülmemiş bir değişim sürecine tanık olmuşlardır. Dünya çapında başarı sağlayan rakiplerin sayısının artmasıyla, organizasyonlar rekabet koşullarına ayak uydurabilmek için, kendi iç süreçlerini hızla geliştirmek zorunda kalmışlardır. 1960-1970’lerde işletmeler, müşteri sadakati oluşturmaya ve müşteriye elde tutmaya yönelik ayrıntılı pazarlama stratejileri geliştirmeye başlamışlardır. Organizasyonlar ayrıca bu pazar gereksinimlerini karşılayabilmek için güçlü mühendislik, tasarım ve üretim fonksiyonlarının olması gerektiğinin farkına varmışlardır. Yeni ürünlere talebin arttığı 1980’lerde, mevcut ürünlerin ve süreçlerin değiştirilmesi veya sürekli değişen müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için yenilerinin geliştirilmesi amacıyla, imalat işletmelerinin çok daha esnek ve çevik olması gerekmiştir. 1990’larda üretim olanaklarının gelişmesiyle yöneticiler, tedarikçilerden elde edilen malzeme ve hizmet girdilerinin, müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasını büyük ölçüde etkilediğinin bilincine varmışlardır. Bunun sonucunda, tedarik kavramına olan ilgi giderek artmış, kaliteli ürün üretmenin yeterli olmadığı fark edilmiştir.

Bu değişimlerin bir sonucu olarak, organizasyonlar artık sadece kendilerini yönetmeyi yeterli bulmamakta; kendilerine direkt veya dolaylı olarak girdi sağlayan tüm işletmeler ile dağıtımdan ve satış sonrası hizmetlerden sorumlu tüm firmaların yönetimine de dâhil olmaktadır. “Tedarik zinciri” kavramı işte bu anlayıştan doğmuştur ve literatürde aşağıda belirtilen çeşitli tanımları mevcuttur.

Handfield ve Nichols’a göre tedarik zinciri, hammadeden son müşteriye gelinceye kadar malların akışı ve dönüşümü ile ilişkili faaliyetlerin ve ilgili bilgi akışlarının tümüdür [Handfield and Nichols, 1999].

Tedarik zinciri, hammaddelerin elde edilmesinden, nihai ürünlerin müşterilere ulaştırılmasına kadarki tüm faaliyetleri içeren bir yapıdır. Beamon'a göre, bir tedarik zinciri, iki temel bütünleşik süreçten oluşmaktadır: (1) üretim planlama ve stok kontrol süreci, (2) dağıtım ve lojistik süreci. Bu süreçler, hammaddelerin tedarik zinciri boyunca nihai ürünlere dönüştürülmesinin ve malzeme akışının temel çerçevesini oluştururlar.

Üretim planlama ve stok kontrol süreci, üretim ve depolama alt süreçlerinden ve ara birimlerinden oluşur. Daha spesifik olarak üretim planlama, tüm üretim sürecinin (hammadde ihtiyacının belirlenmesi, hammaddelerin tedarik edilmesi, üretim sürecinin tasarımı ve çizelgelemesi, vb.) tasarım ve yönetimini içermektedir. Stok kontrol ise, hammaddeler, ara ürün stokları ve nihai ürünlere ilişkin depolama politikalarını ve prosedürlerini ifade eder. Dağıtım ve lojistik sürecinde, ürünlerin depolardan perakendecilere nasıl ulaştırılacağı, bir ara kademe olarak toptancı (distribütör) kullanılıp kullanılmayacağı belirlenir. Ürünlerin stoktan alınmasının, taşınmasının ve son ürün teslimatının yönetimini içeren bir süreçtir. Birbirleriyle etkileşim içindeki bu süreçler bütünleşik tedarik zincirini oluşturmaktadır. Bu süreçlerin tasarımı ve yönetimi, tedarik zincirinin başarısını belirleyen önemli etmenler olarak karşımıza çıkmaktadır [Beamon, 1998].

Tedarik zinciri kavramı son ürünün üretilmesi ve dağıtımı (tedarikçinin tedarikçisinden müşterinin müşterisine kadar) ile ilgili bütün çabaları kapsar. Bu çabalar planlama, (tedarik ve talebin yönetimi), kaynak temini (hammadde ve yarı mamullerin temini), üretim (imalat ve montaj), teslimat (depolama ve stok takibi, sipariş alımı ve yönetimi, bütün kanal boyunca dağıtım ve müşteriye teslim) olmak üzere dört temel süreçten oluşur.

Bir başka tanıma göre tedarik zinciri;

- ✓ Hammadde ve malzemeler ile yarı ürünleri tedarik etmek,
- ✓ Hammadde ve malzemeler ile yarı ürünleri nihai ürünlere dönüştürmek,
- ✓ Bu ürünlere değer kazandırmak,
- ✓ Bu ürünleri perakendecilere veya müşterilere dağıtmak ve tutundurmak,

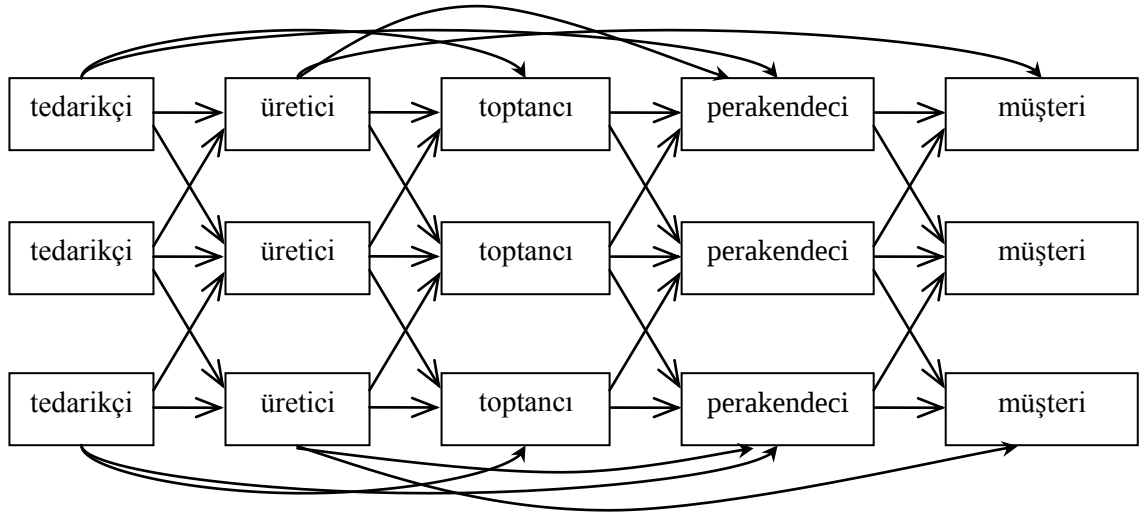
- ✓ Farklı süreçlerde faaliyet gösteren birimler (tedarikçiler, üreticiler, toptancılar, lojistik hizmeti sağlayıcılar ve perakendeciler) arasındaki bilgi alışverişini kolaylaştırmak

için faaliyet gösteren birbiriyle ilişkili bir dizi iş sürecini senkronize eden bütünleşik bir sistemdir [Min ve Zhou, 2002].

2.2. Tedarik Zincirinin Yapısı

Tipik bir tedarik zinciri çeşitli halkalardan oluşur. Tedarik zincirinin halkaları, genelleştirilmiş bir şekilde şöyle sıralanabilir:

- ✓ Müşteriler
- ✓ Perakendeciler
- ✓ Toptancılar (distribütörler)
- ✓ Üreticiler
- ✓ Parça / hammadde tedarikçileri



Şekil 2.1. Tedarik zincirinin halkaları

Bir tedarik zincirinde Şekil 2.1'deki her halka bulunmayabilir. En uygun tedarik zinciri tasarımı, müşteri ihtiyaçlarına ve ilgili halkaların rollerine bağlı olarak belirlenir. Bazı durumlarda üretici müşteri ihtiyaçlarını direkt olarak kendisi karşılayabilir. Örneğin, Dell'in tedarik zincirinde bir perakendeci, toptancı ya da dağıtıcı bulunmamaktadır. Bir posta şirketi olan L.L.Bean'inki gibi tedarik zinciri modellerinde ise, müşteri talepleri direkt üretici firma tarafından karşılanmaz. Örneğin, bu firmanın içinde bulunduğu tedarik zincirinde, üretici ve müşteri arasında bir perakendeci (L.L.Bean'in kendisi) bulunmaktadır. Bazı durumlarda bir toptancı ya da distribütörün de tedarik zincirine dahil olduğu görülmektedir [Chopra ve Meindl, 2004].

2.3. Tedarik Zincirinin Amacı ve Tedarik Zinciri Yönetimi Kavramı

Her tedarik zincirinin amacı, yaratılan toplam değeri maksimize etmektir. Birçok ticari tedarik zinciri için, “yaratılan değer” kavramı, tedarik zincirinin kârlılığıyla büyük ölçüde ilişkilidir. Bir tedarik zincirinin kârlılığı, müşteriden elde edilen gelir ile tedarik zinciri boyunca katlanılan toplam maliyetin farkıdır. Tedarik zincirinin kârlılığı, tedarik zincirinin elemanları arasında paylaşılacak toplam kârı temsil eder. Bir tedarik zincirinin başarısı, zinciri oluşturan firmaların bireysel kârlarıyla değil, tedarik zincirinin kârlılığıyla ölçülmelidir.

Bilgi, ürün ve fon akışları, bir tedarik zincirinde, başlıca maliyet unsurlarını oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu akışların uygun yönetimi, tedarik zincirinin başarısını etkileyen en önemli faktördür. Bu düşünceden ortaya çıkan “tedarik zinciri yönetimi”, toplam tedarik zinciri kârlılığını maksimize etmek amacıyla, bilgi, ürün ve fon akışlarının, tedarik zinciri boyunca bütünleşik bir şekilde yönetilmesidir [Chopra and Meindl, 2004].

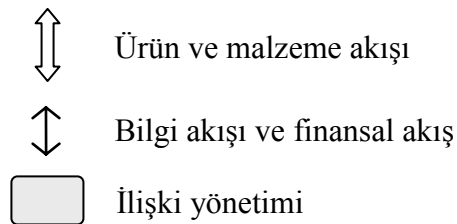
“Tedarik zinciri yönetimi” terimi, tedarikçi ortaklığı veya lojistik kavramları yerine kullanılmamaktadır. Tedarik zinciri yönetimi, tedarik zinciri üzerindeki tüm faaliyetlerden oluşan bu yapıda yeni kazanımların nasıl ve hangi çabalarla elde edilebileceğini araştıran bir yaklaşımdır [Sivri, 2003].

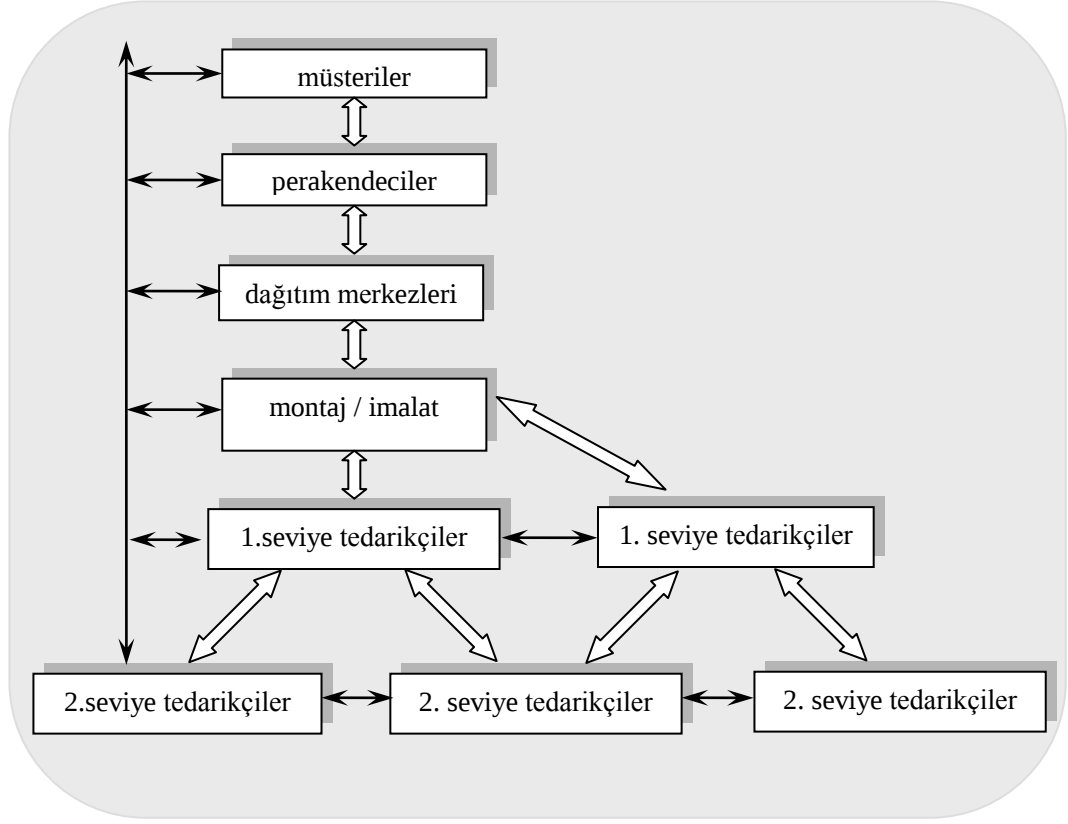
Tedarik zinciri yönetimi tanımı esas olarak çeşitli dinamikleri içerisinde barındırır. Tedarik zinciri yönetimi, tipik bir lojistik optimizasyonunun ötesinde tüm pazarlama, bilişim, finans ve dağıtım süreçlerini de içine alacak şekilde ortak bir iş yönetim sisteminin kurulmasını ifade eder. Ayrıca işletmelerin lojistik alt yapılarını bütünleştirmeleri yerine, birbirlerini etkileyen ve bir zincir oluşturan, gelişime açık bir yapı kurmaları anlamına gelir. Bu ikinci dinamiği gerektiren en önemli değişim ana firmaların günümüzde tüm rakipleriyle sadece tek başlarına mücadele etmelerinin olanaklı olmamasıdır.

Tüm organizasyonlar, bir veya daha fazla tedarik zincirinin bir parçasıdır. Buna rağmen, son yıllara kadar, organizasyonlar kendi direkt müşterileri ve iç fonksiyonları üzerinde odaklanmışlar, tedarik zinciri ağlarındaki diğer organizasyonlara nispeten az önem vermişlerdir. Ancak küresel pazarlardaki ve teknolojiye üç temel gelişme tedarik zinciri yönetiminin ön plana çıkmasını sağlamıştır:

- ✓ Bilgi devrimi
- ✓ Artan küresel rekabetle gelen müşteri talepleri (ürün ve hizmetin maliyeti, kalitesi, teslimatı, teknolojisi)
- ✓ İşletmeler arası yeni ilişki biçimlerinin ortaya çıkması

Bu gelişmelerin her biri bir bütünleşik tedarik zinciri yaklaşımının ortaya çıkmasını gerektirmiştir. Şekil 2.2’de görülen tedarik zinciri yapısı yukarıda değinilen üç faktörü bütünleştirmektedir [Handfield, 1999].



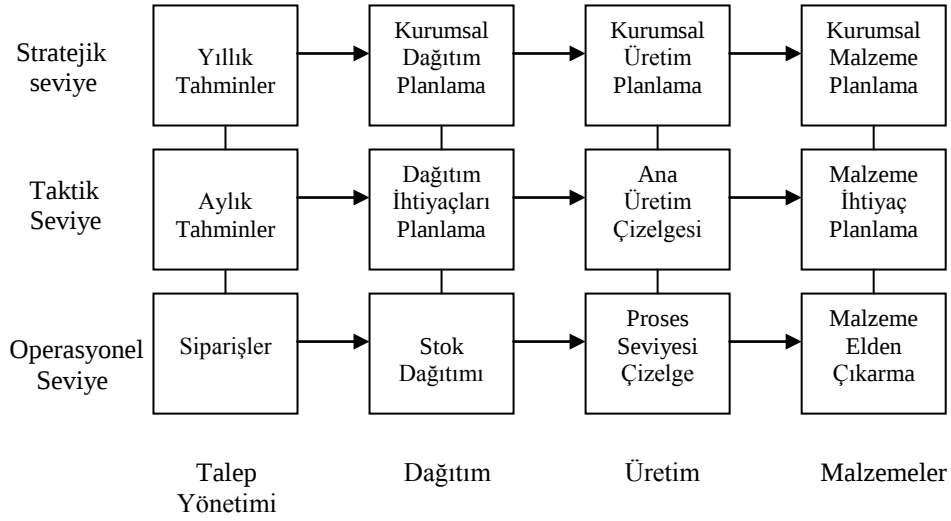


Şekil 2.2. Bütünleşik tedarik zinciri modeli (Handfield, 1999)

3. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE KARAR SÜREÇLERİ

3.1. Tedarik Zinciri Yönetiminde Karar Seviyeleri

Tedarik zinciri yönetiminde verilmesi gereken kararlar, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, stratejik, taktik ve operasyonel olmak üzere üç hiyerarşik seviyede ele alınabilir [Chopra ve Meindl, 2001; Stevens, 1989]. Genel bir yaklaşımla, dağıtım sisteminin ve üretim planlama süreçlerinin tasarımına ilişkin konuların stratejik düzeyde ele alındığı, mevcut bir üretim-dağıtım sistemine yönelik optimizasyon problemlerinin ise taktik seviyede ilgilenilen sorunlar olduğu söylenebilir. Stratejik düzeyde karşılaşılan tedarik zinciri problemleri arasında, yer seçimi kararları, talep planlama, dağıtım kanalı planlaması, stratejik anlaşmalar, yeni ürün geliştirme, dış kaynak kullanımı, tedarikçi seçimi, bilgi teknolojisi seçimi, fiyatlandırma ve şebekenin yeniden yapılandırılması gibi kararlar sayılabilir. Her ne kadar tedarik zinciri problemlerinin çoğu, yapısı gereği stratejik olsa da bir tedarik zincirinde birçok taktik düzeyde problemle de karşılaşmaktadır. Stok kontrolü, üretim-dağıtım süreçlerinin koordinasyonu, siparişlerle taşıma süreçlerinin bütünleştirilmesi, malzeme işleme tarzı, makine/teçhizat seçimi ve yerleşim düzeninin belirlenmesi gibi problemler, bir tedarik zincirinde taktik düzeyde incelenen karar alanlarıdır. Operasyonel düzeyde ise taktik planlar temel alınarak verilmesi gereken, araç rotalama/çizelgeleme, işgücü çizelgeleme, malzeme hareketleri, kayıt tutma şekli ve paketleme gibi daha alt düzeydeki kararlar ele alınmaktadır. Bazı tedarik zinciri problemleri, farklı karar seviyelerini kapsayan hiyerarşik, çok kademeli bir planlama gerektirdiğinden, karşılaşılan sorunların, yukarıda adı geçen karar seviyeleri bazında ayrıştırılması her zaman mümkün olmamaktadır [Min ve Zhou, 2002].



Şekil 3.1. Tedarik zinciri yönetiminde karar seviyeleri

3.2. Tedarik Zincirinde Karar Alanları

Tedarik zinciri yönetiminde birçok karar verme problemi söz konusudur. Yukarıda karar seviyelerine göre değinilen bu alanlardan en önemlileri, aşağıdaki beş başlık altında açıklanmıştır.

3.2.1. Yer seçimi kararları

Üretim tesislerinin ve depoların sayılarının ve coğrafi konumlarının belirlenmesi, tedarik zinciri oluşturmada ilk karar adımıdır. Tesislerin konumlarının belirlenmesi, uzun dönem planlarında kaynaklara bağlıdır. Bu kararlar firmaların rekabet güçlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Yer seçimi kararları, üretim ve taşıma maliyetleri, vergiler, bölgesel bileşenler gibi etkenlere bağlı olarak tanımlanır. Ayrıca seçilen konumun, firma, tedarikçiler ve müşteriler arasındaki optimum ağı oluşturması amaçlanır.

3.2.2. Üretim kararları

Üretim kararları başlığı altında değerlendirilebilecek kararlar, hangi üründen hangi üretim tesisinde ne kadar üretilceğinin, hangi tedarikçilerden ne kadar malzeme/ara ürün temin edileceğinin ve üretim tesisleri ile depoların kapasitelerinin belirlenmesi gibi kararları içerir. Bu kararların gelir, maliyet, finansman ve müşteri hizmetleri üzerinde derin etkileri vardır. Bu kararlar verilirken, tesislerin konumları veri olarak alınır. Operasyonel seviyedeki üretim kararları ise detaylı üretim çizelgelemesine dayanır. Taktik düzeyde belirlenen ana üretim çizelgesine uygun bir şekilde, makineler bazında üretim çizelgelerinin oluşturulması ve araç gerecin bakımı gibi süreçlere ilişkin kararları içerir.

3.2.3. Stok kararları

Tedarik zincirinin her aşamasında hammadde, ara ürün ve bitmiş ürün stoklarıyla karşılaşıldığından, stokların yönetimine ilişkin kararlar, tedarik zinciri yönetiminin önemli bir diğer karar alanını oluşturmaktadır. Tedarik zincirinde tutulan stoklar, birçok belirsizliğe karşı tampon görevi görmektedir. Herhangi bir yerdeki stoğun elde bulundurma maliyeti stoklanan ürünlerin değerinin %20-40'ı kadar olabildiğinden, stokların etkin yönetimi, tedarik zinciri operasyonları için kritik bir unsurdur. Sipariş miktarının ve yeniden sipariş verme noktasının optimum seviyesinin tanımlanması, güvenlik stoğu düzeyinin belirlenmesi, bu alanda verilmesi gereken en önemli kararlardandır. Bu kararlar, müşterilere sunulan hizmetin düzeyini de büyük ölçüde etkilemektedir.

3.2.4. Taşıma kararları

Tedarik zinciri boyunca ürünlerin nasıl taşınacağına ilişkin verilmesi gereken kararlar, stok kararlarıyla çok yakından bağlantılıdır. Ürünlerin taşınmasında hangi taşıma tipinin kullanılacağına belirlenmesi, bu alanda ele alınabilecek kararlardan birisidir. Hava yollarını kullanmak, hızlı, güvenilir ve daha az güvenlik stoğu tutulmasını gerektiren bir yol olmakla beraber pahalı bir yoldur. Deniz yoluyla veya

demiryoluyla taşıma daha ucuz olabilir, ancak bu durumda nakliye sırasında karşılaşılabilecek belirsizliklere karşı tampon görevi görecektir yüksek miktarda stok tutulması gerekir. Ayrıca hedeflenen müşteri memnuniyeti düzeyi ile tesislerin, depoların ve müşterilerin coğrafi yerleşimleri, bu kararların alınmasında önemli rol oynar.

