

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEDARİK ZİNCİRİNDE ÇOK AMAÇLI TESİS YERİ
SEÇİMİ PROBLEMİNİN OLASILIKLI LİNEER
PROGRAMLAMA VE BULANIK AHP
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
OPTİMİZASYONU**

Endüstri Yük. Müh. Doğan ÖZGEN

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi	: 2 Temmuz 2008	
Tez Danışmanı	: Yrd. Doç. Dr. Bahadır GÜLSÜN	(Yıldız Teknik Üniversitesi)
Jüri Üyeleri	: Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER	(Yıldız Teknik Üniversitesi)
	: Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ	(Okan Üniversitesi)
	: Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL	(Yıldız Teknik Üniversitesi)
	: Prof. Dr. Semra BİRGÜN	(İstanbul Ticaret Üniversitesi)

İSTANBUL, 2008

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEDARİK ZİNCİRİNDE ÇOK AMAÇLI TESİS YERİ
SEÇİMİ PROBLEMİNİN OLASILIKLI LİNEER
PROGRAMLAMA VE BULANIK AHP
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
OPTİMİZASYONU**

Endüstri Yük. Müh. Doğan ÖZGEN

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi	: 2 Temmuz 2008	
Tez Danışmanı	: Yrd. Doç. Dr. Bahadır GÜLSÜN	(Yıldız Teknik Üniversitesi)
Jüri Üyeleri	: Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER	(Yıldız Teknik Üniversitesi)
	: Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ	(Okan Üniversitesi)
	: Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL	(Yıldız Teknik Üniversitesi)
	: Prof. Dr. Semra BİRGÜN	(İstanbul Ticaret Üniversitesi)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. PROBLEMİN TANIMI VE KAPSAMI.....	4
2.1 Problemin Önemi.....	4
2.2 Problemin Tanımı.....	6
2.2.1 Problemin Amaçları.....	6
2.2.2 Problemin Varsayımları.....	6
2.2.3 Problemin Girdileri.....	7
2.2.4 Problemin Çıktıları.....	8
2.3 Senaryo Analizi.....	8
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	9
4. ÇOK AMAÇLI TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN METODOLOJİLER.....	28
4.1 Olasılıklı Programlama.....	28
4.1.1 Bulanık Matematik Programlama Yaklaşımı.....	29
4.1.2 Olasılık Lineer Programlama.....	30
4.1.2.1 Kesin Olmayan Amaç Fonksiyonu Katsayılı ($\tilde{c}$) LP Problemleri (OLP-2).....	31
4.1.2.2 Kesin Olmayan Kaynak Kısıtlı ($\tilde{b}$) veya Amaç Fonksiyonu Katsayılı ($\tilde{c}$) ve Kesin Olmayan Teknik Katsayılı ($\tilde{A}$) LP Problemleri (OLP-4).....	34
4.1.2.3 Kesin Olmayan Kısıt Kaynaklı ($\tilde{b}$) ve Amaç Fonksiyonu Katsayılı ($\tilde{c}$) ve Kesin Olmayan Teknik Katsayılı ($\tilde{A}$) LP Problemleri (OLP-5).....	35
4.1.3 İki Fazlı Lineer Programlama.....	35
4.1.4 Senaryo Analizi ve İnteraktif Çözüm Seti.....	37
4.1.5 OLP Modellerinden Örnekler.....	37
4.1.5.1 Toplu Üretim Planlama ile İlgili OLP Modeli.....	37
4.1.5.2 İki Fazlı Lineer Programlamanın Etkinliği ile İlgili Sayısal Örnek.....	42
4.2 Bulanık AHP Yöntemi.....	43