Ürünlerin taşınmasında kullanılacak araç filosunun büyüklüğünün tespiti, bu araçların rotalarının belirlenmesi ve çizelgelenmesi, araçlarda taşınacak kargo büyüklüğünün ve ürün bileşiminin belirlenmesi, kilit önem taşıyan taşıma kararlarından biridir.

3.2.5. Dağıtım ağı kararları

Dağıtım ağı tasarımı, tedarik zinciri yönetiminde ele alınması gereken stratejik düzeyde bir karar alanıdır. Bir tedarik zincirindeki ürün, bilgi ve müşteri akışlarını belirleyecek olan dağıtım stratejisi seçilirken, ürünlerin karakteristik özellikleri, talep düzeyleri, taşıma ve stokta tutma maliyetleri gibi unsurlar göz önünde bulundurularak karar verilmelidir.

4. TEZ KONUSUNA İLİŞKİN LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araştırmacılar ve uygulamacılar yıllar boyunca temel olarak, tedarik zincirinin çeşitli süreçlerini ayrı ayrı inceleyen çalışmalar yapmışlardır. Fakat son zamanlarda, literatürde, artık tedarik zinciri performansının, tasarımının ve analizinin bir bütün olarak ele alındığı göze çarpmaktadır [Beamon, 1998]. Farklı fonksiyonlara (tedarik, üretim planlama, stok yönetimi, dağıtım, yer seçimi, vb.) ilişkin kararların tek bir optimizasyon modelinde birleştirilmesi temeline dayanan bu yeni yaklaşım, son yirmi yıl içinde araştırmacıların büyük ölçüde ilgisini çekmiştir. Konunun farklı birçok fonksiyonu kapsayan bir nitelikte olması, bu alanda yapılan çalışmaların da çok çeşitli olmasına ve kolay sınıflandırılmamasına neden olmaktadır.

Çapar ve diğerleri, tedarik zinciri yönetimi alanında yapılan çalışmaların sınıflandırılmasında kullanılabilecek ayrıntılı bir şablon hazırlamışlardır. Bu şablonda çalışmanın türü, ürün özellikleri, tedarik zinciri faaliyetleri, ortak karar verme ve bilgi paylaşımı derecesi ve çözüm yöntemi olmak üzere beş temel kriter göz önüne alınmış, bu kriterlere göre ayrıntılı alt kategoriler oluşturulmuştur [Çapar ve ark., 2003]. Beamon, tedarik zinciri tasarımında ve analizinde kullanılan çok aşamalı modelleri, deterministik analitik modeller, stokastik analitik modeller, ekonomik modeller ve benzetim modelleri olmak üzere dört gruba ayırmıştır [Beamon, 1997]. Min ve Zhou ise literatürde yer alan çalışmaları, kullanılan modellerin türlerine göre ve konularına göre olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırmıştır. Kullanılan modelin türüne bağlı olarak yapılan sınıflamada deterministik, stokastik, melez ve bilgi teknolojisi destekli modeller olmak üzere dört ana sınıf belirleyen yazarlar, uygulama alanına göre ise çalışmaların, tedarikçi seçimi/stok kontrol, üretim/dağıtım, yer seçimi/stok kontrol, yer seçimi/rotalama, stok kontrol/taşıma alanlarında toplanabileceğini belirtmişlerdir [Min ve Zhou, 2002]. Sarmiento ve Nagi, bütünleşik üretim-dağıtım sistemlerinin analizini ele alan çalışmaları, verilmek istenen karar türüne göre sınıflandıran bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Buna göre çok aşamalı modelleri, dağıtım-talep birimlerindeki stoklama, arz birimlerindeki stoklama-dağıtım-talep birimlerindeki stoklama ve üretim-arz birimlerindeki stoklama-dağıtım-talep birimlerindeki stoklama kararlarını

içeren modeller olarak üç temel sınıfa ayırmışlar, bunları da alt sınıflara ayırarak her bir sınıfa giren makalelere değinmişlerdir [Sarmiento ve Nagi, 1999]. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen sınıflandırma yaklaşımları incelendiğinde, çalışmaların gruplanmasında, birbirinden çok farklı kriterlerin baz alındığı görülmektedir.

Tezin kapsamından uzaklaşmamak amacıyla, yapılan literatür araştırması, bazı kriterler gözetilerek sınırlandırılmış, bunu yaparken de genelden özele inen bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu amaçla, ilk aşamada ağırlıklı olarak bütünleşik üretim-dağıtım planlamasına ilişkin matematiksel programlama modelleri geliştiren çalışmalar araştırılmış, ardından konu biraz daha daraltılarak, bulanık matematiksel programlama modellerini kullanan çalışmalar üzerinde odaklanılmıştır. Son olarak, tezin altıncı bölümünde yer verilen örnek olay çalışmasındaki uygulamanın yapıldığı işletmenin faaliyet alanı göz önünde bulundurularak, petrol ve petrol ürünlerinin üretim-dağıtım süreçlerini bütünleşik bir yaklaşımla ele alan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan örnek olay uygulamasına benzer yapıda olanlarına da bu bölümde yer verilmiştir. Literatür araştırması son on yılda yapılan çalışmalarla sınırlandırılmıştır.

Yukarıda bahsedilen öncelikler göz önünde bulundurularak yapılan literatür araştırmasında incelenen makaleler, Çizelge 4.1’de derlenmeye çalışılmıştır.

4.1. Bütünleşik Üretim - Dağıtım Planlama Modelleri

Uzun yıllar boyunca işletmeler, yeterli miktarda stok bulundurmak suretiyle, üretim ve dağıtım süreçlerini ayrı ayrı ele almışlardır. Ancak böyle bir yaklaşım, stok maliyetlerinin yükseltmesine ve teslimat sürelerinin uzamasına yol açmaktadır. Pazarların küreselleşmesi sonucu zorlaşan rekabet koşulları ve artan müşteri beklentileri, işletmeleri tedarik zinciri boyunca stok maliyetlerini azaltmaya ve müşteri memnuniyetine daha fazla önem vermeye zorlamıştır. Stokların azaltılması, üretim ve dağıtım işlevlerinin birbiriyle sıkı sıkıya ilişkili olması gerekliliğini de beraberinde getirmiştir. Sonuç olarak, günümüz işletmelerinde maliyetleri düşürmek

ve müşteri memnuniyetini artırmak için üretim ve dağıtım faaliyetlerinin bütünleşik bir yapıda optimize edilmesi gerekmektedir [Chen, 2004].

İlgili literatür incelendiğinde, üretim ve dağıtım işlevlerinin bir arada ele alındığı çok sayıda makale ile karşılaşılmalıdır. Vidal ve Goetschalckx, stratejik seviyedeki karar problemleri için geliştirilen üretim-dağıtım modellerini gözden geçirmişlerdir. Küresel tedarik zinciri modellerine dikkat çeken yazarlar, özellikle karışık tamsayılı programlama modelleri üzerinde yoğunlaşmışlardır [Vidal ve Goetschalckx, 1997]. Stratejik düzeydeki karar problemlerine ilişkin çalışmaları derleyen bir diğer makale Owen ve Daskin tarafından yayımlanmıştır [Owen ve Daskin, 1998]. Erengüç, Simpson ve Vakharia, çalışmalarında, üretim-dağıtım planlamasını ele almışlar; tedarik, üretim ve dağıtım aşamalarında verilmesi gereken karar türlerini incelemişlerdir [Erengüç ve ark., 1999].

Shih, çok sayıda arz merkezinden çok sayıda güç istasyonuna kömür taşınan bir sistemin planlanması için bir karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli oluşturmuştur. Model, toplam satın alma, taşıma ve elde tutma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamıştır. İşletmenin satın alma politikası, güç istasyonlarının talep miktarları, limanların yük boşaltma kapasiteleri, stok dengesi eşitlikleri, harmanlama oranları ve emniyet stoğu miktarları, sistemin kısıtlarını oluşturmaktadır [Shih, 1997].

Özdamar ve Yazgaç, bir merkezi üretim tesisi ile farklı bölgelerde bulunan depolama merkezlerini kapsayan bir sistem için bir üretim-dağıtım modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, stok maliyetleri ve taşıma maliyetlerini de kapsayan toplam sistem maliyeti minimize edilmiştir. Üretim kapasitesi, stok dengesi eşitlikleri ve filo büyüklüğü, sistemin kısıtlarını oluşturmuştur [Özdamar ve Yazgaç, 1999].

Dhaenens-Flipo ve Finke'nin 2001 yılında yaptığı çalışmada ise çok süreçli, çok ürünli ve çok dönemli bir problem söz konusudur. Ele alınan sistemde üretim ve dağıtım maliyetleri belirli ve birbiriyle ilişkilidir. Bu bütünleşik üretim-dağıtım

problemi, birkaç 0-1 değişken ilave edilmiş bir şebeke akış modeli olarak modellenmiştir [Dhaenens-Flipo ve Finke, 2001].

Tsiakis ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, çok ürünli çok aşamalı bir tedarik zinciri şebekesi ele alınmıştır. Söz konusu şebeke, üretim tesislerini, depoları, dağıtım merkezlerini ve talep merkezlerini kapsamaktadır. Depoların ve dağıtım merkezlerinin coğrafi konumları belirli değildir, alternatif konumlar arasından seçim yapılması gerekmektedir. Çalışmada konu edilen sistem bir karışık tamsayılı doğrusal programlama optimizasyon problemi olarak modellenmiştir. Oluşturulan model, yeni kurulacak depoların ve dağıtım merkezlerinin sayıları, konumları ve kapasitelerinin yanısıra malzeme akışlarını ve üretimde esas alınacak ürün karmasını da belirlemektedir. Sistemde, altyapı ve işletim maliyetlerini içeren toplam yıllık maliyet tutarı minimize edilmek istenmiştir. Sunulan bütünsel yaklaşımın, talebin belirli ya da belirsiz olduğu durumlardaki uygulanabilirliği, bir örnek olay üzerinde gösterilmiştir [Tsiakis, 2001].

Tedarik zinciri yönetimindeki bütünsel üretim-dağıtım problemlerinin çözümü için analitik modellerin geliştirildiğini hatırlatan Lee ve Kim (2002), bu analitik modellerin, işlem sürelerinin kesin olarak bilindiği varsayımından yola çıktığına ya da işlem sürelerini göz ardı ettiğine dikkat çekmiştir. Lee ve Kim, gerçek hayattaki sistemlerde tahmin edilemeyen etkenlerin (beklenmeyen gecikmeler, kuyruklar, arızalar, vb.) ortaya çıkabilmesi nedeniyle, analitik modellerin gerçek işlem sürelerinin dinamik yapısını doğru olarak yansıtamayacağını ileri sürmüşlerdir. Bu sorunu çözebilmek için analitik model ile benzetim modelini birleştiren melez bir yaklaşım önerilmiştir. Analitik modeldeki “işlem zamanı” dinamik bir etken olarak ele alınmış ve bağımsız olarak geliştirilen benzetim modelinden elde edilen sonuçlarla düzeltilmiştir. Çalışmada, yinelemeli melez analitik-benzetim çözüm yöntemi uygulanarak, bütünsel tedarik zinciri sistemi için, stokastik yapıları yansıtabilen, daha gerçekçi optimum üretim-dağıtım planları elde edilmiştir [Lee ve Kim, 2002].

Rejowski ve Pinto tarafından incelenen sistem, bir petrol rafinerisi ile bu rafineriyi çok sayıda depoya ve yerel tüketim noktalarına bağlayan bir çok-ürünlü petrol boru hattından oluşmaktadır. Sistemin çizelgelenmesinde, karışık tamsayı doğrusal programlama modelleri kullanılmıştır. Bu modeller, kütle dengeleri, dağıtım kısıtları, ürün talepleri, sıralama kısıtları gibi tüm işlemsel kısıtları sağlamaktadır. Tüm tesislerdeki stok seviyeleri, ürünlerin depolar arasında dağıtımı ve ürünlerin petrol boru hattındaki en doğru sıralaması, modellerden elde edilen sonuçlardır [Rejowski ve Pinto, 2003].

Yılmaz, üç aşamalı üretim-dağıtım ağı için stratejik planlama problemini göz önüne almıştır. İncelenen problem tek ürünlü, çok tedarikçili, çok üreticili ve çok dağıtıcılı deterministik bir üretim ağıdır. Amaç, sistemin üretim, dağıtım, taşıma ve kapasite artırma sabit maliyetlerini minimize etmektir. Tedarikçilerin ve üreticilerin üretim kısıtları ile tedarikçi-üretici, üretici-dağıtıcı ağlarındaki taşıma kapasitesi sınırlamaları modelin kısıtlarını oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra ele alınan sistemde, kapasiteler çeşitli yatırımlar yapılarak, belli bir sabit maliyetle artırılabilir. Problem, karışık tamsayı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Modelin gerçek hayattaki planlama problemleri için çözülmesi imkânsız ya da çok zor olduğundan, tamsayı kısıtlamaları kaldırılarak elde edilen sonuçtan özel bir algoritma geliştirilmiştir [Yılmaz, 2004].

Bir hammadde tedarikçisini, bir üreticiyi ve çok sayıda perakendeciye içeren bir tedarik zincirini inceleyen Kim ve diğerleri, satın alma, üretim ve dağıtım faaliyetlerini bütünleştirmek ve birbiriyle uyumlu hale getirmek için bir analitik model önermişlerdir. Üreticinin aynı hammaddeyi kullanarak birden çok ürün elde ettiği bu sistemde, yok satmaya izin verilmemektedir. Söz konusu problem, klasik ekonomik parti çizelgeleme probleminin farklı bir hali olarak formüle edilmiştir. Çalışmada ortalama toplam maliyeti minimize edecek şekilde ürünlerin optimum üretim çizelgelerinin, ortak üretim çevrim süresinin, sevkiyat sıklıklarının ve miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan sayısal testler, önerilen sezgiselin tatmin edici sonuçlar verdiğini göstermiştir [Kim ve ark., 2006].

Altıparmak ve diğerleri, çok amaçlı bir tedarik zinciri şebekesi tasarımı problemi için Pareto-optimum sonuçlar kümesini bulmak amacıyla genetik algoritmalara dayanan yeni bir çözüm yöntemi önermişlerdir [Altıparmak ve ark., 2006].

Nishi ve diğerleri, bir alüminyum haddeleme hattı için üretim planlama ve dağıtım süreçlerinin bütünleşik bir şekilde optimizasyonunu sağlayacak bir karar verme sistemi önermişlerdir. Bütünleşik optimizasyon modeli, bir karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiş ve bir geliştirilmiş Lagrange yaklaşımı kullanılarak üretim çizelgeleme ve depo planlama alt problemlerine ayrıştırılmıştır. Bu alt sistemlerden elde edilen geçici sonuçların (işlemlerin her bir üretim aşamasındaki başlama ve bitiş zamanları) sistemler arasında değiştirilmesi suretiyle her bir alt sistemdeki geçici ana üretim çizelgesi aşamalı olarak iyileştirilmiştir [Nishi ve ark., 2007].

4.2. Bulanık Matematiksel Programlama Modelleri

Tedarik zincirlerinin modellenmesinde bulanık matematiksel modelleri kullanarak çözüm arayan araştırmacıların sayısı son on yılda giderek artmıştır. Bu tez çalışmasında da bir bulanık matematiksel programlama yöntemi kullanıldığından, literatürdeki benzer çalışmalar incelenmiştir.

Verma ve diğerleri, çok amaçlı taşıma probleminin çözümünde, doğrusal olmayan (hiperbolik ve üssel) üyelik fonksiyonları kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar, doğrusal üyelik fonksiyonları kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sayısal bir örneğe de yer verilen makalede, bir çok amaçlı olasılıklı taşıma probleminde talep parametrelerinin gamma rassal değişkenleri olması halinde, deterministik problemin doğrusal olmayan bir hale dönüşeceği sonucuna varılmıştır. Bu tip problemlerin çözümünde, doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarının kullanılabileceği belirtilmiştir [Verma ve ark., 1997].

Chanas ve Kuchta, tamsayıli bulanık taşıma problemlerini çözen bir algoritma önermişlerdir. Çalışmada, arz ve talep değerleri bulanık olarak ele alınmıştır [Chanas ve Kuchta, 1998].

Shih tarafından yapılan bir diğer çalışmada, Tayvan'da çimento taşınmasının planlamasına ilişkin bir problem ele alınmış, bulanık doğrusal programlama yöntemleri kullanılarak çözüme ulaşılmıştır. Modelde, liman kapasitesi, aktarma kapasitesi ve trafik yoğunluğu da hesaba katılmıştır. Farklı senaryolar için optimum taşıma miktarları ve tesis kapasiteleri, üç çeşit doğrusal planlama yöntemi kullanılarak belirlenmiş; her bir yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [Shih, 1999].

El-Wahed, çok amaçlı taşıma problemine bulanık programlama yaklaşımı kullanarak optimum çözüm bulmaya çalışmıştır [El-Wahed, 2001].

Nihai ürünlerin depolardan perakendecilere dağıtımını içeren bir sistemi inceleyen Wang ve diğerleri, bir tam zamanında dağıtım ihtiyaçları planlaması sistemi önermişlerdir. Çalışmanın amacı, toplam üretim ve taşıma maliyetlerini minimize eden bir optimum dağıtım ihtiyaçları planlaması modeli kurmaktır. Amaç fonksiyonu, perakendecilerin ihtiyaçlarının tam zamanında karşılanmasını sağlayacak ifadeleri de içermektedir. Model, matematiksel indirgemeler kullanılarak bir doğrusal programlama problemine dönüştürülerek çözülmüştür [Wang ve ark., 2004].

Chen ve Lee, talep miktarlarının ve ürün fiyatlarının belirsiz olduğu bir çok aşamalı tedarik zinciri şebekesinde, belirlenen ölçülemeyen amaçlara ulaşabilmek için çok ürünlü, çok aşamalı ve çok dönemli bir planlama modeli önermişlerdir. Belirsiz talep miktarlarının modellenmesinde, bilinen olasılıklara sahip farklı senaryolar kullanılmış; satıcıların ve alıcıların ürün fiyatları ile ilgili birbirine uymayan tercihleri ise bulanık kümeler kullanılarak ifade edilmiştir. Tedarik zinciri planlama modeli, karışık tamsayıli doğrusal olmayan programlama problemi olarak

kurulmuştur. Modelin çözümünde kullanılmak üzere bir iki-aşamalı bulanık karar verme yöntemi sunulmuş ve sayısal bir örnekle açıklanmıştır [Chen ve Lee, 2004].

Wang ve Liang tarafından yapılan çalışmada, bulanık bir ortamda bütünleşik üretim planlama probleminin çözümü için yeni bir etkileşimli çok amaçlı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen model, stok seviyelerini, işgücü seviyelerini, makine kapasitelerini, depo kapasitelerini ve paranın değerindeki zamana bağlı değişimleri göz önüne alarak, toplam üretim maliyetini, taşıma ve yok satma maliyetini ve işgücü seviyesinde değişiklik yapma maliyetini minimize etmektedir. Önerilen metod, karar vericiye, tatmin edici bir çözüm elde edene kadar bulanık veriler ve ilgili parametreler üzerinde etkileşimli olarak değişiklikler yapma olanağını da vermektedir. Makalede ayrıca önerilen modeli diğer bütünleşik üretim planlama modellerinden ayıran temel karakteristik özelliklere de yer verilmiştir [Wang ve Liang, 2005].

Chen ve Chang, birim hammadde maliyetlerinin, birim taşıma maliyetlerinin ve talep miktarlarının bulanık olduğu durumda, bulanık minimum toplam maliyetin üyelik fonksiyonunu bulmak için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yaklaşımın temelini, α -kesmeleri ve Zadeh'in bulanık bir modeli kesin modellere dönüştürmede kullandığı yöntem oluşturmaktadır. Tahmini üyelik fonksiyonunu türetebilmek için, farklı α olasılık düzeyleri için bulanık minimum toplam maliyetin alt ve üst sınırları hesaplanmış ve ilgili optimum faaliyet planları üretilmiştir. Önerilen yöntemin geçerliliğini göstermek üzere, çalışmada bulanık parametrelere sahip olan dört aşamalı bir tedarik zinciri için beş planlama dönemini kapsayan bir model oluşturulmuş ve çözülmüştür. Önerilen yaklaşımın, bulanık parametreler barındıran tedarik zincirlerini daha iyi temsil edebildiği sonucuna varılmıştır [Chen ve Chang, 2006].

Liang, bulanık çok amaçlı ulaştırma problemleri için bir etkileşimli çok amaçlı doğrusal programlama yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntem, amaç fonksiyonlarının bulanık olduğu ve parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları ile ifade edildiği durum için

önerilmiştir. Makale kapsamında ele alınan problemde, toplam dağıtım maliyetlerinin ve toplam teslimat sürelerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Arz merkezlerinin arz miktarları ve stok kapasiteleri ile talep noktalarına ilişkin talep tahminleri ve depo kapasitelerinin bulanık olduğu belirtilmiştir. Önerilen metot, karar vericiye, tatmin edici bir çözüm elde edene kadar bulanık veriler ve ilgili parametreler üzerinde etkileşimli olarak değişiklikler yapma olanağını da vermektedir. Çalışma kapsamında, bir örnek olay için uygulanan metodun etkinliği gösterilmiştir [Liang, 2006].

Çok amaçlı taşıma problemi için etkileşimli bulanık amaç programlama yaklaşımı geliştiren El-Wahed ve Lee, her bir amaç fonksiyonu için bulanık bir amaç değeri olduğunu varsaymışlardır. Amaç programlama, bulanık programlama ve etkileşimli programlamanın birleştirildiği bu yöntemin, sadece çok amaçlı taşıma problemi için değil, diğer çok amaçlı karar verme problemlerinin çözümü için de etkili bir yöntem olduğu vurgulanmıştır [El-Wahed ve Lee, 2006].

Xie ve diğerleri, tedarik zincirlerinde stok yönetimi ve kontrolü için hiyerarşik iki-seviyeli bir yaklaşım sunmuşlardır. Tedarik zinciri, üretim ve stok birimlerinden oluşan seri yapıdaki geniş ölçekli bir sistem olarak düşünülmüştür. Çalışmada, talebin belirsiz olduğu ve bulanık kümelerle modellendiği belirtilmiştir. Tedarik zinciri kontrolü problemi, daha basit optimizasyon alt problemlerine parçalanmış, bu alt problemler birbirinden bağımsız olarak çözülmüş ve çözümler hiyerarşik bir şekilde birleştirilmiştir [Xie ve ark., 2006].

Çizelge 4.1. İncelenen çalışmaların sınıflandırılması

Makale	Tedarik Zinciri Yapısı	Ele Alınan Süreçler	Planlama Ufku	Amaç Sayısı	Model
Chanas ve Kuchta (1998)	2 aşamalı	Dağıtım	Tek dönem	Tek	Tamsayılı bulanık doğrusal programlama
Hussein (1998)	2 aşamalı	Dağıtım	Tek dönem	Çok	Doğrusal programlama
Li ve Lai (2000)	2 aşamalı	Dağıtım	Tek dönem	Çok	Bulanık doğrusal programlama
Verma ve ark. (1997)	2 aşamalı	Dağıtım	Tek dönem	Çok	Bulanık doğrusal / doğrusal olmayan programlama
El-Wahed (2006)	2 aşamalı	Dağıtım	Tek dönem	Çok	Bulanık doğrusal programlama
Liang (2006)	2 aşamalı	Dağıtım	Tek dönem	Çok	Etkileşimli bulanık doğrusal programlama
El-Wahed ve Lee (2006)	2 aşamalı	Dağıtım	Tek dönem	Çok	Bulanık amaç programlama
Wang (2004)	2 aşamalı	Dağıtım	Çok dönem	Tek	Doğrusal programlama
Shih (1997)	2 aşamalı	Dağıtım	Çok dönem	Tek	Karışık tamsayılı doğrusal programlama
Wang ve Liang (2005)	2 aşamalı	Üretim, dağıtım	Çok dönem	Çok	Bulanık doğrusal programlama
Bylka (1999)	2 aşamalı	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Dinamik programlama
Ekşioğlu ve ark. (2007)	2 aşamalı	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Dinamik programlama
Özdamar ve Yazgaç (1999)	2 aşamalı	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Karışık tamsayılı doğrusal programlama
Bilgen ve Özkarahan (2007)	2 aşamalı	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Karışık tamsayılı doğrusal programlama
Gen ve Syarif (2005)	2 aşamalı	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Doğrusal programlama
Kanyaklar ve Adil (2005)	2 aşamalı	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Doğrusal programlama

Çizelge 4.1.(Devam) İncelenen çalışmaların sınıflandırılması

Makale	Tedarik Zinciri Yapısı	Ele Alınan Süreçler	Planlama Ufku	Amaç Sayısı	Model
Garcia ve ark. (2004)	2 aşamalı	Tedarik, üretim, dağıtım	Çok dönem	Tek	Tamsayılı doğrusal programlama
Petrovic ve ark. (1999)	Seri yapıda	Üretim, stoklama	Çok dönem	Tek	Bulanık doğrusal programlama
Xie ve ark. (2006)	Seri yapıda	Üretim, stoklama	Çok dönem	Tek	Sezgisel optimizasyon
Nishi ve ark. (2007)	Seri yapıda	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Karışık tamsayılı doğrusal programlama
Farrag ve ark. (1999)	Şebeke yapısında	Dağıtım	Tek dönem	Tek	Doğrusal programlama
Shih (1999)	Şebeke yapısında	Dağıtım	Tek dönem	Tek	Bulanık doğrusal programlama
Tsiakis (2001)	Şebeke yapısında	Üretim, dağıtım	Tek dönem	Tek	Karışık tamsayılı doğrusal programlama
Altıparmak ve ark. (2006)	Şebeke yapısında	Üretim, dağıtım	Tek dönem	Çok	Karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama
Mokashi ve Kokossis (2003)	Şebeke yapısında	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Doğrusal programlama
Lee ve Kim (2002)	Şebeke yapısında	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Doğrusal programlama
Dhaenens-Flipo ve Finke (2001)	Şebeke yapısında	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Karışık tamsayılı doğrusal programlama
Schulz ve ark. (2005)	Şebeke yapısında	Üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Karışık tamsayılı doğrusal / doğrusal olmayan programlama modelleri

Çizelge 4.1.(Devam) İncelenen çalışmaların sınıflandırılması

Makale	Tedarik Zinciri Yapısı	Ele Alınan Süreçler	Planlama Ufku	Amaç Sayısı	Model
Yılmaz (2004)	Şebeke yapısında	Üretim, stoklama, dağıtım	Tek dönem	Tek	Karışık tamsayılı doğrusal programlama
Kim ve ark. (2006)	Şebeke yapısında	Tedarik, üretim, dağıtım	Çok dönem	Tek	Analitik model
Chen ve Chang (2006)	Şebeke yapısında	Tedarik, üretim, stoklama, dağıtım	Çok dönem	Tek	Bulanık doğrusal programlama
Chen ve Lee (2004)	Şebeke yapısında	Üretim, stoklama, dağıtım, satış	Çok dönem	Çok	Karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama

5. BULANIKLIK VE TEDARİK ZİNCİRİNDEKİ YERİ

5.1. Temel Kavramlar

5.1.1. Bulanıklık

Gerçek hayatta karşılaşılan durumların çoğu, çeşitli yönlerden belirsiz veya anlaşılmazdır. Örneğin, bilgi eksikliği nedeniyle bir sistemin gelecekteki durumu tam olarak bilinemeyebilir. Stokastik yapıdaki bu belirsizlik türü, uzun zamandır olasılık teorisi ve istatistiksel yöntemler kullanılarak ele alınmaktadır. Ancak kullanılan temel olasılık yaklaşımları, olayların (kümelerin elemanlarının) veya durumların açık bir şekilde tanımlı ve ayırt edilebilir olduğu varsayımına dayanır. Bu belirsizlik türü, “stokastik belirsizlik” olarak anılmaktadır. Olayların, durumların ifade edilmesinde kullanılan kelimelerin ve tanımlamaların içerdiği belirsizlik türü ise “bulanıklık” olarak adlandırılmaktadır. Bulanıklık, “bir kelimenin anlamında veya bir kavramın tanımlanmasında bulunan belirsizlik” ya da “bir olayın, ifadenin ya da kavramın anlamının içerdiği belirsizlik” olarak da tanımlanabilir [Zimmermann, 1987]. Bulanıklık, günlük yaşamın birçok alanında bulunmakla birlikte, özellikle insanların görüşlerinin, değerlendirmelerinin ve kararlarının önemli olduğu tüm alanlarda sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.

Kullandığımız doğal dillerde kelimelerin anlamları genellikle bulanıklıktır. Bir kelimenin anlamı iyi bir şekilde tanımlanmış olsa bile, bu kelime bir kümeyi nitelendirmek için kullanıldığında, kümenin elemanlarının net olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu duruma örnek olarak “uzun insanlar”, “kredilendirilebilir müşteriler” gibi ifadeler verilebilir. Bu bağlamda bulanıklık, “kelimenin ya da ifadenin yapısından kaynaklanan bulanıklık” ve “bilgiye ait bulanıklık” olmak üzere iki grupta ele alınabilir. “Uzun insanlar” örneği, ilk grubu temsil eden bir örnektir. Bu ifade, “uzun” kelimesinin anlamının içerdiği belirsizlikten dolayı bulanıktır. Nitekim bu kelimenin anlamı, şartlara ve duruma (gözlemcinin boyu, yetiştiği kültür, vb.) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. “Kredilendirilebilir müşteri” örneğindeki bulanıklık türü ise bilgiye ait bulanıklık türüdür. Kredilendirilebilir

müşteriyi, çok sayıda tanımlayıcı kriter kullanıldığında tam ve kesin olarak tanımlamak mümkün olabilecektir. Ancak bu kriterler insanoğlunun eş zamanlı olarak değerlendiremeyeceği kadar fazla ve birbiriyle ilişkilidir [Zimmermann, 1996].

Bulanıklığın anlamını sadece burada verilen tanımlarla sınırlı düşünmemek gerekir. Nitekim bu terim literatürde, uygulama alanına ve ölçülme şekline bağlı olarak farklı şeyler ifade edebilmektedir.

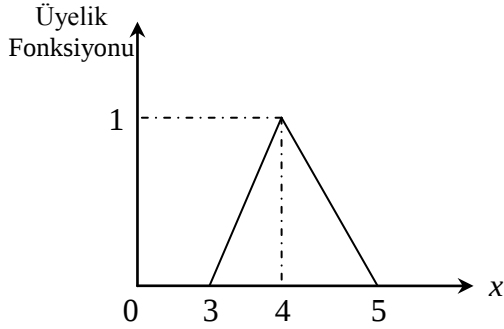
5.1.2. Bulanık küme

“x” ile gösterilen tüm elemanların oluşturduğu X evrensel kümesinin bir alt kümesi olan $\tilde{A}$ bulanık kümesi, aşağıdaki şekilde ifade edilen, sıralı ikililerden oluşan bir küme olarak tanımlanır:

$$\tilde{A} = \{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X \}$$

Yukarıdaki tanımda yer alan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ terimine, x’in “üyelik fonksiyonu” veya “üyelik derecesi” denir. $\mu_{\tilde{A}}(x)$, [0,1] kapalı aralığında değerler alabilir ve bu değerler x elemanının $\tilde{A}$ kümesine ait olma derecesini gösterir [Zimmermann, 1996].

Klasik küme teorisinde $\mu_{\tilde{A}}(x)$ sadece “0” ve “1” değerlerini alabilmektedir, yani bir eleman bir kümeye ya aittir ya da değildir. Örneğin, $A = \{x\}$ olarak tanımlanan bir klasik küme için “x” elemanı A kümesine ait olduğundan, A kümesinin tamlayanı olan A' kümesine ait olamaz. Oysa ki bulanık küme teorisinde, “x” elemanı A kümesine de A' kümesine de belirli üyelik dereceleriyle ait olabilir. Bunun yanı sıra, bir bulanık kümede yer alan sayılar belirli bir üyelik fonksiyonu ile o kümeye ait olduklarından kesin bir sayı değeri ifade etmezler (bkz. Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Üçgensel bulanık sayı x : (3, 4, 5)

5.2. Bulanık Sistemlerin Modellenmesi

Geleneksel matematiksel programlama modellerinde, ele alınan sistem bulanık bir yapıda olsa veya belirsizlikler içerse bile, karar vericinin elindeki tüm bilgilerin kesin ve tam olması gerekmektedir. Oysa ki gerçek hayattaki karar problemlerinde, amaçlar veya kısıtlar çeşitli sebeplerden bulanık olabilmektedir. Örneğin bir karar verici, amaç fonksiyonunu gerçekten maksimize etmektense amaç fonksiyonu değerinin arzu edilen bir düzeye çıkmasını isteyebileceği gibi, kısıtların tam olarak sağlanmasını şart koşmak yerine kısıtların belli bir oranda ihlâlüne izin verebilir [Bellman ve Zadeh, 1970].

Bulanık ortamda karar problemi, ilk defa 1970’de Zadeh ve Bellman tarafından ele alınmıştır. Klasik karar modelini inceleyip, bulanık ortamda karar vermek için bir model geliştiren Bellman ve Zadeh, bulanık amaç, bulanık kısıt ve bulanık karar olmak üzere üç temel kavramdan bahsetmişlerdir. Bulanık ortamda karar, bulanık kısıtların ve bulanık amaç fonksiyonlarının kesişimi olarak tanımlanır. “ $\tilde{C}$ ” bulanık kısıtların kümesi, “ $\tilde{G}$ ” bulanık amaçların kümesi olmak üzere, bulanık karar kümesi ($\tilde{D}$) ve bulanık karar kümesinin üyelik fonksiyonu ($\mu_{\tilde{D}}(x)$) aşağıdaki gibi ifade edilir [Bellman ve Zadeh, 1970]:

$$\tilde{D} = \tilde{C} \cap \tilde{G}$$

$$\mu_{\tilde{D}}(x) \geq \mu_{\tilde{C}}(x) \wedge \mu_{\tilde{G}}(x)$$

Zadeh tarafından 1965'te ortaya atılmasının ardından yöneylem araştırması, yönetim bilimi, kontrol teorisi ve yapay zekâ gibi farklı disiplinlerde geniş uygulama alanı bulan bulanık küme teorisi, gerçek hayatta karşılaşılan belirsizlikleri tanımlamak ve modellemede hesaba katmak için kullanılabilecek uygun ve yararlı bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır [Zadeh, 1965]. Bulanık matematiksel programlama, bulanık küme teorisine dayanan karar verme yaklaşımlarından birisidir.

Bulanık küme teorisini, geleneksel doğrusal programlama problemlerinde kullanan ilk çalışma, 1976 yılında Zimmermann tarafından yapılmıştır [Zimmermann, 1976]. Bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtları olan doğrusal programlama problemlerini ele alan bu çalışmanın ardından, literatürde birçok bulanık optimizasyon modeli geliştirilmiştir.

1978'de Zimmermann, bulanık doğrusal programlama yaklaşımını ilk kez bir geleneksel çok amaçlı doğrusal programlama problemini çözmek için kullanmıştır [Zimmermann, 1978]. Bu problemin her bir amaç fonksiyonu için, karar vericinin “amaç fonksiyonlarının yaklaşık bir değerden küçük olması ya da yaklaşık bir değere eşit olması gerekmektedir” şeklinde bir bulanık amaca sahip olduğu varsayılmıştır. Ardından uygun doğrusal üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve tüm amaç fonksiyonlarını birleştirmek için, Bellman ve Zadeh tarafından önerilen minimum operatörü kullanılmıştır [Bellman ve Zadeh, 1970]. Bir yardımcı değişkenin modele dâhil edilmesiyle bu problem eşdeğer bir geleneksel doğrusal programlama problemine dönüştürülmüş ve simpleks yöntemi ile kolaylıkla çözülebilmektedir [Wang ve Liang, 2004].

Bulanık ortamda, kısıtlar ve amaç fonksiyonları arasındaki ilişki, “tümüyle simetrik” olarak ele alınmaktadır. Amaç fonksiyonları ile kısıtlar birbirinden farklı görülmemekte, böylelikle bulanık çok amaçlı problemler tek amaçlı hale

dönüştürülebilmekte ve daha kolay çözülebilmektedir [Bellman ve Zadeh, 1970]. Gerçek hayattaki karar problemlerinin çözümünde bulanık modellerin kullanılmasının sağlayacağı diğer avantajlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

Bulanık modeller;

- Kavramsal olarak kolay anlaşılabilir.
- Esnek bir yapıya sahiptir, her türlü sisteme adapte edilebilir.
- Karmaşık, doğrusal olmayan tüm fonksiyonları içerebilir.
- Kesin olmayan verilerin kullanılmasına imkân sağlar.
- Geleneksel kontrol teknikleriyle beraber kullanılabilir.
- Uzmanların deneyimlerinden büyük ölçüde faydalanılmasına olanak tanır.
- Karar vericinin yargılarındaki belirsizliği de modele dâhil edebilir.
- Karar problemlerine yönelik bilgi alışverişinde, uzmanlar ile yöneticiler arasında daha iyi bir iletişim kurulmasını sağlar [Türkşen ve Fazel Zarandi, 1999].

5.3. Tedarik Zincirinde Bulanıklık

Gerçek hayatta karşılaşılan tedarik zincirleri belirsiz bir ortamda faaliyet gösterirler. Tedarik zincirinin elemanları arasındaki ilişkilerin insanlar tarafından yürütülen faaliyetlere bağlı olması, gelişmekte olan tedarik zinciri sistemlerinin modellenmesinde bulanık modellerinin kullanılmasını gerektiren ana nedenlerden birisidir [Sugeno ve Yasukawa, 1993]. Zimmermann, gerçek durumların tam olarak tanımlanamayacağını ve insanların gerçek sistemleri eş zamanlı olarak anlayıp analiz edemeyeceklerini ileri sürmüştür [Zimmermann, 1996].

Tedarik zincirinin bütünleşik yapısı, sistemin karmaşıklığını da artırmaktadır. Bir sistemde kullanılan gerçek veri sayısı arttıkça, sistemin karmaşıklığı üssel olarak artmaktadır (bkz. Şekil 5.2) [Zarandi ve ark., 2002]. Nitekim Zadeh de bir sistemin karmaşıklığı arttıkça, o sistemin davranışını kesin ve anlamlı bir şekilde ifade edebilme yeteneğinin azaldığına dikkat çekmiştir [Zadeh, 1973]. Birçok alt sistemin

birleşmesinden oluşan tedarik zinciri, gerek bütünleşik yapısı gerekse içinde barındırdığı insan faktörü nedeniyle çok sayıda belirsizlik içermektedir.



Şekil 5.2. Bir tedarik zincirinin bulanıklığı ile malzeme ve bilgi akışı arasındaki ilişki

Bir tedarik zinciri boyunca, tesdüffî olaylar, verilen kararlardaki belirsizlikler, veri eksikliği, talep, üretim ve arz süreçlerine ilişkin mevcut verilerin kesin olmaması gibi çok çeşitli belirsizlik kaynakları ve türleri söz konusudur. Tedarik zinciri üzerindeki her bir tesis için, kendinden önceki süreçlerin arzı da, kendinden sonraki süreçlerde faaliyet gösteren tesislerin talepleri de kesin olarak belirli değildir. Hammaddelerin tedariki ve bir tesisten diğerine yapılan teslimatlar da bir tedarik zincirinde karşılaşılan belirsizlik kaynaklarındandır. Bir dış tedarikçiden sağlanan hammaddelerin ya da ara ürünlerin miktarı ve kalitesi istenilenden farklı olabilecektir. Bu gibi durumlar, makine arızaları gibi üretimdeki belirsizliklerden, kalite sorunlarından, tedarikçi tesisin stok düzeyinin düşük olmasından ya da daha farklı sebeplerden kaynaklanabilir. Geliştirilen tedarik zinciri modellerinin çoğu, gerçek hayatta sıkça karşılaşılan belirsizlikleri ya göz ardı etmekte ya da olasılıklı yaklaşımlar kullanarak yaklaşık olarak hesaba katmaya çalışmaktadır [Petrovic ve ark., 1999].

Olasılık dağılımları genellikle geçmişte kaydedilmiş durumlar incelenerek elde edilir. Ancak, tutulan verilerin kesinliğinin tartışılır olduğu, eksik olduğu ya da hiç kaydedilmiş veri bulunmadığı durumlarda standart olasılıklı mantığa dayalı

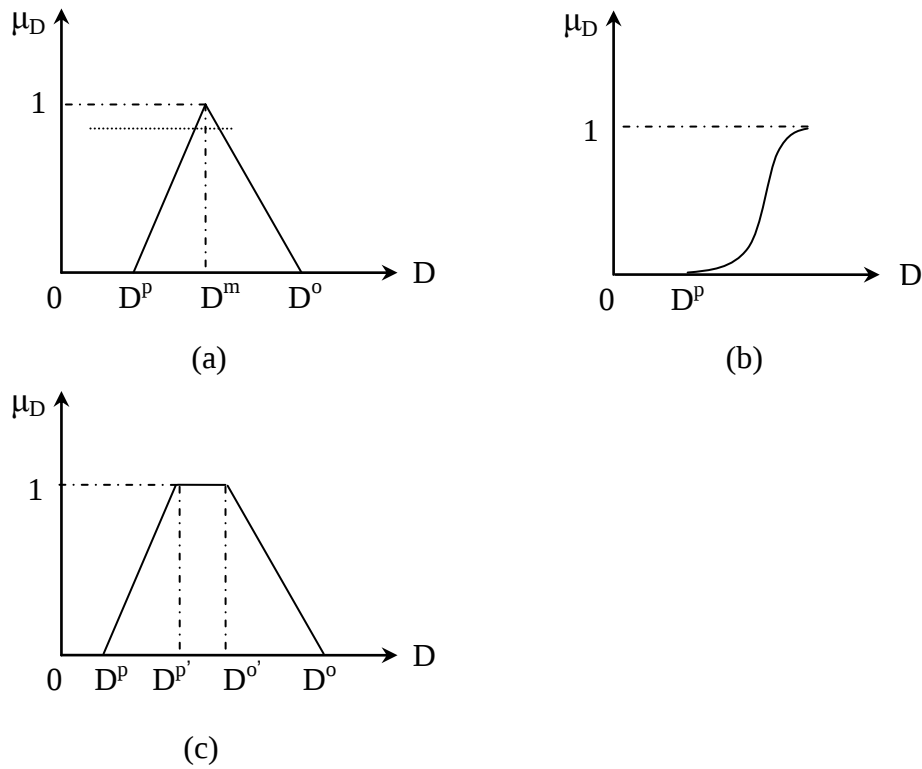
yöntemlerin kullanılması uygun değildir. Bu durumda, kesin olmayan parametreler, deneyimlere ve öznel yönetsel muhakemelere dayanarak tayin edilebilir. Genellikle konuyla ilgili uzman, bir parametreye ilişkin kesin bir değer aralığı söyleyebilir ve söz konusu parametrenin o aralıkta en büyük olasılıkla hangi değeri alacağına ilişkin bir sezgiye sahiptir [Petrovic ve ark., 1999]. Böyle durumlarda bulanık yaklaşımların kullanılması çok daha uygun olacaktır.

Talep miktarları, hemen hemen tüm tedarik zincirlerinde bulanık olan parametrelerin başında gelmektedir. Bir tedarik zincirinde talep miktarı, siparişlerin ve kesin olmayan tahminlerin toplamı olarak düşünülebilir. Müşterilerin talep miktarlarının belirsiz olması, tedarik zinciri boyunca iç taleplerde de belirsizliğe neden olmaktadır. Bulanık müşteri talep düzeyine ilişkin üyelik fonksiyonu, öznel yönetici yargılarından veya olasılık dağılımından (eğer varsa) türetilir. Müşterilerin talebine ve tedarik zincirindeki iç talebe ait olasılık dağılımları aynı formda olmak zorunda değildir [Petrovic ve ark., 1999].

Müşterilerin talep düzeyi belirsiz olarak farklı şekillerde ifade edilebilir:

- (a) “Talep yaklaşık olarak D^m kadardır ancak kesinlikle D^p ’den daha az ve D^o ’dan daha çok değildir”
- (b) “Talep D^p ’den çok daha fazladır”
- (c) “Talep büyük ihtimalle $[D^p, D^o]$ aralığında olacaktır, ancak talebin sıfır olma ihtimali de orta düzeyde olasıdır.”

Bulanık talebi temsil etmede kullanılabilecek bulanık küme örneklerini yansıtan ve konuşma dilinde ifade edilen bu tespitler, Şekil 5.3’te gösterilen olasılık dağılımlarına sahip olan bulanık kümelerle yaklaşık olarak açıklanabilir [Petrovic ve ark., 1999].



Şekil 5.3. Bulanık küme örnekleri

- a) Üçgensel yapıdaki bulanık küme b) “S” yapısındaki bulanık küme
c) İkizkenar yamuk yapısındaki bulanık küme

Yukarıda anlatılanların yanısıra, bir tedarik zincirinin modellenmesinde farklı ve kimi zaman çelişen amaçların bir arada ele alınması gerekmektedir. Örneğin üretim maliyetleri minimize edilirken dağıtım maliyetleri de göz önüne alınmalı, dağıtım maliyetlerinin minimizasyonu ise teslimat süreleri düşünülmeden yapılmamalıdır. Benzer şekilde, büyük partiler halinde sevkıyat yapılarak dağıtım maliyetlerinin optimize edilmesi, depolardaki stok maliyetlerinde artışa neden olacaktır. Tedarik zincirini oluşturan alt sistemler birbirine sıkı sıkıya bağlı olduklarından, bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmaları gerekmektedir. Literatürde üretim ve dağıtım planlama problemlerini ayrı ayrı ele alan çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, tedarik zincirlerinde bu iki süreci bütünleştiren çalışmalar sınırlıdır [Pundoor, 2005].

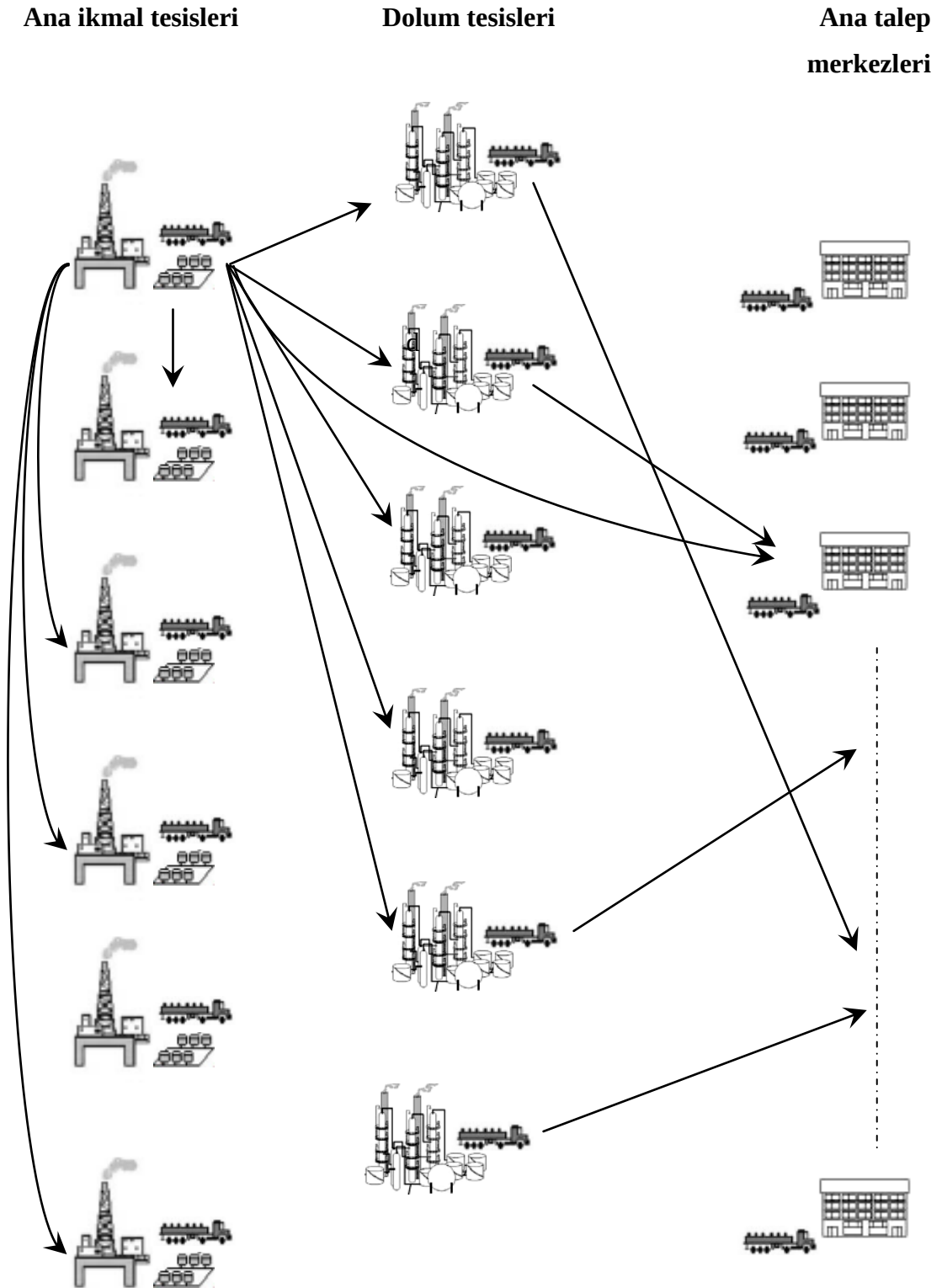
Bu çalışmada, bulanık bir ortamda faaliyet gösteren bir tedarik zinciri karar probleminin, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli kullanılarak çözülmesi amaçlanmıştır.

6. BÜTÜNLEŞİK TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMADA BİR BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

6.1. Sistemin Yapısı ve Problemin Tanımı

Tez çalışması kapsamında yapılan uygulama, likit petrol gazının (LPG) temini, stoklanması, dolumu ve tüplügaz olarak dağıtımı konusunda Türkiye’de faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Söz konusu sistem, ana ikmal tesislerinden (6 adet), dolum tesislerinden (6 adet) ve ana talep merkezlerinden (82 adet) oluşmaktadır. Yurtiçi rafinerilerden alınan ya da dış piyasadan sağlanan LPG, ana ikmal tesislerine boru hattı ya da deniz ve kara tanker filosu ile ulaştırılmaktadır. Ana ikmal tesislerine gelen LPG, sonraki dönemler için stoklanabilmekte, tankerlerle diğer ana ikmal tesislerine veya dolum tesislerine taşınabilmekte ya da tüplere doldurularak talep merkezlerine dağıtılabilir. Ana ikmal tesislerinden dolum tesislerine taşınan LPG ise, burada tüplere doldurularak talep merkezlerine dağıtılmakta ya da sonraki dönemler için stoklanmaktadır. Bahsedilen hammadde ve ürün hareketleri Şekil 6.1’de gösterilmeye çalışılmıştır. Ancak şeklin anlaşılır olması bakımından sadece birkaç örnek taşıma gösterilmiştir.

İncelenen tedarik zincirinde 6 planlama dönemi için, her bir dönemde, her bir tesis tarafından tedarik edilecek, stoklanacak, dolumu yapılacak ve dağıtılacak LPG miktarları belirlenmek istenmektedir. Ana ikmal tesislerinden, dolum tesislerinden ve ana talep merkezlerinden hangileri arasında taşıma yapılabildiği, işletmeden veri olarak alınmıştır. Bununla birlikte, 6 no’lu ana ikmal tesisinin altı dönem boyunca yurtiçi rafinerilerden ya da dış piyasadan aldığı LPG miktarı toplamının 10 000 tonu geçemeyeceği belirtilmiştir. Problemin çözümü amacıyla bir bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Toplam maliyetlerin (tedarik, dolum, stoklama ve taşıma maliyetleri toplamı) ve toplam taşıma mesafelerinin minimizasyonunun amaçlandığı modelde, ana talep merkezlerine ilişkin talep miktarları ve karar vericinin amaç fonksiyonlarına ilişkin istek düzeyleri bulanık olarak ele alınmıştır.



Şekil 6.1. Sistemdeki örnek malzeme ve ürün hareketleri

6.2. Varsayımlar

İncelenen sistem için oluşturulan bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli, aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır:

- 1) Amaç fonksiyonları, belirsiz istek düzeyleriyle bulanıktır.
- 2) Tüm amaç fonksiyonları ve kısıtlar doğrusaldır.
- 3) Birim maliyetler ve tesisler arası mesafeler planlama dönemi boyunca belirlidir ve sabittir.
- 4) Dağıtım maliyetleri ve taşıma mesafeleri taşınan birim sayısı ile doğru orantılıdır.
- 5) Tahmini talep miktarlarını ifade etmek için üçgensel bulanık sayı kalıbı benimsenmiştir.
- 6) Modelde yer alan bulanık kümeleri temsil etmek üzere parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları belirlenmiş ve bulanık kümeleri birleştirmek için minimum operatörü kullanılmıştır.

Birinci varsayım, gerçek hayattaki bütünleşik tedarik zinciri planlama problemlerinin amaç fonksiyonlarının bulanıklığıyla ilgilidir ve karar vericinin düşünceleri ile muhakemelerindeki değişiklikleri içerir. İkinci, üçüncü ve dördüncü varsayımlar, standart doğrusal programlama yapısının elde edilebilmesi için doğrusallık ve orantılılık özelliklerinin teknik olarak sağlandığını belirtmektedir. Beşinci varsayım, bulanık aritmetik işlemlerin basitliği ve esnekliği ile ilişkilidir. Tahmini talep miktarlarının ifade edilmesinde üçgensel bulanık sayılardan yararlanılması, hesaplamaları kolaylaştırmış, veri gereksinimi de azaltmıştır [Zimmermann, 1996]. Altıncı varsayım ise bulanık çok amaçlı problemin, eşdeğer bir doğrusal programlama yapısına çevrilmesi aşaması için konmuştur.

6.3. Yöntem

Ele alınan sistem için oluşturulan çok amaçlı bulanık tedarik zinciri planlama modelinin çözümünde Wang ve Liang tarafından yapılan çalışmada kullanılan yöntem esas alınmıştır [Wang ve Liang, 2004]. Söz konusu yöntem, Hannan'ın bulanık amaç programlama yöntemi ile Bellman ve Zadeh'in bulanık karar verme yöntemini birleştirmektedir [Hannan, 1981; Bellman ve Zadeh, 1970]. Bulanık amaçların ifade edilmesinde parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları, bulanık kümelerin birleştirilmesinde ise minimum operatörü kullanılmıştır. Bir yardımcı değişkenin modele ilave edilmesiyle bulanık çok amaçlı model, eşdeğer bir doğrusal programlama modeline çevrilebilmekte ve standart simpleks yöntemi ile çözülebilmektedir [Liang, 2006]. Modelin türetilmesine Ek - 1'de ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Bu çözüm yöntemi, aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır [Liang, 2006]:

- 1) Orjinal bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli oluşturulur.
- 2) Verilen minimum kabul edilebilir üyelik seviyesi (α) göz önüne alınarak, bulanık sağ taraf değerine sahip olan kısıtlar, ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılarak bulanık olmayan kısıtlara dönüştürülür.
- 3) Her bir amaç fonksiyonu (z_g , $g = 1, 2$) için birkaç amaç fonksiyonu değerine ilişkin üyelik dereceleri ($\mu(z_g)$) belirlenir.
- 4) Her bir amaç fonksiyonu için (z_g , $\mu(z_g)$) noktaları kullanılarak parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları çizilir.
- 5) Her bir üyelik fonksiyonu ($\mu(z_g)$) için parçalı doğrusal denklemler oluşturulur.
- 6) Orjinal bulanık çok amaçlı tedarik zinciri modeli, yardımcı değişken "L"nin de modele dâhil edilmesiyle, eşdeğer bir klasik doğrusal programlama problemine dönüştürülebilir. Bu yeni değişken (L), karar vericinin bulanık amaçlarına ilişkin toplam tatmin düzeyi olarak tanımlanabilir.

6.4. Çözüm

Tez kapsamında ele alınan problemin çözümü, yukarıda belirtilen adımlar izlenerek bu bölümde açıklanmıştır. Model oluşturulurken şu parametrelere gereksinim duyulmuştur:

- Talep merkezlerinin en kötümser, en olası ve en iyimser talep miktarları,
- Ana ikmal tesislerinin tanker dolum maliyetleri, tanker dolum kapasiteleri ve LPG satın alma maliyetleri,
- Ana ikmal tesisleri ile dolum tesislerinin tüp dolum maliyetleri, tüp dolum kapasiteleri, emniyet stoğu miktarları, maksimum stok kapasiteleri ve depolama maliyetleri,
- Tesisler ve talep merkezleri arasındaki ilgili taşıma mesafeleri,
- Hangi tesisler arasında ya da hangi tesislerden hangi talep merkezlerine taşıma yapılabildiğine dair bilgi.

Modelde girdi olarak kullanılan ve işletmeden edinilen bu veriler, Ek-2’de yer almaktadır.

6.4.1. Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modelinin oluşturulması

Yukarıda tanımlanan problemde belirlenen karar değişkenlerinin (X_{imt} , Y_{jkt} , Z_{ikt} , I_{it} , N_{jt} , Q_{it}) altı dönemlik (aylık) değerlerinin bulunması amacıyla kurulan bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} \text{Min } z_1 \cong & \sum_{i=1}^6 (c_i \sum_{t=1}^6 Q_{it}) + \sum_{t=1}^6 [\sum_{i=1}^6 (p_i \sum_{m=1}^{12} X_{imt}) + \sum_{i=1}^6 (r_i \sum_{k=1}^{82} Z_{ikt}) \\ & + \sum_{j=1}^6 (dc_j \sum_{k=1}^{82} Y_{jkt})] + [\sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^{12} (ec_{im} \sum_{t=1}^6 X_{imt}) + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{82} (fc_{ik} \sum_{t=1}^6 Z_{ikt}) \end{aligned}$$

$$+ \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{82} (gc_{jk} \sum_{t=1}^6 Y_{jkt}) + \sum_{i=1}^6 (h_i \sum_{t=1}^6 I_{it}) + \sum_{j=1}^6 (lc_j \sum_{t=1}^6 N_{jt}) \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } z_2 \cong & \sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^{12} [(\text{mes}x_{im}) \sum_{t=1}^6 X_{imt}] + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{82} [(\text{mes}y_{jk}) \sum_{t=1}^6 Y_{jkt}] \\ & + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{82} [(\text{mes}z_{ik}) \sum_{t=1}^6 Z_{ikt}] \end{aligned} \quad (6.2)$$

S.T.

$$\sum_{t=1}^6 Q_{6t} \leq 10\,000 \quad (6.3)$$

$$\sum_{m=1}^{12} X_{imt} \leq S_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.4)$$

$$\sum_{k=1}^{82} Z_{ikt} \leq W_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.5)$$

$$\sum_{k=1}^{82} Y_{jkt} \leq U_j \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.6)$$

$$\sum_{i=1}^6 Z_{ikt} + \sum_{j=1}^6 Y_{jkt} = \tilde{D}_{kt} \quad (k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.7)$$

$$\sum_{i=1}^6 X_{imt} = AX_{mt} \quad (m = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.8)$$

$$AX_{1t} = BX_{1t} \quad (6.9)$$

$$AX_{2t} = BX_{2t} \quad (6.10)$$

$$AX_{3t} = BX_{3t} \quad (6.11)$$

$$AX_{4t} = BX_{4t} \quad (6.12)$$

$$AX_{5t} = BX_{5t} \quad (6.13)$$

$$AX_{6t} = BX_{6t} \quad (6.14)$$

$$I_{it} = I_{i, t-1} + Q_{it} + BX_{it} - \sum_{m=1}^{12} X_{imt} - \sum_{k=1}^{82} Z_{ikt} \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.15)$$

$$X_{i7t} = DX_{i1t} \quad (6.16)$$

$$X_{i8t} = DX_{i2t} \quad (6.17)$$

$$X_{i9t} = DX_{i3t} \quad (6.18)$$

$$X_{i,10,t} = DX_{i4t} \quad (6.19)$$

$$X_{i,11,t} = DX_{i5t} \quad (6.20)$$

$$X_{i,12,t} = DX_{i6t} \quad (6.21)$$

$$N_{jt} = N_{j, t-1} + \sum_{i=1}^6 DX_{ijt} - \sum_{k=1}^{82} Y_{jkt} \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.22)$$

$$X_{imt} \leq (AT_{imt}) (X_{imt}) \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (m = 1, 2, \dots, 12) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.23)$$

$$Y_{jkt} \leq (DM_{jkt}) (Y_{jkt}) \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.24)$$

$$Z_{ikt} \leq (IM_{ikt}) (Z_{ikt}) \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.25)$$

$$F_i \leq I_{it} \leq G_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.26)$$

$$M_j \leq N_{jt} \leq L_j \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.27)$$

$$I_{i0} = 0 \quad (6.28)$$

$$N_{i0} = 0 \quad (6.29)$$

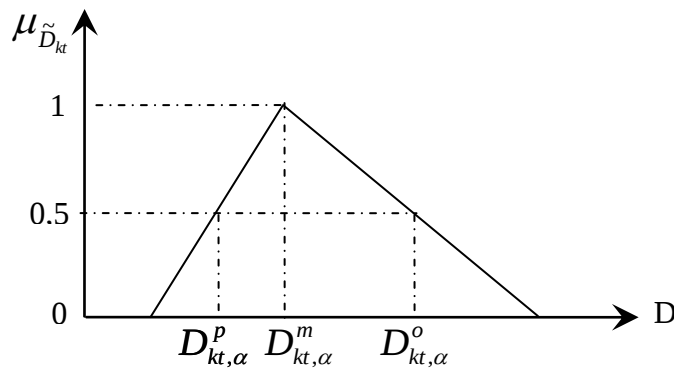
$$X_{imt}, Y_{jkt}, Z_{ikt}, I_{it}, N_{jt}, Q_{it} \geq 0 \quad (6.30)$$

Eş.6.1'deki birinci amaç fonksiyonu toplam maliyetin (tedarik, dolum, stoklama ve taşıma maliyetleri toplamı), Eş.6.2'deki ikinci amaç fonksiyonu ise taşıma mesafeleri toplamının minimizasyonunu ifade etmektedir. “ $\cong$ ” sembolü, “=”in bulanık biçimi olup, karar vericinin istek düzeyinin bulanıklığını belirtmektedir. Bu çalışma, karar vericinin her iki amaç fonksiyonu için de, “amaç fonksiyonu esasında belli bir değere eşit olmalı” şeklinde bulanık bir amacının olduğunu varsaymıştır. Eş.6.3'teki kısıt, 6 no'lu ana ikmal tesisinin yurtiçi rafinerilerden ya da dış piyasadan alabileceği toplam LPG miktarına ilişkindir. Ana ikmal tesislerinin dönemlik tanker dolum kapasiteleriyle ilgili kısıt Eş.6.4 ile, tüp dolum kapasiteleriyle ilgili kısıt ise Eş.6.5 ile

ifade edilmiştir. Eş.6.6, dolum tesislerinin dönemlik tüp dolum kapasitelerine, Eş.6.7 ise talebin karşılanmasına ilişkindir. Eş.6.15 ana ikmal tesislerinin, Eş.6.22 ise dolum tesislerinin stok dengesini sağlayacak kısıtlar olup, Eş.6.8-Eş.6.14 ve Eş.6.16-Eş.6.21 eşitlikleri, stok dengelerinin yazılabilmesi için gereksinim duyulan ara değerlerin hesaplanmasına veya bazı değerlerin başka yeni değişkenlere atanmasına yöneliktir. Eş.6.23-Eş.6.25'teki ifadeler, taşıma yapılamayan yerler arasında taşınacak miktarların "0" olmasını; Eş.6.26 ve Eş.6.27'deki kısıtlar ise ana ikmal ve dolum tesislerinin stok düzeylerinin emniyet stoğu miktarı ile maksimum stok kapasitesi arasında olmasını sağlamaktadır. Eş.6.28 ve Eş.6.29 tesislerde başlangıç stoğu olmadığını; Eş.6.30 ise karar değişkenlerinin negatif değer alamayacağını belirtmektedir.

6.4.2. Bulanık kısıtlardaki bulanıklığın giderilmesi

Bu çalışmada, karar vericinin kesin olmayan talep miktarlarının ($\tilde{D}_{kt}$) ifade edilmesi için üçgensel bulanık sayıları benimsediği varsayılmıştır. Üçgensel bulanık sayıların en önemli avantajı, bulanık aritmetik işlemleri basitleştirmesidir. Şekil 6.2'de üçgensel bulanık sayı $\tilde{D}_{kt} = (D_{kt}^p, D_{kt}^m, D_{kt}^o)$ 'nin dağılımı gösterilmiştir. Karar verici uygulamada, $\tilde{D}_{kt}$ 'nin üçgensel dağılımını, üç önemli veriye dayanarak oluşturabilir: $\tilde{D}_{kt}$ 'nin alabileceği en kötümser değer (D_{kt}^p), en olası değer (D_{kt}^m) ve en iyimser değer (D_{kt}^o).



Şekil 6.2. $\tilde{D}_{kt}$ bulanık sayısının üçgensel dağılımı

Bu çalışmada, talep merkezlerinin bulanık talep miktarlarının ($\tilde{D}_{kt}$) kesin değerlere dönüştürülmesinde ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılmıştır. Kabul edilebilir en düşük üyelik seviyesi (α) verildiğinde, dördüncü kısıt için bulanık olmayan eşitlik ifadesi aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\sum_{i=1}^6 Z_{ikt} + \sum_{j=1}^6 Y_{jkt} = w_1 D_{kt,\alpha}^p + w_2 D_{kt,\alpha}^m + w_3 D_{kt,\alpha}^o$$

$$(k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6)$$

(6.31)

Yukarıdaki eşitlikte w_1 , w_2 ve w_3 bulanık talep miktarlarının en kötümser, en olası ve en iyimser değerlerinin ağırlıklarını ifade etmektedir ve aşağıdaki eşitliği sağlayacak şekilde karar vericinin deneyimine ve bilgisine bağlı olarak belirlenen öznel değerlerdir:

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

(6.32)

Literatürde bazı çalışmaların bulanık kısıtlardaki bulanıklığın giderilmesinde aynı ağırlıkları ve aynı “ α ” değerini kullandığı görülmektedir [Lai ve Hwang, 1992; Tanaka ve ark., 1984; Wang ve Liang, 2004]. Bu çalışmada bulanık bir kısıt olan dördüncü kısıt için ağırlıklar ve “ α ” değeri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$w_1 = w_3 = 1/6$$

(6.33)

$$w_2 = 4/6$$

(6.34)

$$\alpha = 0.5$$

(6.35)

Talep miktarlarının alabileceği en olası değerler, uç değerlere nazaran daha önemli olduğundan, en fazla ağırlık en olası değere verilmiştir. Öte yandan talep miktarları çok nadir olarak en iyimser ve en kötümser değerleri alacağı için, bu değerlere nispeten az ağırlık verilmiştir.

İncelenen sistemdeki talep merkezlerine ilişkin en kötümser (D_{kt}^p), en olası (D_{kt}^m) ve en iyimser (D_k^o) değerler ile bu değerlerin yukarıdaki ağırlıklar kullanılarak hesaplanan ağırlıklı ortalamaları EK-2’de verilmiştir.

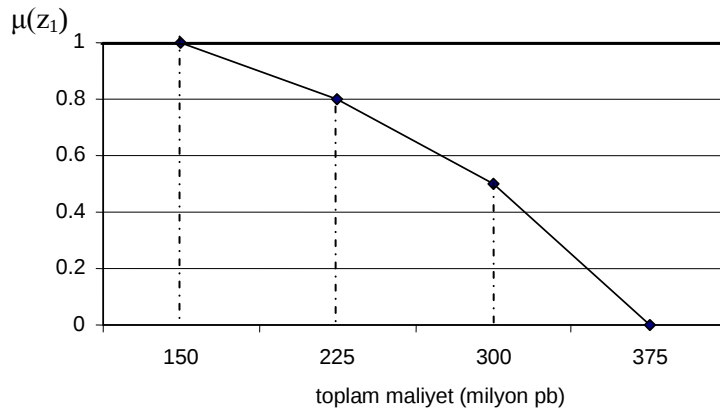
6.4.2. Amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

Üyelik fonksiyonları oluşturulurken öncelikle her bir amaç fonksiyonu (z_g , $g = 1, 2$) için birkaç amaç fonksiyonu değerine ilişkin üyelik dereceleri ($\mu(z_g)$) belirlenir. Bölüm 6.4.1’deki modelin amaç fonksiyonları için belirlenen bu değerler ve üyelik dereceleri Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

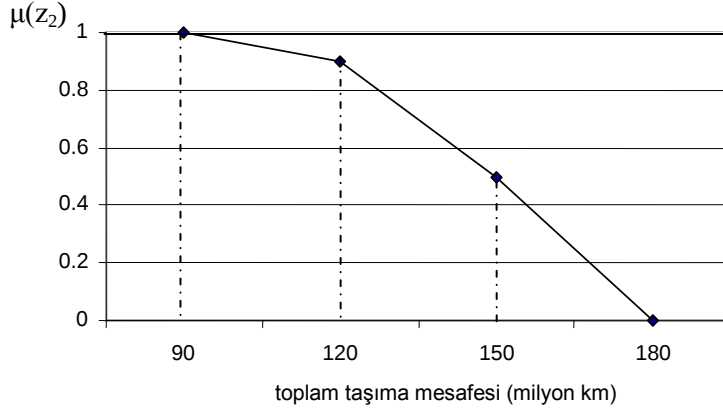
Çizelge 6.1. Amaç fonksiyonlarına ait üyelik fonksiyonları için belirlenen değerler

z_1	>375 000 000	375 000 000	300 000 000	225 000 000	150 000 000	< 150 000 000
$\mu(z_1)$	0	0	0,5	0,8	1	1
z_2	>180 000 000	180 000 000	150 000 000	120 000 000	90 000 000	< 90 000 000
$\mu(z_2)$	0	0	0,5	0,9	1	1

Amaç fonksiyonları için Çizelge 6.1’de belirtilen (z_g , $\mu(z_g)$) noktaları kullanılarak çizilen parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Birinci amaç fonksiyonuna (z_1) ait parçalı doğrusal üyelik fonksiyonunun çizimi



Şekil 6.4. İkinci amaç fonksiyonuna (z_2) ait parçalı doğrusal üyelik fonksiyonunun çizimi

Çizelge 6.1 ve Şekil 6.3'te görüldüğü üzere, karar verici toplam maliyetin 375000000 pb'den daha fazla olmasını kesinlikle istememektedir. Toplam maliyet 150000000 pb'nin altında olduğunda karar vericinin bu konudaki isteği tamamiyle gerçekleşmiş olacak, toplam maliyet 225000000 pb iken karar vericinin tatmin düzeyi %80, 300000000 pb iken ise %50 olarak gerçekleşecektir. Benzer şekilde, Çizelge 6.1 ve Şekil 6.4'e bakıldığında hammadde ve ürün taşımalarında kat edilecek toplam mesafenin 180000000 km'den daha fazla olması kesinlikle istenmeyen bir durumdur. Toplam mesafenin 90000000 km'den az olması durumunda karar vericinin tatmin düzeyi %100 olacakken, mesafe 120000000 km olduğunda %90, 150000000 km olduğunda ise %50 olacaktır.

6.4.2. Üyelik fonksiyonları için parçalı doğrusal denklemlerin oluşturulması

Üyelik fonksiyonları için parçalı doğrusal denklemler oluşturulurken Hannan'ın yaklaşımı esas alınmıştır. Hannan, her bir üyelik fonksiyonunu aşağıdaki formda parçalı doğrusal denklemlere çevirerek ifade etmiştir [Hannan, 1981].

$$\mu_{z_g} = \sum_{e=1}^{p_g} \alpha_{ge} |z_g - X_{ge}| + \beta_g z_g + \gamma_g \quad g = 1, 2 \quad (6.36)$$

$$\alpha_{ge} = \frac{|t_{g, e+1}| - |t_{ge}|}{2} \quad (6.37)$$

$$\beta_g = \frac{t_{g, P+1} + t_{g1}}{2} \quad (6.38)$$

$$\gamma_g = \frac{S_{g, P+1} + S_{g1}}{2} \quad (6.39)$$

Burada, t_{gr} , $X_{g,r-1}$ ve X_{gr} arasında kalan doğru parçasının eğimi, S_{gr} ise bu doğru parçasının uzantısının y eksenini kestiği nokta olmak üzere, parçalı doğrusal üyelik fonksiyonundaki her $X_{g,r-1} \leq z_g \leq X_{gr}$ doğru parçası için $\mu(z_g) = t_{gr} z_g + S_{gr}$ olduğu varsayılmıştır [Hannan, 1981]. Eşitliklerde, “g” amaç fonksiyonlarını; “ X_{ge} ”, g. amaç fonksiyonunun e. noktadaki değerini; “ P_g ” ise amaç fonksiyonu için üyelik derecesi 0 ve 1 arasında olacak şekilde belirlenen nokta sayısını ifade etmektedir. Buradan yola çıkılarak, oluşturulan modelin her iki amaç fonksiyonu için α_{ge} , β_g ve γ_g değerleri hesaplanmış, bu değerler Eş. 6.6’da yerine konularak amaç fonksiyonlarına ait üyelik fonksiyonları elde edilmiştir. Örnek teşkil etmesi amacıyla birinci amaç fonksiyonuna ilişkin yapılan işlemler aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} t_{11} &= \frac{q_{11} - 0}{X_{11} - X_{10}} \\ &= \frac{0,5}{300\ 000\ 000 - 375\ 000\ 000} \\ &= -6,66667 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{12} &= \frac{q_{12} - q_{11}}{X_{12} - X_{11}} \\
 &= \frac{0,8 - 0,5}{225\,000\,000 - 300\,000\,000} \\
 &= -4 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{13} &= \frac{1 - q_{12}}{X_{13} - X_{12}} \\
 &= \frac{1 - 0,8}{150\,000\,000 - 225\,000\,000} \\
 &= -2,66667 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= \frac{t_{13} + t_{11}}{2} \\
 &= \frac{-6,66667 \times 10^{-9} - 2,66667 \times 10^{-9}}{2} \\
 &= -4,66667 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{11} &= \frac{|t_{12}| - |t_{11}|}{2} \\
 &= \frac{|-4 \times 10^{-9}| - |-6,66667 \times 10^{-9}|}{2} \\
 &= -1,33333 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{12} &= \frac{|t_{13}| - |t_{12}|}{2} \\
&= \frac{|- 2,66667 \times 10^{-9}| - |- 4 \times 10^{-9}|}{2} \\
&= - 6,66667 \times 10^{-10}
\end{aligned}$$

$$t_{11} = \frac{S_{11} - q_{10}}{0 - X_{10}} = \frac{S_{11} - q_{11}}{0 - X_{11}} \quad (6.40)$$

$$t_{13} = \frac{S_{13} - q_{12}}{0 - X_{12}} = \frac{S_{13} - q_{13}}{0 - X_{13}} \quad (6.41)$$

Eş.6.40'ta ilgili değerler yerine konulduğunda $S_{11} = 2,5$ olarak bulunur. Benzer şekilde, Eş.6.41'den $S_{13} = 1,4$ olarak elde edilir.

$$\begin{aligned}
\gamma_1 &= \frac{S_{13} + S_{11}}{2} \\
&= \frac{1,4 + 2,5}{2} \\
&= 1,95
\end{aligned}$$

İkinci amaç fonksiyonu için hesaplanan değerler ise aşağıda yer almaktadır.

$t_{21} = - 1,66667 \times 10^{-8}$	$\beta_2 = - 1 \times 10^{-8}$	$S_{21} = 3$
$t_{22} = - 1,33333 \times 10^{-8}$	$\alpha_{21} = - 1,66667 \times 10^{-9}$	$S_{23} = 1,3$
$t_{23} = - 3,33333 \times 10^{-9}$	$\alpha_{22} = - 5 \times 10^{-9}$	$\gamma_2 = 2,15$

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te grafikleri gösterilen üyelik fonksiyonları, yukarıda hesaplanan değerler kullanılarak, parçalı fonksiyonlar olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\mu_{z_1} = \begin{cases} 1 & z_1 \leq 150\,000\,000 \\ 1,4 - 2,66667 \times 10^{-9} z_1 & 150\,000\,000 < z_1 \leq 225\,000\,000 \\ 1,7 - 0,000000004 z_1 & 225\,000\,000 < z_1 \leq 300\,000\,000 \\ 2,5 - 6,66667 \times 10^{-9} z_1 & 300\,000\,000 < z_1 \leq 375\,000\,000 \\ 0 & z_1 > 375\,000\,000 \end{cases}$$

$$\mu_{z_2} = \begin{cases} 1 & z_2 \leq 90\,000\,000 \\ 1,3 - 3,33333 \times 10^{-9} z_2 & 90\,000\,000 < z_2 \leq 120\,000\,000 \\ 2,5 - 1,33333 \times 10^{-8} z_2 & 120\,000\,000 < z_2 \leq 150\,000\,000 \\ 3 - 1,66667 \times 10^{-8} z_2 & 150\,000\,000 < z_2 \leq 180\,000\,000 \\ 0 & z_2 > 180\,000\,000 \end{cases}$$

Yukarıda yer alan fonksiyonları Eş.6.36'dan yararlanarak aşağıdaki gibi ifade etmek de mümkündür [Hu ve Fang, 1999].

$$\mu_{z_1} = \begin{cases} 1 & z_1 \leq 150\,000\,000 \\ \{-1,33333 \times 10^{-9} | z_1 - 300\,000\,000 | - 6,66667 \times 10^{-10} | z_1 - 225\,000\,000 | \\ - 4,66667 \times 10^{-9} z_1 + 1,95\} & 150\,000\,000 < z_1 \leq 375\,000\,000 \\ 0 & z_1 > 375\,000\,000 \end{cases}$$

$$\mu_{z_2} = \begin{cases} 1 & z_2 \leq 900\,000\,000 \\ \{-1,66667 \times 10^{-9} | z_2 - 150\,000\,000| - 0,5 \times 10^{-8} | z_2 - 120\,000\,000| \\ - 0,1 \times 10^{-7} z_2 + 2,15\} & 900\,000\,000 < z_2 \leq 180\,000\,000 \\ 0 & z_2 > 180\,000\,000 \end{cases}$$

6.4.3. Eşdeğer doğrusal programlama modelinin elde edilmesi

Sapma değişkenleri (d_{ge}^- , d_{ge}^+) ve yardımcı değişken L'nin modele dâhil edilmesi ve tüm bulanık kümeleri birleştirmek için minimum operatörünün kullanılmasıyla, mevcut model eşdeğer bir doğrusal programlama problemine dönüştürülür. Buradaki "L", karar vericinin tüm bulanık amaçlara ilişkin toplam tatmin düzeyi olarak tanımlanabilir. Aşağıda verilen ve Bölüm 6.4.1'deki model ile eşdeğer olan modelin türetilmesine ilişkin ayrıntılar Ek-1'de yer almaktadır.

Max L

S.T.

$$\begin{aligned} L \leq & -1,33333 \times 10^{-9} (d_{11}^+ + d_{11}^-) - 6,66667 \times 10^{-10} (d_{12}^+ + d_{12}^-) \\ & - 4,66667 \times 10^{-9} \left\{ \sum_{i=1}^6 (c_i \sum_{t=1}^6 Q_{it}) + \sum_{t=1}^6 [\sum_{i=1}^6 (p_i \sum_{m=1}^{12} X_{imt}) + \sum_{i=1}^6 (r_i \sum_{k=1}^{82} Z_{ikt}) \right. \\ & + \sum_{j=1}^6 (dc_j \sum_{k=1}^{82} Y_{jkt})] + [\sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^{12} (ec_{im} \sum_{t=1}^6 X_{imt}) + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{82} (fc_{ik} \sum_{t=1}^6 Z_{ikt}) \\ & \left. + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{82} (gc_{jk} \sum_{t=1}^6 Y_{jkt})] + \sum_{i=1}^6 (h_i \sum_{t=1}^6 I_{it}) + \sum_{j=1}^6 (lc_j \sum_{t=1}^6 N_{jt}) \right\} + 1,95 \quad (6.42) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L \leq & -1,66667 \times 10^{-9} (d_{21}^+ + d_{21}^-) - 5 \times 10^{-9} (d_{22}^+ + d_{22}^-) \\
& - 1 \times 10^{-8} \left\{ \sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^{12} [(\text{mes}x_{im}) \sum_{t=1}^6 X_{imt}] + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{82} [(\text{mes}y_{jk}) \sum_{t=1}^6 Y_{jkt}] \right. \\
& \left. + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{82} [(\text{mes}z_{ik}) \sum_{t=1}^6 Z_{ikt}] \right\} + 2,15
\end{aligned} \tag{6.43}$$

$$\begin{aligned}
& \left\{ \sum_{i=1}^6 (c_i \sum_{t=1}^6 Q_{it}) + \sum_{t=1}^6 \left[\sum_{i=1}^6 (p_i \sum_{m=1}^{12} X_{imt}) + \sum_{i=1}^6 (r_i \sum_{k=1}^{82} Z_{ikt}) + \sum_{j=1}^6 (dc_j \sum_{k=1}^{82} Y_{jkt}) \right] \right. \\
& + \left[\sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^{12} (ec_{im} \sum_{t=1}^6 X_{imt}) + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{82} (fc_{ik} \sum_{t=1}^6 Z_{ikt}) + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{82} (gc_{jk} \sum_{t=1}^6 Y_{jkt}) \right] \\
& \left. + \sum_{i=1}^6 (h_i \sum_{t=1}^6 I_{it}) + \sum_{j=1}^6 (lc_j \sum_{t=1}^6 N_{jt}) \right\} - d_{11}^+ + d_{11}^- = 300\,000\,000
\end{aligned} \tag{6.44}$$

$$\begin{aligned}
& \left\{ \sum_{i=1}^6 (c_i \sum_{t=1}^6 Q_{it}) + \sum_{t=1}^6 \left[\sum_{i=1}^6 (p_i \sum_{m=1}^{12} X_{imt}) + \sum_{i=1}^6 (r_i \sum_{k=1}^{82} Z_{ikt}) + \sum_{j=1}^6 (dc_j \sum_{k=1}^{82} Y_{jkt}) \right] \right. \\
& + \left[\sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^{12} (ec_{im} \sum_{t=1}^6 X_{imt}) + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{82} (fc_{ik} \sum_{t=1}^6 Z_{ikt}) + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{82} (gc_{jk} \sum_{t=1}^6 Y_{jkt}) \right] \\
& \left. + \sum_{i=1}^6 (h_i \sum_{t=1}^6 I_{it}) + \sum_{j=1}^6 (lc_j \sum_{t=1}^6 N_{jt}) \right\} - d_{12}^+ + d_{12}^- = 225\,000\,000
\end{aligned} \tag{6.45}$$

$$\begin{aligned}
& \left\{ \sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^{12} [(\text{mes}x_{im}) \sum_{t=1}^6 X_{imt}] + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{82} [(\text{mes}y_{jk}) \sum_{t=1}^6 Y_{jkt}] \right. \\
& \left. + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{82} [(\text{mes}z_{ik}) \sum_{t=1}^6 Z_{ikt}] \right\} - d_{21}^+ + d_{21}^- = 150\,000\,000
\end{aligned} \tag{6.46}$$

$$\begin{aligned}
& \left\{ \sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^{12} [(\text{mes}x_{im}) \sum_{t=1}^6 X_{imt}] + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{82} [(\text{mes}y_{jk}) \sum_{t=1}^6 Y_{jkt}] \right. \\
& \left. + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{82} [(\text{mes}z_{ik}) \sum_{t=1}^6 Z_{ikt}] \right\} - d_{22}^+ + d_{22}^- = 120\,000\,000
\end{aligned} \tag{6.47}$$

$$\sum_{t=1}^6 Q_{6t} \leq 10\,000 \tag{6.48}$$

$$\sum_{m=1}^{12} X_{imt} \leq S_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \tag{6.49}$$

$$\sum_{k=1}^{82} Z_{ikt} \leq W_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \tag{6.50}$$

$$\sum_{k=1}^{82} Y_{jkt} \leq U_j \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \tag{6.51}$$

$$\sum_{i=1}^6 Z_{ikt} + \sum_{j=1}^6 Y_{jkt} = w_1 D_{kt}^p + w_2 D_{kt}^m + w_3 D_{kt}^o \quad (k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \tag{6.52}$$

$$\sum_{i=1}^6 X_{imt} = AX_{mt} \quad (m = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \tag{6.53}$$

$$AX_{1t} = BX_{1t} \tag{6.54}$$

$$AX_{2t} = BX_{2t} \tag{6.55}$$

$$AX_{3t} = BX_{3t} \tag{6.56}$$

$$AX_{4t} = BX_{4t} \tag{6.57}$$

$$AX_{5t} = BX_{5t} \tag{6.58}$$

$$AX_{6t} = BX_{6t} \tag{6.59}$$

$$I_{it} = I_{i, t-1} + Q_{it} + BX_{it} - \sum_{m=1}^{12} X_{imt} - \sum_{k=1}^{82} Z_{ikt} \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \tag{6.60}$$

$$X_{i7t} = DX_{i1t} \quad (6.61)$$

$$X_{i8t} = DX_{i2t} \quad (6.62)$$

$$X_{i9t} = DX_{i3t} \quad (6.63)$$

$$X_{i,10,t} = DX_{i4t} \quad (6.64)$$

$$X_{i,11,t} = DX_{i5t} \quad (6.65)$$

$$X_{i,12,t} = DX_{i6t} \quad (6.66)$$

$$N_{jt} = N_{j, t-1} + \sum_{i=1}^6 DX_{ijt} - \sum_{k=1}^{82} Y_{jkt} \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.67)$$

$$X_{imt} \leq (AT_{imt}) (X_{imt}) \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (m = 1, 2, \dots, 12) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.68)$$

$$Y_{jkt} \leq (DM_{jkt}) (Y_{jkt}) \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.69)$$

$$Z_{ikt} \leq (IM_{ikt}) (Z_{ikt}) \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.70)$$

$$F_i \leq I_{it} \leq G_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.71)$$

$$M_j \leq N_{jt} \leq L_j \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (6.72)$$

$$I_{i0} = 0 \quad (6.73)$$

$$N_{i0} = 0 \quad (6.74)$$

$$X_{imt}, Y_{jkt}, Z_{ikt}, I_{it}, N_{jt}, Q_{it}, d_{11}^+, d_{11}^-, d_{12}^+, d_{12}^-, d_{21}^+, d_{21}^-, d_{22}^+, d_{22}^- \geq 0 \quad (6.75)$$

6.4.4. Modelin çözümü ve değerlendirmeler

Bölüm 6.4.3'teki model, "LINGO 8.0" paket programı kullanılarak çözülmüş, toplam maliyet 168 990 400 pb, taşımalarda kat edilecek toplam mesafe ise 98 236 740 km olarak elde edilmiştir. Çözüm sonucunda karar değişkenlerinin aldığı değerler Ek-3'te, modelin LINGO paket programında yazılmış hali ise Ek-4'te verilmiştir. Bu sonucun, karar vericinin isteklerini % 94,9 düzeyinde karşıladığı görülmektedir.

Parçalı doğrusal üyelik fonksiyonunun ve minimum operatörünün kullanıldığı, önerilen bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yöntemi, etken çözüm¹ üreten bir yöntemdir [Hannan, 1981]. Minimum operatörünün kullanıldığı durumlarda çözümün maksimize edilmesinin neden her zaman etken çözüm verdiği, Zimmermann tarafından açıklanmıştır [Zimmermann, 1978].

Çizelge 6.2 'de aynı problemin farklı yaklaşımlarla çözülerek elde edilen sonuçları verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında, problemin Zimmerman'ın yöntemiyle, amaç programlama ile ve her bir amaç fonksiyonu için ayrı ayrı doğrusal programlama ile çözüldüğü görülmektedir. Amaç programlama ve doğrusal programlama ile yapılan çözümlerde, amaç fonksiyonlarının bulanık olmadığı ve ağırlıklı ortalama yöntemiyle bulanıklığı giderilmiş talep miktarlarının kesin talep miktarları olduğu varsayılmıştır. Çizelge incelendiğinde, önerilen yöntem kullanılarak elde edilen etken çözümün, diğer yöntemlerle elde edilenlere kıyasla, her iki amaç fonksiyonu için eşzamanlı olarak daha iyi sonuçlar verdiği ve bu tarz problemlerde kullanılmaya elverişli olduğu görülmektedir.

Pratikte, her bir amaç fonksiyonu için elde edilen tek amaçlı doğrusal programlama çözümleri genellikle amaç fonksiyonu değerlerinin olası aralıklarının belirlenmesinde bir başlangıç noktası olarak kullanılırlar. Amaç fonksiyonları için belirlenen değer aralıkları, tek amaçlı doğrusal programlama modellerinin çözümü sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değerlerini kapsamalıdır. Parçalı doğrusal üyelik fonksiyonlarının en önemli avatajı ise gerçek hayattaki karar vericinin amaçlara ilişkin öznel düşünme tarzını iyi yansıtırken işlem kolaylığı da sağlamasıdır.

Önerilen yöntem, Hannan'ın bulanık programlama metoduna dayanmaktadır. Bu metod, bulanık kümeleri mantıksal “ve” işlemleri kullanarak birleştiren insanoğlunun karar sürecini en uygun şekilde ifade eden operatörün minimum operatörü olduğunu

¹ . “ $\bar{X}$ ”, uygun çözüm alanında tanımlı bir vektör olmak üzere, $z_g(\bar{X})$ ancak ve ancak tüm amaç fonksiyonları (g) için $z_g(x) \leq z_g(\bar{X})$ ve en az bir amaç fonksiyonu için $z_g(x) < z_g(\bar{X})$ şartlarını sağlayan başka bir x uygun çözümü bulunmuyorsa etken çözümdür (amaç fonksiyonlarının minimizasyon olduğu durum için)

varsaymaktadır. Söz konusu metot ayrıca iki veya daha fazla üyelik fonksiyonunun maksimize edilmesinin en iyi yolunun, minimum üyelik derecesinin maksimizasyonu olduğunu da temel almaktadır. Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yöntemi, genel olarak, karar verici, üyelik fonksiyonlarının optimum değerlerinin yaklaşık olarak eşit olmasını istediğinde veya minimum operatörünün kullanılmasının durumu iyi temsil ettiğini düşündüğünde diğer yöntemlere tercih edilebilir.

Çizelge 6.2. Problemin farklı modellerle çözüm sonuçları

	Amaç fonksiyonu sayısı	Amaç fonksiyonu	Talep miktarı	Amaç fonksiyonları	L	Toplam maliyet (z_1)	Toplam mesafe (z_2)
Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama	çok amaçlı	bulanık	bulanık	max L	0,9494	168 990 400 pb.	98 236 740 km
Zimmermann	çok amaçlı	bulanık	bulanık	max L	0,9155	169 001 600 pb.	97 600 640 km
Amaç programlama	çok amaçlı	bulanık değil	bulanık değil	$\min (d_1^+ + d_2^+)$	-	169 270 800 pb.	95 471 620 km
Doğrusal programlama (min z_1)	tek amaçlı	bulanık değil	bulanık değil	min z_1	1	168 990 400 pb.	98 355 290 km
Doğrusal programlama (min z_2)	tek amaçlı	bulanık değil	bulanık değil	min z_2	1	189 762 400 pb.	95 471 620 km

7. SONUÇ

Günümüz iş dünyasında işletmeler, rekabet avantajı elde etmek için tedarikçi firmaların yanısıra, ürettikleri ürünlerin dağıtımından, satışından, hatta satış sonrası hizmetlerinden sorumlu işletmelerle bir bütün olarak hareket etmek, tüm bu süreçleri içeren bütünleşik planlar yapmak ve gerekli işbirliklerini oluşturmak zorundadırlar. İşte bu düşünceden ortaya çıkan “tedarik zinciri” kavramı, hammaddeden son müşteriye gelinceye kadar malların akışı ve dönüşümü ile ilişkili faaliyetlerin ve ilgili bilgi akışlarının tümü olarak tanımlanmaktadır.

Gerçek hayatta karşılaşılan tedarik zincirleri belirsiz bir ortamda faaliyet gösterirler. Tedarik zincirinin elemanları arasındaki ilişkilerin insanlar tarafından yürütülen faaliyetlere bağlı olması, gelişmekte olan tedarik zinciri sistemlerinde başlıca belirsizlik nedenlerinden birisidir. Bunun yanısıra, tedarik zincirinin bütünleşik yapısı, sistemde kullanılan gerçek veri sayısını, dolayısıyla sistemin karmaşıklığını büyük ölçüde artırmaktadır. Sistemin karmaşıklığının artması, insanoğlunun, o sistemin davranışını kesin ve anlamlı bir şekilde ifade edebilme yeteneğinin azalmasına neden olmaktadır.

Geleneksel matematiksel programlama modellerinde, ele alınan sistem bulanık bir yapıda olsa veya belirsizlikler içerse bile, karar vericinin elindeki tüm bilgilerin kesin ve tam olması gerekmektedir. Oysa ki gerçek tedarik zinciri planlama problemlerinde karar verici, birbiriyle çelişen amaçları bulanık istek ve tatmin düzeylerinde birlikte optimize etmek zorundadır. Buna ek olarak problemde kullanılan parametreler, genellikle veri eksikliği ya da planlama dönemi içinde gerekli verilere erişilememesi yüzünden belirsizdir. Bulanık küme teorisi, gerçek hayatta karşılaşılan belirsizliklerin tanımlanmasında ve planlamada ele alınmasında kullanılabilecek uygun ve yararlı bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bulanık matematiksel programlama ise bulanık küme teorisine dayanan karar verme yaklaşımlarından birisidir.

Bu çalışmada, bulanık bir ortamda faaliyet gösteren bir tedarik zincirinin satın alma, üretim, depolama ve dağıtım fonksiyonlarının, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli kullanılarak, altı planlama dönemi için bütünleşik bir şekilde planlanması amaçlanmıştır. Toplam maliyetlerin (tedarik, dolum, stoklama ve taşıma maliyetleri toplamı) ve toplam taşıma mesafelerinin minimizasyonunun amaçlandığı modelde, ana talep merkezlerine ilişkin talep miktarları ve karar vericinin amaç fonksiyonlarına ilişkin istek düzeyleri bulanık olarak ele alınmıştır. Modelin çözümünde, Wang ve Liang tarafından yapılan çalışmada kullanılan, Hannan'ın bulanık amaç programlama yöntemi ile Bellman ve Zadeh'in bulanık karar verme yöntemini birleştiren yöntem esas alınmıştır [Wang ve Liang, 2004; Hannan, 1981; Bellman ve Zadeh, 1970]. Bulanık amaçların ifade edilmesinde parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları, bulanık kümelerin birleştirilmesinde ise minimum operatörü kullanılmıştır. Bulanık çok amaçlı model, sapma değişkenlerinin ve bir yardımcı değişkenin modele ilave edilmesiyle, eşdeğer bir doğrusal programlama modeline çevrilebilmiş ve standart simpleks yöntemi ile çözülebilmektedir.

Tez kapsamında ele alınan problem, Zimmermann'ın yöntemi, amaç programlama ve geleneksel tek amaçlı doğrusal programlama yöntemleri ile de çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Amaç fonksiyonlarının ve talep miktarlarının bulanık olarak ele alındığı ve Zimmermann'ın yöntemi ile çözüm yapıldığı durumda, katlanılacak toplam maliyet 169 001 600 pb, taşımalarda kat edilecek toplam mesafe ise 97 600 640 km olarak bulunmuş, bu sonuçlar karşısında karar vericinin tatmin düzeyinin %91,5'te kaldığı gözlenmiştir. Amaç programlama ve doğrusal programlama ile yapılan çözümlerde, ağırlıklı ortalama yöntemiyle bulanıklığı giderilmiş talep miktarlarının kesin talep miktarları olduğu varsayılmıştır. Amaç fonksiyonlarının bulanık olarak ele alınmadığı amaç programlama ile yapılan çözümün yanısıra, problemin tek amaçlıymış gibi düşünülerek her iki amaç fonksiyonu için klasik doğrusal programlama ile ayrı ayrı çözüldüğünde elde edilen sonuçlar da incelenmiştir. Önerilen metodun gerçek hayattaki problemlere kolay uygulanabildiği ve bu tarz problemlerde etken çözüm üretmek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Paksoy, T., “A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks”, ***Computers and Industrial Engineering***, 51: 197-216 (2006)

Beamon, B. M., “Supply chain design and analysis: models and methods”, ***International Journal of Production Economics***, 55 (3): 281-294 (1998)

Bellman, R. E., Zadeh, L. A., “Decision making in a fuzzy environment”, ***Management Science***, 17: 141-164 (1970)

Bilgen, B. and Özkarahan, İ., “A mixed-integer linear programming model for bulk grain blending and shipping”, ***International Journal of Production Economics***, 107 (2): 555-571 (2007)

Bylka, S., “A dynamic model for the single-vendor, multi-buyer problem”, ***International Journal of Production Economics***, 59: 297-304 (1999)

Chanas, S. and Kuchta, D., “Fuzzy integer transportation problem”, ***Fuzzy Sets and Systems***, 98: 291-298 (1998)

Chen, Z.-L., “Integrated production and distribution operations: taxonomy, models and review”, Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business Era, 1st ed., D. Simchi-Levi, S.D. Wu ve Z.-J. Shen, ***Kluwer Academic Publishers***, New Jersey, 412-444 (2004)

Chen, S.-P. and Chang, P.-C., “A mathematical programming approach to supply chain models with fuzzy parameters”, ***Engineering Optimization***, 38 (6): 647-669 (2006)

Chen, C.-L. and Lee, W.-C., “Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices”, ***Computers and Chemical Engineering***, 28: 1131-1144 (2004)

Chopra, S. and Meindl, P., “Supply chain management, 2nd edition”, ***Prentice Hall***, New Jersey, 4-7, 77-90 (2004)

Çapar, İ., Ulengin, F. and Reisman, A., “A taxonomy of supply chain management literature”, ***10 th World Conference on Transport Research (WCTRS)***, İstanbul, 64-68 (2004)

Dhaenens-Flipo, C. and Finke, G., “An integrated model for an industrial production–distribution problem”, ***IIE Transactions***, 33: 705-715 (2001)

Ekşioğlu, S. D., Ekşioğlu, B. and Romeijn, H. E., “A lagrangean heuristic for integrated production and transportation planning problems in a dynamic, multi-item, two-layer supply chain”, *IIE Transactions*, 39: 191-201 (2007)

El-Wahed, A.F.A., “A multi-objective transportation problem under fuzziness”, *Fuzzy Sets and Systems*, 117: 27-33 (2001)

El-Wahed, W. F. A. and Lee, S. M., “Interactive fuzzy goal programming for multi-objective transportation problems”, *Omega*, 34: 158-166 (2006)

Erengüç, S. S., Simpson, N. C. and Vakharia, A. J., “Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review”, *European Journal of Operational Research*, 115: 219-236 (1999)

Farrag, M. A., El-Metwally, M. M. and El-Bages, M. S., “A new model for distribution system planning”, *Electrical Power and Energy Systems*, 21: 523-531 (1999)

Fazel Zarandi, M.H., Türkşen, I.B. and Saghiri, S., “Supply Chain: Crisp and Fuzzy Aspects”, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 12 (3): 423-435 (2002)

Garcia, J. M., Lozano, S. and Canca, D., “Coordinated scheduling of production and delivery from multiple plants”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20: 191-198 (2004)

Gen, M. and Syarif, A., “Hybrid genetic algorithm for multi-time period production-distribution planning”, *Computers and Industrial Engineering*, 48: 799-809 (2005)

Handfield, R. and Nichols, E., “Introduction to supply chain management, 2nd ed.”, *Prentice Hall*, New Jersey, 1-5 (1999)

Hannan, E. L., “Linear programming with multiple fuzzy goals”, *Fuzzy Sets and Systems*, 6: 235-248 (1981)

Hu, C.-F. and Fang, S.-C. “Solving fuzzy inequalities with piecewise linear membership functions”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 7 (2): 230-235 (1999)

Hussein, M. L., “Complete solutions of multiple objective transportation problems with possibilistic coefficients”, *Fuzzy Sets and Systems*, 93: 293-299 (1998)

Kanyaklar, A. P. and Adil, G. K., “An integrated aggregate and detailed planning in a multi-site production environment using linear programming”, *International Journal of Production Research*, 43 (20): 4431-4454 (2005)

Kim, T., Hong, Y. and Chang, S. Y., “Joint economic procurement – production - delivery policy for multiple items in a single-manufacturer, multiple-retailer system”, *International Journal of Production Economics*, 103: 199-208 (2006)

Lai, Y. J. and Hwang, C. L., “A new approach to some possibilistic linear programming problems”, *Fuzzy Sets and Systems*, 49: 121-133 (1992)

Lee, Y. H. and Kim, S. H., “Production–distribution planning in supply chain considering capacity constraints”, *Computers and Industrial Engineering*, 43: 169-190 (2002)

Li, L. and Lai, K. K., “A fuzzy approach to the multi objective transportation problem”, *Computers and Operations Research*, 27: 43-57 (2000)

Liang, T. F., “Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming”, *Fuzzy Sets and Systems*, 157: 1303-1316 (2006)

Min, H. and Zhou, G., “Supply chain management: past, present and future”, *Computers and Industrial Engineering*, 43: 231-249 (2002)

Mokashi, S. D. and Kokossis, A. C., “Application of dispersion algorithms to supply chain optimization”, *Computers and Chemical Engineering*, 27: 927-949 (2003)

Nishi, T., Konishi, M. and Ago, M., “A distributed decision making system for integrated optimization of production scheduling and distribution for aluminum production line”, *Computers and Chemical Engineering*, 31 (10): 1205-1221 (2007)

Owen, S. H. and Daskin, M. S., “Strategic facility location: a review”, *European Journal of Operational Research*, 111: 423-447 (1998)

Özdamar, L. and Yazgaç, T. “A hierarchical planning approach for a production-distribution system”, *International Journal of Production Research*, 37 (16): 3759-3772 (1999)

Petrovic, D., Roy, R. and Petrovic, R., “Supply chain modelling using fuzzy sets”, *International Journal of Production Economics*, 59: 443-453 (1999)

Pundoor, G., “Integrated production-distribution scheduling in supply chains”, Doktora Tezi, *Faculty of the Graduate School of the University of Maryland*, College Park, 1-2 (2005)

Rejowski, R. and Pinto, J. M. (2003), “Scheduling of a multiproduct pipeline system”, *Computers and Chemical Engineering*, 27: 1229-1246 (2003)

Sarmiento, A. M. and Nagi, R., “A review of integrated analysis of production-distribution systems”, *IIE Transactions*, 31: 1061-1074 (1999)

Schulz, E. P., Diaz, M. S. and Bandoni, J. A., "Supply chain optimization of large-scale continuous processes", *Computers and Chemical Engineering*, 29: 1305-1316 (2005)

Shih, L.-H., "Planning of fuel coal imports using a mixed integer programming method", *International Journal of Production Economics*, 51: 243-249, (1997)

Shih, L.-H., "Cement transportation planning via fuzzy linear programming", *International Journal of Production Economics*, 58: 277-287 (1999)

Sivri, F., "İşletmelerde tedarik zinciri yönetimi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Üretim Yönetimi ve Endüstri İşletmeciliği Programı*, İzmir, 8 (2003)

Stevens, G. C., "Integrating the supply chain", *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 19: 3-8 (1989)

Sugeno M. and Yasukawa T., "A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1 (1): 7-31 (1993)

Tanaka, H., Ichihashi, H. and Asai, K., "A formulation of fuzzy linear programming problem based on comparison of fuzzy numbers", *Control Cybernet*, 13: 185-194 (1984)

Tsiakis, P., Shah, N. and Pantelides, C. C., "Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 40: 3585-3604 (2001)

Türkşen, I. B. and Fazel Zarandi, M. H. "Production planning and scheduling: Fuzzy and crisp approaches", Practical Applications of Fuzzy Technologies, *Kluwer Academic Publisher*, Boston, 479-529 (1999)

Verma, R., Biswal, M. P. and Biswas, A., "Fuzzy programming technique to solve multi-objective transportation problems with some non-linear membership functions", *Fuzzy Sets and Systems*, 91: 37-43 (1997)

Vidal, C. J. and Goetschalckx, M. "Strategic production-distribution models: a critical review with emphasis on global supply chain models", *European Journal of Operational Research*, 98: 1-18 (1997)

Wang, W., Fung, R. Y. K. and Chai, Y., "Approach of just-in-time distribution requirements planning for supply chain management", *International Journal of Production Economics*, 91: 101-107 (2004)

Wang, R.-C. and Liang, T.-F., "Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning", *Computers and Industrial Engineering*, 46: 17-41 (2004)

Wang, R.-C. and Liang, T.-F., “Aggregate production planning with multiple fuzzy goals”, *International journal of advanced manufacturing technology*, 25: 589-597 (2005)

Xie, Y., Petrovic, D. and Burnham, K., “A heuristic procedure for the two-level control of serial supply chains under fuzzy customer demand”, *International Journal of Production Economics*, 102: 37-50 (2006)

Yılmaz, P., “Strategic level three-stage production distribution planning with capacity expansion”, Yüksek Lisans Tezi, *Sabancı University Graduate School of Engineering and Natural Sciences*, İstanbul, 1-20 (2004)

Zadeh, L.A., “Fuzzy sets”, *Information and Control*, 8: 338–353 (1965)

Zadeh L.A., “Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 3 (1): 28 - 44 (1973)

Zimmermann, H.-J., “Description and optimization of fuzzy systems”, *International Journal of General Systems*, 2: 209-215 (1976)

Zimmermann, H.-J., “Fuzzy programming and linear programming with several objective functions”, *Fuzzy Sets and Systems*, 1: 45-56 (1978)

Zimmermann, H.-J., “Fuzzy sets, decision making and expert systems”, *Kluwer Academic Publishers*, Boston, Dordrecht, Lancaster, 1-10 (1987)

Zimmermann, H.-J., “Fuzzy set theory and its applications, 3rd ed.”, *Kluwer Academic Publishers*, Boston, Dordrecht, 1-5, 62 (1996)

EKLER

EK-1 Eşdeğer doğrusal programlama modelinin türetilişi

Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama probleminin çözümü için oluşturulan eşdeğer doğrusal programlama modeli, aşağıda açıklandığı şekilde elde edilmiştir [Liang, 2006].

Adım 1: Her bir amaç fonksiyonu (z_g , $g = 1, 2$) için birkaç amaç fonksiyonu değerine ilişkin üyelik dereceleri ($\mu(z_g)$) karar verici tarafından aşağıda gösterildiği şekilde belirlenir.

Çizelge 1.1. Amaç fonksiyonu değerlerine ilişkin üyelik derecelerinin belirlenmesi

z_1	$> X_{10}$	X_{10}	X_{11}	X_{12}	$\dots$	X_{1P}	$X_{1, P+1}$	$< X_{1, P+1}$
$\mu(z_1)$	0	0	q_{11}	q_{12}	$\dots$	q_{1P}	1	1
z_2	$> X_{20}$	X_{20}	X_{21}	X_{22}	$\dots$	X_{2P}	$X_{2, P+1}$	$< X_{2, P+1}$
$\mu(z_2)$	0	0	q_{21}	q_{22}	$\dots$	q_{2P}	1	1

Not: $0 \leq q_{ge} \leq 1.0$, $q_{ge} \leq q_{g, e+1}$, $g = 1, 2$ $e = 1, 2, \dots, P$

Adım 2: Her bir amaç fonksiyonu için (z_g , $\mu(z_g)$) noktaları kullanılarak, parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları çizilir.

Adım 3: Üyelik fonksiyonu $f_g(z_g)$ ($g = 1, 2$) aşağıdaki forma çevrilir.

$$\alpha_{ge} = \frac{|t_{g, e+1}| - |t_{ge}|}{2}$$

$$\beta_g = \frac{t_{g, P+1} + t_{g1}}{2}$$

$$\gamma_g = \frac{S_{g, P+1} + S_{g1}}{2} \quad \text{olmak üzere,}$$

$$\mu(z_g) = \sum_{e=1}^{Pg} \alpha_{ge} |z_g - X_{ge}| + \beta_g z_g + \gamma_g \quad g = 1, 2 \quad (1.1)$$

EK-1 (Devam) Eşdeğer doğrusal programlama modelinin türetilişi

Burada, t_{gr} , $X_{g, r-1}$ ve X_{gr} arasında kalan doğru parçasının eğimi, S_{gr} ise bu doğru parçasının uzantısının y eksenini kestiği nokta olmak üzere, parçalı doğrusal üyelik fonksiyonundaki her $X_{g, r-1} \leq z_g \leq X_{gr}$ doğru parçası için $f_g(z_g) = t_{gr} z_g + S_{gr}$ olduğu varsayılmıştır.

Adım 4: X_{ge} , g. amaç fonksiyonunun e. noktadaki değeri olmak üzere, e. noktadaki sapma değişkenleri (d_{ge}^- , d_{ge}^+) modele dâhil edilir.

$$d_{ge}^+ = \begin{cases} z_g - X_{ge} & z_g - X_{ge} \geq 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$d_{ge}^- = \begin{cases} X_{ge} - z_g & z_g - X_{ge} < 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

olarak tanımlandığında,

$$(d_{ge}^+) \cdot (d_{ge}^-) = 0 \quad (1.2)$$

$$z_g - X_{ge} = d_{ge}^+ - d_{ge}^- \quad (1.3)$$

$$|z_g - X_{ge}| = d_{ge}^+ + d_{ge}^- \quad (1.4)$$

eşitlikleri yazılabilir.

Eş.1.4, Eş.1.1'de yerine konduğunda aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$z_g - X_{ge} = d_{ge}^+ - d_{ge}^-$$

$$(d_{ge}^+) \cdot (d_{ge}^-) = 0$$

$$d_{ge}^+ \geq 0 \quad \text{ve}$$

$$d_{ge}^- \geq 0 \quad \text{iken,}$$

EK-1 (Devam) Eşdeğer doğrusal programlama modelinin türetilişi

$$\mu(z_g) = \sum_{e=1}^{Pg} \alpha_{ge} (d_{ge}^+ + d_{ge}^-) + \beta_g z_g + \gamma_g \quad g = 1, 2 \quad (1.5)$$

Eş.1.5'teki tüm üyelik fonksiyonlarının ($\mu(z_g)$) konkav ve parçalı doğrusal olması durumunda Eş.1.2 kendiliğinden sağlanmakta ve dolayısıyla böyle bir koşula gerek kalmamaktadır. Başka bir deyişle, orjinal modelde tüm amaçlar ve kısıtlar doğrusal iken tüm üyelik fonksiyonları konkav parçalı doğrusal ise probleme standart formda bir doğrusal programlama modeli çözülerek çözüm bulunabilir [Hu ve Fang, 1999].

Adım 5: Yardımcı değişken L'nin de modele dâhil edilmesiyle problem, tüm bulanık kümeleri birleştirmek için minimum operatörü kullanılarak, eşdeğer bir doğrusal programlama problemine dönüştürülür. Buradaki “L”, karar vericinin tüm bulanık amaçlara ilişkin toplam tatmin düzeyi olarak tanımlanabilir.

Tez kapsamında yapılan uygulama için kurulan modele eşdeğer doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi olacaktır:

Max L

s.t.

$$L \leq \sum_{e=1}^{Pg} \alpha_{ge} (d_{ge}^+ + d_{ge}^-) + \beta_g z_g + \gamma_g \quad (g = 1, 2) \quad (1.6)$$

$$z_g + d_{ge}^- - d_{ge}^+ = X_{ge} \quad (g = 1, 2) \quad (e = 1, 2, \dots, P) \quad (1.7)$$

$$\sum_{t=1}^6 Q_{6t} \leq 10\,000 \quad (1.8)$$

EK-1 (Devam) Eşdeğer doğrusal programlama modelinin türetilişi

$$\sum_{m=1}^{12} X_{imt} \leq S_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.9)$$

$$\sum_{k=1}^{82} Z_{ikt} \leq W_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.10)$$

$$\sum_{k=1}^{82} Y_{jkt} \leq U_j \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.11)$$

$$\sum_{i=1}^6 Z_{ikt} + \sum_{j=1}^6 Y_{jkt} = \tilde{D}_{kt} \quad (k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.12)$$

$$\sum_{i=1}^6 X_{imt} = AX_{mt} \quad (m = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.13)$$

$$AX_{1t} = BX_{1t} \quad (1.14)$$

$$AX_{2t} = BX_{2t} \quad (1.15)$$

$$AX_{3t} = BX_{3t} \quad (1.16)$$

$$AX_{4t} = BX_{4t} \quad (1.17)$$

$$AX_{5t} = BX_{5t} \quad (1.18)$$

$$AX_{6t} = BX_{6t} \quad (1.19)$$

$$I_{it} = I_{i, t-1} + Q_{it} + BX_{it} - \sum_{m=1}^{12} X_{imt} - \sum_{k=1}^{82} Z_{ikt} \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.20)$$

$$X_{i7t} = DX_{i1t} \quad (1.21)$$

$$X_{i8t} = DX_{i2t} \quad (1.22)$$

$$X_{i9t} = DX_{i3t} \quad (1.23)$$

$$X_{i,10,t} = DX_{i4t} \quad (1.24)$$

$$X_{i,11,t} = DX_{i5t} \quad (1.25)$$

$$X_{i,12,t} = DX_{i6t} \quad (1.26)$$

$$N_{jt} = N_{j, t-1} + \sum_{i=1}^6 DX_{ijt} - \sum_{k=1}^{82} Y_{jkt} \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.27)$$

EK-1 (Devam) Eşdeğer doğrusal programlama modelinin türetilişi

$$X_{imt} \leq (AT_{imt}) (X_{imt}) \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (m = 1, 2, \dots, 12) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.28)$$

$$Y_{jkt} \leq (DM_{jkt}) (Y_{jkt}) \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.29)$$

$$Z_{ikt} \leq (IM_{ikt}) (Z_{ikt}) \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (k = 1, 2, \dots, 82) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.30)$$

$$F_i \leq I_{it} \leq G_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.31)$$

$$M_j \leq N_{jt} \leq L_j \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (t = 1, 2, \dots, 6) \quad (1.32)$$

$$I_{i0} = 0 \quad (1.33)$$

$$N_{i0} = 0 \quad (1.34)$$

$$X_{imt}, Y_{jkt}, Z_{ikt}, I_{it}, N_{jt}, Q_{it}, d_{11}^+, d_{11}^-, d_{12}^+, d_{12}^-, d_{21}^+, d_{21}^-, d_{22}^+, d_{22}^- \geq 0 \quad (1.35)$$

Çizelge 2.1. Talep merkezlerinin en kötümser (D_p), en olası (D_m) ve en iyimser (D_o) talep miktarları²

Mahaller	Talep Miktarı (ton)																	
	1.dönem			2.dönem			3.dönem			4.dönem			5.dönem			6.dönem		
	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do
1	467	503	518	726	756	786	723	804	836	594	652	685	668	751	841	737	752	797
2	127	129	140	71	79	80	113	115	127	94	99	103	118	128	137	122	124	130
3	709	788	835	624	709	794	780	804	860	778	786	841	829	864	950	825	859	868
4	211	237	246	195	214	227	249	260	269	231	236	243	257	276	281	252	280	300
5	463	492	532	448	471	485	437	496	561	444	483	545	470	497	562	442	466	498
6	8539	8713	9323	8195	8537	8964	8208	8686	9815	7615	8016	8657	7396	7547	7622	6490	7054	7901
7	1416	1445	1517	1198	1222	1302	982	1068	1100	908	1021	1113	813	903	962	869	905	1014
8	155	169	172	130	147	148	164	175	184	181	185	203	215	219	226	231	235	240
9	4678	4950	5099	4549	4642	4921	4781	4829	5071	4175	4304	4519	3586	4075	4442	3967	4048	4575
10	780	821	920	672	747	792	776	834	868	806	840	941	856	905	960	875	893	924
11	1513	1528	1651	1478	1493	1567	1470	1652	1668	1330	1478	1508	1448	1493	1508	1446	1476	1668
12	235	258	268	247	252	254	216	245	275	240	242	258	238	255	278	228	240	250
13	75	80	88	80	85	91	82	83	88	58	60	60	88	89	91	81	86	87
14	585	603	645	580	617	660	619	662	702	631	644	683	648	693	714	639	719	805
15	915	933	966	801	856	959	891	979	1019	870	926	944	909	928	974	810	857	908
16	188	196	222	178	180	198	195	203	209	172	196	221	206	211	224	194	213	227
17	2650	2761	3120	2484	2535	2662	2827	2855	2970	2562	2654	2734	2542	2648	2674	2577	2603	2629
18	240	256	264	223	242	254	243	253	255	226	251	274	265	276	293	233	242	257
19	475	534	561	470	490	509	548	574	643	523	547	580	532	572	640	557	593	652
20	135	149	156	116	129	138	165	166	176	148	151	158	159	166	169	146	164	168

¹ Çizelgedeki verilerin ondalık basamakları yuvarlanmıştır.

Çizelge 2.1. (Devam) Talep merkezlerinin en kötümser (D_p), en olası (D_m) ve en iyimser (D_o) talep miktarları

Mahaller	Talep Miktarı (ton)																	
	1.dönem			2.dönem			3.dönem			4.dönem			5.dönem			6.dönem		
	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o
21	111	117	127	104	108	112	107	109	115	102	104	106	94	97	110	92	93	97
22	434	443	460	405	422	477	397	436	454	398	421	436	356	396	408	365	384	407
23	119	121	122	120	122	132	115	116	125	114	115	123	103	105	110	98	100	104
24	47	48	54	38	43	47	52	53	54	46	50	55	56	59	63	53	55	55
25	239	256	272	211	232	256	235	242	264	214	232	249	198	215	230	197	211	230
26	1113	1136	1192	1009	1068	1121	1067	1089	1154	1007	1017	1139	916	954	1016	891	932	951
27	40	45	46	38	39	44	40	45	47	35	40	43	36	36	37	33	36	37
28	923	942	1008	877	904	922	922	1024	1106	898	935	1029	882	943	1000	938	978	1066
29	183	203	209	191	200	212	221	224	239	212	217	225	205	214	228	194	218	231
30	110	114	129	143	146	152	150	160	168	123	132	143	134	140	145	127	136	141
31	196	221	238	203	211	236	210	224	228	195	209	223	203	212	233	194	205	229
32	1682	1752	1909	1617	1758	1872	1744	1826	1881	1547	1629	1686	1442	1620	1701	1587	1620	1725
33	3046	3173	3490	2437	2552	2808	2063	2318	2596	1882	2115	2390	1779	1863	1975	1522	1586	1744
34	3619	3693	3878	3647	3684	3758	3978	4143	4475	3391	3551	3764	3376	3573	3752	3217	3459	3528
35	1177	1259	1410	1113	1171	1324	1113	1236	1273	992	1090	1144	1008	1028	1038	988	1008	1139
36	127	144	147	138	147	148	156	163	177	157	167	168	173	180	193	177	190	192
37	253	255	289	238	248	264	258	269	285	236	245	262	267	272	292	271	276	294
38	156	161	177	124	140	141	164	168	188	149	152	162	150	155	174	153	170	177
39	643	669	710	587	627	684	624	668	681	604	616	690	542	596	614	560	586	633
40	851	946	993	912	930	949	924	1038	1173	881	927	960	836	939	1024	891	928	993
41	247	264	266	349	364	398	374	396	400	297	311	331	363	370	392	338	359	384
42	202	220	235	204	208	233	221	246	268	228	232	253	228	254	261	238	248	257

Çizelge 2.1. (Devam) Talep merkezlerinin en kötümser (D_p), en olası (D_m) ve en iyimser (D_o) talep miktarları

Mahaller	Talep Miktarı (ton)																	
	1.dönem			2.dönem			3.dönem			4.dönem			5.dönem			6.dönem		
	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o
43	1755	1857	1987	1619	1669	1703	1774	1839	1875	1618	1703	1822	1648	1726	1898	1730	1765	1853
44	40	41	46	38	39	44	86	90	97	88	96	102	90	96	98	89	92	98
45	796	812	865	674	757	795	817	834	867	775	808	816	767	872	915	799	878	887
46	143	149	163	207	216	230	222	233	235	186	190	201	200	215	228	199	213	226
47	301	327	334	310	337	340	333	370	415	319	326	337	308	314	325	295	301	311
48	395	403	456	388	404	428	413	442	468	349	388	427	363	394	398	365	390	416
49	129	134	135	115	127	132	142	145	152	146	155	158	161	168	183	169	175	191
50	88	91	97	81	85	92	80	88	91	70	78	82	84	86	87	83	87	93
51	1102	1142	1234	1057	1079	1154	1079	1130	1209	1005	1026	1087	935	969	1018	949	968	1016
52	367	403	441	356	383	396	421	438	454	401	417	432	404	459	482	445	471	481
53	168	186	209	171	183	195	191	202	214	185	197	199	187	204	216	208	213	220
54	292	305	316	284	296	322	325	332	375	283	295	321	284	299	311	290	296	315
55	243	248	260	212	236	252	260	265	279	240	250	255	278	284	295	268	279	304
56	133	138	148	119	124	128	127	130	132	131	136	152	142	150	162	126	137	147
57	1622	1655	1762	1620	1696	1806	1677	1775	1837	1640	1802	1838	1712	1793	1918	1668	1784	1998
58	111	123	131	110	113	123	127	130	134	132	139	157	128	133	140	135	140	150
59	564	584	637	541	564	603	530	570	621	513	531	566	474	526	531	483	503	553
60	287	303	334	281	312	350	361	376	399	305	343	347	382	398	426	377	392	396
61	605	643	666	581	614	654	647	678	712	625	651	690	607	682	750	667	717	782
62	26	27	28	47	48	53	46	51	53	38	40	41	45	49	51	46	48	49
63	526	563	600	509	519	530	497	515	551	453	493	525	451	469	493	433	442	473
64	418	460	464	395	412	465	425	462	476	424	442	482	457	466	494	414	460	478

Çizelge 2.1 (Devam) Talep merkezlerinin en kötümser (D_p), en olası (D_m) ve en iyimser (D_o) talep miktarları

Mahaller	Talep Miktarı (ton)																	
	1.dönem			2.dönem			3.dönem			4.dönem			5.dönem			6.dönem		
	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o	D_p	D_m	D_o
65	160	166	175	153	156	158	147	157	178	148	151	162	142	145	164	140	145	157
66	325	332	375	300	330	351	329	374	404	343	359	370	380	384	403	337	378	405
67	326	345	362	334	341	344	359	372	406	332	343	374	336	356	363	335	349	382
68	259	279	284	267	278	303	281	296	325	287	299	317	287	305	316	314	324	363
69	468	478	495	431	468	478	514	535	562	470	522	574	572	583	653	660	673	707
70	660	741	790	594	668	688	733	764	855	683	697	711	709	743	757	698	727	756
71	231	241	263	214	225	245	218	239	244	206	226	238	206	229	259	202	219	235
72	102	111	119	101	107	114	116	121	123	116	121	128	119	122	131	101	104	108
73	317	324	362	273	289	304	298	304	315	266	279	289	243	253	283	217	227	256
74	344	351	375	300	333	340	362	383	406	340	357	361	374	381	406	349	388	419
75	336	350	385	333	347	359	354	398	418	362	377	411	369	405	445	388	404	440
76	95	100	102	105	108	115	98	102	103	101	105	108	101	105	107	103	107	118
77	40	44	46	39	40	44	40	41	43	37	39	41	35	37	41	35	35	37
78	1050	1094	1159	968	1075	1151	1044	1076	1151	945	1027	1079	898	966	975	901	934	1046
79	97	106	110	97	99	111	107	111	124	100	104	108	102	104	111	92	104	106
80	381	395	399	370	386	413	404	413	462	350	385	416	362	402	422	364	386	397
81	305	343	374	297	320	352	313	344	351	311	324	346	296	312	315	292	301	328
82	2285	2431	2479	2283	2330	2493	2380	2453	2772	2227	2320	2401	2259	2306	2467	2115	2324	2464

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.2. Talep merkezlerinin bulanıklığı giderilmiş talep miktarları

Talep merkezi	Talep Miktarı (ton)					
	1. dönem	2. dönem	3. dönem	4. dönem	5. dönem	6. dönem
1	499	756	796	648	752	757
2	130	78	117	99	128	124
3	783	709	809	794	873	855
4	234	213	260	236	274	279
5	494	470	497	487	503	467
6	8786	8551	8794	8056	7534	7101
7	1452	1232	1059	1017	898	917
8	167	144	175	187	219	235
9	4930	4673	4861	4319	4055	4123
10	831	742	830	851	906	895
11	1546	1503	1624	1458	1488	1503
12	256	252	245	245	256	240
13	81	85	84	59	89	85
14	607	618	662	648	689	720
15	936	864	971	920	933	858
16	199	183	202	196	212	212
17	2802	2548	2870	2652	2635	2603
18	255	241	252	251	277	243
19	529	490	581	549	576	597
20	148	128	168	151	165	162
21	118	108	110	104	99	93
22	444	428	433	419	391	384
23	121	124	118	116	106	101
24	49	43	53	50	59	55
25	256	233	244	232	215	212
26	1141	1067	1096	1036	958	929
27	44	40	44	40	36	36
28	949	903	1021	944	942	986
29	201	200	226	217	215	216
30	116	146	160	133	140	135
31	219	214	222	209	214	207
32	1766	1754	1821	1625	1604	1632
33	3204	2576	2322	2122	1868	1601
34	3712	3690	4171	3560	3570	3430
35	1271	1187	1222	1082	1026	1026
36	141	145	164	165	181	188
37	260	249	270	246	275	278
38	163	137	171	153	157	168
39	672	630	663	626	590	590
40	938	930	1041	925	936	933
41	261	367	393	312	373	360

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.2. (Devam) Talep merkezlerinin bulanıklığı giderilmiş talep miktarları

Talep merkezi	Talep Miktarı (ton)					
	1. dönem	2. dönem	3. dönem	4. dönem	5. dönem	6. dönem
42	219	211	246	235	251	248
43	1861	1667	1834	1709	1741	1774
44	42	40	90	95	95	92
45	818	750	836	804	861	867
46	150	217	231	191	214	213
47	324	333	372	327	315	301
48	411	405	441	388	389	390
49	133	125	145	154	169	177
50	92	85	87	77	86	87
51	1151	1088	1135	1033	972	973
52	403	381	438	417	453	469
53	187	183	202	195	203	213
54	305	298	338	297	299	298
55	249	234	267	249	285	281
56	139	124	130	138	151	137
57	1667	1702	1769	1781	1800	1800
58	122	114	130	141	133	141
59	589	567	572	534	518	508
60	306	313	378	337	400	390
61	640	615	678	653	681	720
62	27	49	51	39	49	48
63	563	519	518	491	470	446
64	454	418	458	446	469	455
65	166	156	159	152	148	146
66	338	329	372	358	386	376
67	345	340	375	346	353	352
68	276	281	298	300	304	329
69	479	464	536	522	593	677
70	736	659	774	697	739	727
71	243	226	236	225	230	219
72	111	107	120	121	123	104
73	329	289	305	278	256	230
74	353	329	384	355	384	387
75	353	346	394	380	406	407
76	99	109	102	105	105	108
77	43	41	41	39	37	36
78	1097	1070	1083	1022	956	947
79	105	101	112	104	105	102
80	393	388	419	384	399	384
81	342	321	340	325	310	304
82	2414	2349	2494	2318	2325	2313

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.3. Ana ikmal tesislerindeki hammadde satın alımına ve tanker dolumuna ilişkin veriler¹

Ana ikmal tesisi	Tanker dolum kapasiteleri (ton/dönem)	Tanker dolum maliyetleri (pb/ton)	Hammadde maliyetleri (pb/ton)
A1	8000	3	395
A2	8000	3	405
A3	7000	3	400
A4	5000	3	405
A5	8000	3	395
A6	5000	3	410

Çizelge 2.4. Ana ikmal tesislerindeki ve dolum tesislerindeki tüp dolumuna ve LPG depolanmasına² ilişkin veriler

Ana ikmal tesisi / dolum tesisi	Tüp dolum kapasiteleri (ton/dönem)	Tüp dolum maliyetleri (pb/ton)	LPG stok kapasiteleri (ton)	Emniyet stoğu miktarları (ton)	Stok tutma maliyetleri (pb/dönem)
A1	10000	10	25000	10000	3
A2	11000	5	8000	3200	3
A3	6000	11	15000	6000	3
A4	8000	6	9000	3600	3
A5	8000	4	25000	10000	3
A6	7000	5	2000	800	3
T1	6000	6	1000	400	3
T2	4000	8	1000	400	3
T3	4000	5	500	200	3
T4	8000	5	1000	400	3
T5	4000	9	1000	400	3
T6	4000	7	2000	800	3

¹ Çizelgelerde, ana ikmal tesisleri “A1, A2, A3, A4, A5 ve A6”, dolum tesisleri ise “T1, T2, T3, T4, T5 ve T6” kodları ile belirtilmiştir.

² Tüm ana ikmal ve dolum tesislerinde başlangıç stoğu olmadığı belirtilmiştir.

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.5. Tesisler arası 1 ton LPG'yi tanker ile taşımanın maliyeti (ec_{im})¹ ve tesisler arası mesafeler²

Çıkış yapılan tesis	Varış yapılan tesis	Taşıma maliyetleri (pb / ton)	Mesafeler (km)
A1	A2	8	120
A1	A3	29	500
A1	A4	39	680
A1	A6	26	450
A1	T1	11	160
A1	T2	14	240
A1	T3	21	330
A1	T4	29	470
A1	T5	28	480
A3	A6	40	720
A3	T1	23	350
A3	T2	29	470
A3	T3	46	790
A3	T4	6	60
A3	T5	23	430
A4	A1	40	680
A4	A2	44	800
A4	A6	21	360
A4	T1	35	790
A4	T2	31	660
A4	T3	23	400
A5	A3	51	1040
A5	A4	40	800
A5	A6	32	550
A5	T1	56	1050
A5	T2	42	780
A5	T5	39	730
A5	T6	30	500
A6	A4	22	360
A6	T1	31	560
A6	T2	19	320
A6	T3	20	310

¹ Maliyetler 6 dönem için de aynıdır.² Çizelgede sadece taşıma yapılabilen yerler için maliyetler ve mesafeler verilmiştir.

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.6. Ana ikmal tesislerinden ana talep merkezlerine 1 ton LPG'yi tüplere doldurulmuş olarak taşıma maliyeti (fc_{ik}) ve ilgili mesafeler¹

Ana ikmal tesisi	Ana talep merkezi no	Taşıma maliyetleri (pb / ton)	Mesafeler (km)
A1	3	46	360
A1	6	51	370
A1	7	80	630
A1	9	75	580
A1	10	39	300
A1	11	24	160
A1	14	27	180
A1	15	67	510
A1	16	25	150
A1	17	57	450
A1	18	59	490
A1	19	69	600
A1	20	70	560
A1	26	36	240
A1	32	63	510
A1	35	60	480
A1	37	60	430
A1	41	10	20
A1	43	37	270
A1	45	59	440
A1	48	83	690
A1	54	14	60
A1	55	79	670
A1	57	77	630
A1	64	54	400
A1	67	36	250
A1	71	56	440
A1	74	43	360
A1	77	19	90
A1	78	46	320
A1	81	21	130
A1	82	15	80
A2	22	29	220
A2	34	13	50
A2	39	31	190
A2	59	22	130
A3	3	48	380
A3	7	64	510
A3	9	23	160
A3	10	29	210
A3	11	58	460
A3	15	56	460
A3	16	50	350

¹ Çizelgede sadece taşıma yapılabilen yerler için maliyetler ve mesafeler verilmiştir.

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.6. (Devam) Ana ikmal tesislerinden ana talep merkezlerine 1 ton LPG'yi tüplere doldurulmuş olarak taşıma maliyeti (fc_{ik}) ve ilgili mesafeler

Ana ikmal tesisi	Ana talep merkezi no	Taşıma maliyetleri (pb / ton)	Mesafeler (km)
A3	17	39	270
A3	20	38	290
A3	26	58	460
A3	32	59	460
A3	35	16	60
A3	41	57	490
A3	42	80	600
A3	43	53	390
A3	45	16	60
A3	48	38	270
A3	54	69	520
A3	64	38	270
A3	70	93	710
A3	77	52	410
A3	82	64	490
A4	1	98	750
A4	2	90	680
A4	4	84	720
A4	5	25	140
A4	6	52	420
A4	8	69	550
A4	12	87	650
A4	13	102	820
A4	14	62	490
A4	18	49	340
A4	19	27	180
A4	21	91	720
A4	23	70	530
A4	24	52	390
A4	25	70	540
A4	27	77	700
A4	28	29	210
A4	29	47	350
A4	30	120	1120
A4	31	109	890
A4	33	83	740
A4	36	83	740
A4	37	44	300
A4	38	53	460
A4	40	52	400
A4	44	71	560
A4	46	75	620
A4	47	94	820
A4	49	92	740

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.6. (Devam) Ana ikmal tesislerinden ana talep merkezlerine 1 ton LPG'yi tüplere doldurulmuş olarak taşıma maliyeti (fc_{ik}) ve ilgili mesafeler

Ana ikmal tesisi	Ana talep merkezi no	Taşıma maliyetleri (pb / ton)	Mesafeler (km)
A4	50	63	460
A4	51	63	560
A4	52	23	150
A4	53	50	420
A4	55	8	10
A4	56	114	910
A4	57	26	180
A4	58	45	320
A4	60	32	210
A4	61	43	330
A4	62	60	510
A4	63	91	790
A4	65	112	960
A4	66	37	290
A4	67	66	500
A4	68	63	550
A4	69	53	420
A4	71	49	350
A4	72	92	820
A4	73	122	990
A4	74	58	420
A4	75	78	650
A4	76	107	830
A4	78	52	410
A4	79	90	750
A4	80	84	780
A4	81	67	550
A5	1	18	100
A5	2	42	290
A5	4	104	930
A5	5	80	650
A5	8	115	940
A5	12	78	580
A5	13	79	690
A5	21	62	480
A5	23	53	440
A5	24	85	690
A5	25	95	750
A5	27	26	160
A5	28	85	730
A5	29	102	830
A5	30	95	810
A5	31	17	100
A5	33	29	170
A5	36	107	960

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.6. (Devam) Ana ikmal tesislerinden ana talep merkezlerine 1 ton LPG'yi tüplere doldurulmuş olarak taşıma maliyeti (fc_{ik}) ve ilgili mesafeler

Ana ikmal tesisi	Ana talep merkezi no	Taşıma maliyetleri (pb / ton)	Mesafeler (km)
A5	38	48	330
A5	40	62	470
A5	42	61	450
A5	44	49	340
A5	46	22	150
A5	47	63	490
A5	49	91	690
A5	50	52	380
A5	51	40	300
A5	52	88	710
A5	53	118	950
A5	56	82	660
A5	58	59	460
A5	60	69	530
A5	61	107	930
A5	62	75	580
A5	63	40	300
A5	65	101	850
A5	66	62	510
A5	68	44	350
A5	69	89	820
A5	70	50	390
A5	72	69	580
A5	73	79	660
A5	75	112	970
A5	76	127	1040
A5	79	27	180
A5	80	13	40
A6	5	36	270
A6	6	17	80
A6	18	22	110
A6	19	29	170
A6	37	34	220
A6	38	34	230
A6	40	19	100
A6	42	49	330
A6	50	31	190
A6	52	62	510
A6	55	47	350
A6	57	48	410
A6	58	49	370
A6	60	46	320
A6	66	26	150
A6	68	30	200
A6	71	10	10

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.7. Dolum tesislerinden ana talep merkezlerine 1 ton LPG'yi tüplere doldurulmuş olarak taşıma maliyeti (gc_{jk}) ve ilgili mesafeler¹

Dolum tesisi	Ana talep merkezi no	Taşıma maliyetleri (pb / ton)	Mesafeler (km)
T1	10	23	150
T1	11	20	120
T1	16	8	10
T1	17	37	290
T1	26	25	160
T1	41	23	140
T1	43	27	190
T1	45	39	280
T1	54	28	180
T1	77	15	70
T1	82	26	150
T2	3	29	180
T2	11	16	80
T2	15	41	320
T2	26	10	10
T2	32	46	320
T2	43	16	80
T3	14	22	150
T3	37	18	100
T3	57	44	300
T3	67	25	140
T3	74	15	70
T3	78	10	10
T3	81	29	200
T4	9	21	120
T4	20	33	250
T4	35	9	10
T4	45	12	30
T4	48	31	220
T4	64	32	210
T5	3	25	140
T5	7	24	150
T5	15	11	30
T5	20	23	150
T5	32	10	30
T5	42	38	290
T5	43	34	210
T5	48	42	290

¹ Çizelgede sadece taşıma yapılabilen yerler için maliyetler ve mesafeler verilmiştir.

EK-2 (Devam) Modelde kullanılan parametreler

Çizelge 2.7. (Devam) Dolum tesislerinden ana talep merkezlerine 1 ton LPG'yi tüplere doldurulmuş olarak taşıma maliyeti (gc_{jk}) ve ilgili mesafeler¹

Dolum tesisi	Ana talep merkezi no	Taşıma maliyetleri (pb / ton)	Mesafeler (km)
T5	64	22	140
T6	2	31	220
T6	4	56	460
T6	8	66	510
T6	12	24	150
T6	13	29	220
T6	21	10	10
T6	23	22	140
T6	24	44	320
T6	25	44	330
T6	28	69	560
T6	29	60	460
T6	30	54	420
T6	36	69	530
T6	44	36	240
T6	47	18	100
T6	49	43	300
T6	53	72	560
T6	56	30	190
T6	61	70	590
T6	62	30	200
T6	63	29	200
T6	65	54	370
T6	69	62	450
T6	72	20	110
T6	73	35	280
T6	75	65	550
T6	76	70	550

¹ Çizelgede sadece taşıma yapılabilen yerler için maliyetler ve mesafeler verilmiştir.

EK-3 Modelin çözümü sonucunda elde edilen çıktılar

Çizelge 3.1. Ana ikmal tesislerinin rafinerilerden alacağı veya dış piyasadan sağlayacağı LPG miktarı¹ (Q_{it})

Ana ikmal tesisi	Q_{it}					
	1.dönem	2.dönem	3.dönem	4.dönem	5.dönem	6.dönem
A1	28000	17253	18000	16744	16723	16236
A2	8617	5315	5838	5140	5069	4912
A3	19000	13000	13000	13000	13000	13000
A4	16600	7317	13000	12704	12468	11927
A5	21971	9841	10466	9319	9321	9110
A6	2800	5265	1407	0	0	528

Çizelge 3.2. Ana ikmal tesislerinin dönem sonu stok miktarları (I_{it})

Ana ikmal tesisi	I_{it}					
	1.dönem	2.dönem	3.dönem	4.dönem	5.dönem	6.dönem
A1	10000	10000	10000	10000	10000	10000
A2	3200	3200	3200	3200	3200	3200
A3	6000	6000	6000	6000	6000	6000
A4	3600	3600	3600	3600	3600	3600
A5	10000	10000	10000	10000	10000	10000
A6	800	800	800	800	800	800

Çizelge 3.3. Dolum tesislerinin dönem sonu stok miktarları (N_{jt})

Dolum tesisi	N_{jt}					
	1.dönem	2.dönem	3.dönem	4.dönem	5.dönem	6.dönem
T1	400	400	400	400	400	400
T2	400	400	400	400	400	400
T3	200	200	200	200	200	200
T4	400	400	400	400	400	400
T5	400	400	400	400	400	400
T6	800	800	800	800	800	800

¹ Çizelgedeki verilerin ondalık basamakları yuvarlanmıştır.

EK-3 (Devam) Modelin çözümü sonucunda elde edilen çıktılar

Çizelge 3.4. Ana ikmal tesislerinden dolum tesislerine taşınacak LPG miktarları¹
(DX_{ijt})

Ana ikmal tesisi	Dolum tesisi	DX_{ijt}					
		1.dönem	2.dönem	3.dönem	4.dönem	5.dönem	6.dönem
A1	T1	599	924	1033	1048	1118	1107
A1	T2	3530	2733	2930	2744	2700	2702
A1	T3	1911	1648	1737	1624	1615	1613
A1	T5	1959	959	1707	404	35	33
A3	T4	5232	4110	4856	3842	3601	3626
A3	T5	1768	2890	2144	3158	3399	3374
A5	T5	673	0	0	0	0	0
A5	T6	3298	2329	2486	2324	2387	2374

Çizelge 3.5. Bir ana ikmal tesisine diğer ana ikmal tesislerinden gelecek toplam LPG miktarı² (AX_{mt})

Ana ikmal tesisi	AX_{mt}					
	1.dönem	2.dönem	3.dönem	4.dönem	5.dönem	6.dönem
A1	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0
A6	5000	1735	5593	7000	7000	6472

¹ Çizelgedeki verilerin ondalık basamakları yuvarlanmıştır.

² Çizelgedeki verilerin ondalık basamakları yuvarlanmıştır.

EK-3 (Devam) Modelin çözümü sonucunda elde edilen çıktılar

Çizelge 3.6. Ana ikmal tesislerinden diğer ana ikmal tesislerine veya dolum tesislerine taşınacak LPG miktarları¹ (X_{imt})

Kaynak tesis	Hedef tesis	X_{imt}					
		1.dönem	2.dönem	3.dönem	4.dönem	5.dönem	6.dönem
A1	A6	0	1735	593	2181	2532	2545
A1	T1	599	924	1033	1048	1118	1107
A1	T2	3530	2733	2930	2744	2700	2702
A1	T3	1911	1648	1737	1624	1615	1613
A1	T5	1959	959	1707	404	35	33
A3	T4	5232	4110	4856	3842	3601	3626
A3	T5	1768	2890	2144	3158	3399	3374
A4	A6	5000	0	5000	4819	4468	3927
A5	T5	673	0	0	0	0	0
A5	T6	3298	2329	2486	2324	2387	2374

¹ Çizelgedeki verilerin ondalık basamakları yuvarlanmıştır.

EK-3 (Devam) Modelin çözümü sonucunda elde edilen çıktılar

Çizelge 3.7. Dolum tesislerinden ana talep merkezlerine taşınacak LPG miktarları¹
(Y_{jkt})

Dolum tesisi	Ana talep merk.	Y_{jkt}					
		1.dönem	2.dönem	3.dönem	4.dönem	5.dönem	6.dönem
T1	10	0	742	830	851	906	895
T1	16	199	183	202	196	212	212
T2	15	154	0	0	0	0	0
T2	26	1141	1067	1096	1036	958	929
T2	43	1835	1667	1834	1709	1741	1774
T3	37	260	249	270	246	275	278
T3	74	353	329	384	355	384	387
T3	78	1097	1070	1083	1022	956	947
T4	9	1732	1221	1731	971	689	726
T4	20	148	128	168	151	165	162
T4	35	1271	1187	1222	1082	1026	1026
T4	45	818	750	836	804	861	867
T4	48	411	405	441	388	389	390
T4	64	454	418	458	446	469	455
T5	7	1452	1232	1059	1017	898	917
T5	15	782	864	971	920	933	858
T5	32	1766	1754	1821	1625	1604	1632
T6	4	234	213	260	236	274	279
T6	12	256	252	245	245	256	240
T6	13	81	85	84	59	89	85
T6	21	118	108	110	104	99	93
T6	23	108	0	0	0	0	0
T6	25	256	233	244	232	215	212
T6	30	116	146	160	133	140	135
T6	36	0	0	0	0	0	78
T6	47	324	333	372	327	315	301
T6	49	133	125	145	154	169	177
T6	56	139	124	130	138	151	137
T6	62	27	49	51	39	49	48
T6	65	166	156	159	152	148	146
T6	72	111	107	120	121	123	104
T6	73	329	289	305	278	256	230
T6	76	99	109	102	105	105	108

¹ Çizelgedeki verilerin ondalık basamakları yuvarlanmıştır.

EK-3 (Devam) Modelin çözümü sonucunda elde edilen çıktılar

Çizelge 3.8. Ana ikmal tesislerinden ana talep merkezlerine taşınacak LPG miktarları¹ (Z_{ikt})

Ana ikmal tesisi	Ana talep merk.	Z_{ikt}					
		1.dönem	2.dönem	3.dönem	4.dönem	5.dönem	6.dönem
A1	3	783	709	809	794	873	855
A1	6	2497	2708	2924	2205	1977	1496
A1	10	831	0	0	0	0	0
A1	11	1546	1503	1624	1458	1488	1503
A1	14	607	618	662	648	689	720
A1	41	261	367	393	312	373	360
A1	43	26	0	0	0	0	0
A1	54	305	298	338	297	299	298
A1	67	345	340	375	346	353	352
A1	77	43	41	41	39	37	36
A1	81	342	321	340	325	310	304
A1	82	2414	2349	2494	2318	2325	2313
A2	22	444	428	433	419	391	384
A2	34	3712	3690	4171	3560	3570	3430
A2	39	672	630	663	626	590	590
A2	59	589	567	572	534	518	508
A3	9	3198	3452	3130	3348	3365	3397
A3	17	2802	2548	2870	2652	2635	2603
A4	5	494	470	497	487	503	467
A4	8	167	144	175	187	219	235
A4	18	255	241	250	251	0	0
A4	19	529	490	581	549	576	597
A4	24	49	43	53	50	59	55
A4	28	949	903	1021	944	942	986
A4	29	201	200	226	217	215	216
A4	36	141	145	164	165	181	110
A4	40	470	0	0	0	0	0
A4	52	403	381	438	417	453	469
A4	53	187	183	202	195	203	213
A4	55	249	234	267	249	285	281
A4	57	1667	1702	1769	1781	1800	1800
A4	58	122	114	0	141	96	0
A4	60	306	313	378	337	400	390
A4	61	640	615	678	653	681	720
A4	66	338	329	372	358	386	376
A4	69	479	464	536	522	593	677
A4	75	353	346	394	380	406	407
A5	1	499	756	796	648	752	757
A5	2	130	78	117	99	128	124

¹ Çizelgedeki verilerin ondalık basamakları yuvarlanmıştır.

EK-3 (Devam) Modelin çözümü sonucunda elde edilen çıktılar

Çizelge 3.8. (Devam) Ana ikmal tesislerinden ana talep merkezlerine taşınacak LPG miktarları (Z_{ikt})

Ana ikmal tesisi	Ana talep merk.	Z_{ikt}					
		1.dönem	2.dönem	3.dönem	4.dönem	5.dönem	6.dönem
A5	23	13	124	118	116	106	101
A5	27	44	40	44	40	36	36
A5	31	219	214	222	209	214	207
A5	33	3204	2576	2322	2122	1868	1601
A5	38	163	137	171	153	157	168
A5	40	0	0	149	0	0	0
A5	42	219	211	246	235	251	248
A5	44	42	40	90	95	95	92
A5	46	150	217	231	191	214	213
A5	50	92	85	87	77	86	87
A5	51	1151	1088	1135	1033	972	973
A5	58	0	0	130	0	37	141
A5	63	563	519	518	491	470	446
A5	68	276	281	298	300	304	329
A5	70	736	659	774	697	739	727
A5	79	105	101	112	104	105	102
A5	80	393	388	419	384	399	384
A6	6	6289	5843	5870	5850	5557	5605
A6	18	0	0	1	0	277	243
A6	40	468	930	892	925	936	933
A6	71	243	226	236	225	230	219

EK-4 Modelin LINGO paket programında yazılmış hali

MODEL:

SETS:

DONEM /t1..t6/ ;;
 ANAIKMAL /IKM1..IKM6/ : S, W, F, G, A, c, r, p, h;
 DOLUM /DOL1..DOL6/ : U, M, LL, B, dc, lc;
 MAHAL /MAH1..MAH82/ ;;
 TESISLER /TESIS1..TESIS12/ ;;
 SAPMALAR /d11e, d11a, d12e, d12a, d21e, d21a, d22e, d22a/ ;;
 XLINK (ANAIKMAL, TESISLER, DONEM): ec, X, AT, mesp;
 DXLINK (ANAIKMAL, DOLUM, DONEM): DX;
 YLINK (DOLUM, MAHAL, DONEM): gc, Y, DM, mesdc;
 ZLINK (ANAIKMAL, MAHAL, DONEM): fc, Z, IM, mesr;
 DEMLINK (MAHAL, DONEM): D;
 SUPLINK (ANAIKMAL, DONEM): inv, Q, BX;
 DOLINK (DOLUM, DONEM): N;
 ANAIKMALGELEN (TESISLER, DONEM): AX;

ENDSETS

DATA:

S, W, U, p, r, G, LL, F, M, h, lc, c, D, ec, dc, fc, gc, A, B, AT, IM, DM, mesp, mesr,
 mesdc = @OLE('fuzzysheet.XLS', 'S', 'W', 'U', 'p', 'r', 'G', 'LL', 'F', 'M', 'h', 'lc', 'cc',
 'D', 'ec', 'dc', 'fc', 'gc', 'A', 'B', 'AT', 'IM', 'DM', 'mesp', 'mesr', 'mesdc');

@OLE('fuzzysheet.XLS', 'Q', 'X', 'Y', 'Z', 'inv', 'N', 'DX', 'AX', 'BX') = Q, X, Y, Z,
 inv, N, DX, AX, BX;

ENDDATA

EK-4 (Devam) Modelin LINGO paket programında yazılmış hali

MAX = L;

L <= (-0.000000001333333)*(d11e+d11a) - 0.000000000666667*(d12e+d12a) -
0.00000000466667*COST + 1.95;

L <= (-0.00000000166667)*(d21e+d21a)-0.000000005*(d22e+d22a) -
0.00000001*MESAFE + 2.15;

COST + d11e - d11a = 300000000;

COST + d12e - d12a = 225000000;

MESAFE + d21e - d21a = 150000000;

MESAFE + d22e - d22a = 120000000;

COST = HAMDCOST + DOLCOST + TASCOST + STOKCOST;

HAMDCOST = @SUM(SUPLINK(i, t): Q(i, t) * c(i));

DOLCOST = @SUM(XLINK(i, tes, t): X(i, tes, t) * p(i)) +
@SUM(ZLINK(i, k, t): Z(i, k, t) * r(i)) +
@SUM(YLINK(j, k, t): Y(j, k, t) * dc(j));

TASCOST = @SUM(XLINK: ec * X) +
@SUM(ZLINK: fc * Z) +
@SUM(YLINK: gc * Y);

STOKCOST = @SUM(SUPLINK(i, t): h(i) * inv(i, t)) + @SUM(DOLINK(j, t):
lc(j) * N(j, t));

EK-4 (Devam) Modelin LINGO paket programında yazılmış hali

```
MESAFE = @SUM( XLINK( i, tes, t): X( i, tes, t) * mesp( i, tes, t)) +
          @SUM( ZLINK( i, k, t): Z( i, k, t) * mesr( i, k, t)) +
          @SUM( YLINK( j, k, t): Y( j, k, t) * mesdc( j, k, t));
```

! Taşıma yapılamayan yerler arasında taşınacak miktarların sıfır olmasını sağlayıcı kısıtlar;

```
@FOR( XLINK( i, tes, t)| AT( i, tes, t)#NE#1: X( i, tes, t)= 0 );
@FOR( YLINK( j, k, t)| DM( j, k, t)#NE#1: Y( j, k, t)= 0 );
@FOR( ZLINK( i, k, t)| IM( i, k, t)#NE#1: Z( i, k, t)= 0 );
```

!Değişken çevirme;

```
@FOR( DONEM( t):
  @FOR( ANAIKMAL( i):
    X( i, 7, t) = DX( i, 1, t));
@FOR( DONEM( t):
  @FOR( ANAIKMAL( i):
    X( i, 8, t) = DX( i, 2, t));
@FOR( DONEM( t):
  @FOR( ANAIKMAL( i):
    X( i, 9, t) = DX( i, 3, t));
@FOR( DONEM( t):
  @FOR( ANAIKMAL( i):
    X( i, 10, t) = DX( i, 4, t));
@FOR( DONEM( t):
  @FOR( ANAIKMAL( i):
    X( i, 11, t) = DX( i, 5, t));
@FOR( DONEM( t):
  @FOR( ANAIKMAL( i):
    X( i, 12, t) = DX( i, 6, t));
```

EK-4 (Devam) Modelin LINGO paket programında yazılmış hali

! Arz ve kapasite kısıtları;

@SUM(DONEM(t): Q(6,T)) <= 10000;

@FOR(DONEM(t):

 @FOR(ANAIKMAL(i):

 @SUM(TESISLER(tes): X(i, tes, t)) <= S(i));

@FOR(DONEM(t):

 @FOR(ANAIKMAL(i):

 @SUM(MAHAL(k): Z(i, k, t)) <= W(i));

@FOR(DONEM(t):

 @FOR(DOLUM(j):

 @SUM(MAHAL(k): Y(j, k, t)) <= U(j));

! Talep kısıtı;

@FOR(DONEM(t):

 @FOR(MAHAL(k):

 @SUM(ANAIKMAL(i): Z(i, k, t)) + @SUM(DOLUM(j): Y(j, k, t)) = D(k, t));

! Stok kısıtları;

@FOR(DONEM(t):

 @FOR(ANAIKMAL(i):

 F(i) <= inv(i, t));

@FOR(DONEM(t):

 @FOR(ANAIKMAL(i):

 inv(i, t) <= G(i));

EK-4 (Devam) Modelin LINGO paket programında yazılmış hali

```
@FOR( DONEM( t):
  @FOR( DOLUM( j):
    M( j) <= N( j, t));
```

```
@FOR( DONEM( t):
  @FOR( DOLUM( j):
    N( j, t) <= LL( j));
```

! Ana ikmaller arası taşıma;

```
@FOR( DONEM( t):
  @FOR( TESISLER( tes)| tes #LE# 6:
    AX(tes,t) = @SUM( ANAIKMAL(i): X(i, tes, t)));
```

!Değişken çevirme;

```
@FOR( DONEM( t):
  AX(1,t) = BX(1, t));
@FOR( DONEM( t):
  AX(2,t) = BX(2, t));
@FOR( DONEM( t):
  AX(3,t) = BX(3, t));
@FOR( DONEM( t):
  AX(4,t) = BX(4, t));
@FOR( DONEM( t):
  AX(5,t) = BX(5, t));
@FOR( DONEM( t):
  AX(6,t) = BX(6, t));
```

EK-4 (Devam) Modelin LINGO paket programında yazılmış hali

! Ana ikmal ve dolum tesisleri stok dengesi kısıtları;

@FOR(ANAIKMAL(i):

inv(i, 1) = A(i) + Q(i, 1) + BX(i, 1)-

@SUM(TESISLER(tes): X(i, tes, 1)) -

@SUM(MAHAL(k): Z(i, k, 1)));

@FOR(DOLUM(j):

N(j, 1) = B(j) +

@SUM(ANAIKMAL(i): DX(i, j, 1)) -

@SUM(MAHAL(k): Y(j, k, 1)));

@FOR(DONEM(t)| t #NE# 1:

@FOR(ANAIKMAL(i):

inv(i, t) = inv(i, t-1) + Q(i, t) + BX(i, t) -

@SUM(TESISLER(tes): X(i, tes, t)) -

@SUM(MAHAL(k): Z(i, k, t))));

@FOR(DONEM(t)| t #NE# 1:

@FOR(DOLUM(j):

N(j, t) = N(j, t-1) +

@SUM(ANAIKMAL(i): DX(i, j, t)) -

@SUM(MAHAL(k): Y(j, k, t))));

END

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DÖNMEZ, Nilay
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.04.1981 Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (312) 215 63 64
 Faks : 0 (312) 427 30 22
 e-mail : nilay_d81@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Müh. Bölümü	2007
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Müh. Bölümü	2004
Lise	Çankaya Milli Piyango Anadolu Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-.....	Milli Prodüktivite Merkezi	Uzman Yardımcısı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Dağdeviren, M., Dönmez, N., Kurt, M., “Bir İşletmede Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Yeni Bir Model Tasarımı ve Uygulaması”, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21 (2): 247-255, 2006.

Hobiler

Sinema, tiyatro, latin dansları