4.2.1	Bulanıklığın Gösterimi ve İkili Karşılaştırmalar.....	44
4.2.2	Bulanık AHP Adımları.....	46
5.	FABRİKA ve DAĞITIM MERKEZİ YERLERİ SEÇİMİ İÇİN ÇOK AMAÇLI MATEMATİKSEL MODEL.....	50
5.1	Problemin Varsayımları.....	50
5.2	1. Amaç:: Maliyet Minimizasyonu.....	50
5.3	2. Amaç : Kalitatif Faktörlerin Maksimum Faydası.....	52
5.4	Kısıtlar.....	54
5.5	Modelin Geliştirilmesi.....	54
5.5.1	Kesin Olmayan Değerlerin Kesin Hale Dönüştürülmesi.....	54
5.5.1.1	Kesin Olmayan Değerlere Sahip Amaç Fonksiyonlarının Yardımcı Çok Amaçlı Fonksiyona Dönüştürülmesi.....	55
5.5.1.2	Kısıtlardaki Kesin Olmayan Değerlerin Kesin Hale Dönüştürülmesi.....	56
5.5.2	Yardımcı Çok Amaçlı Lineer Programlamanın Çözümü.....	56
5.5.2.1	1.Faz.....	56
5.5.2.2	2.Faz.....	58
6.	SAYISAL UYGULAMA.....	60
6.1	Sayısal Örneğin Verileri ve 1. Amacın Çözümü.....	60
6.2	2. Amacın Çözümü.....	63
6.3	1. ve 2. Amacın 1. Fazda Beraber Çözümü.....	70
6.4	1. ve 2.Amacın 2. Fazda Beraber Çözümü.....	71
6.5	Senaryo Analizi.....	74
6.5.1	2. Fazdaki Amaç Fonksiyonunda Tatmin Olma Kısıtlarının Zorlanması ve Farklı Katsayılarla Verdiği Tepki.....	74
6.5.2	2. Fazdaki Amaç Fonksiyonundaki Tatmin Olma Kısıtlarının Rahatlatılması ve Farklı Katsayılarla Verdiği Tepki.....	76
6.6	Sayısal Uygulama Çözümlerinin Değerlendirilmesi.....	77
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
	KAYNAKLAR.....	89
	EKLER.....	94
Ek 1	1.Amacın çözümünde kullanılan LINGO programlama kodları.....	94
Ek 2	Fabrika ve Dağıtım Merkezi etki faktörleri için AHP tabloları.....	107
	ÖZGEÇMİŞ.....	114

SİMGE LİSTESİ

A	Üretim
$\tilde{A}(a_{ij})$	Bulanık karşılaştırma matrisi
$\tilde{a}_i$	i . tedarikçinin kapasitesi
$\tilde{b}_j$	j . fabrikanın kapasitesi
B_{nt}	Siparişi geri çevirme maliyetidir
$\tilde{c}_i$	Kesin olmayan amaç fonksiyonu katsayılı lineer programlama problemlerinde üçgensel dağılım
c_i^o	Kesin olmayan amaç fonksiyonu katsayılı lineer programlamada olası en iyimser değer
c_i^m	Kesin olmayan amaç fonksiyonu katsayılı lineer programlamada en olası değer
c_i^p	Kesin olmayan amaç fonksiyonu katsayılı lineer programlamada olası en kötümser değer
$\tilde{c}_k$	k . dağıtım merkezinin kapasitesi
$\tilde{d}_l$	l . müşterinin talebi
$\tilde{D}_{nt}$	n . ürünün t döneminde kesin olmayan talebi
F	Bulanık sayı seti
F_t	İşden çıkarma maliyeti
$\tilde{f}_j$	j fabrikasını işletebilmek için sabit ve değişken maliyet toplamı
$\tilde{g}_k$	k dağıtım merkezini işletebilmek için sabit ve değişken maliyet toplamı
H_t	İşçi alma maliyeti
I	Tedarikçilerin sayısı
I_{nt}	Elde envanter tutma maliyeti
J	Fabrikaların sayısı
K	Dağıtım merkezlerinin sayısı
L	Müşterilerin sayısı
$\tilde{M}_{nt \max}$	t döneminde maksimum mevcut makina kullanımı
O	Başlangıç çözümü
O_{nt}	Fazla mesai üretim maliyeti
P	Açılacak toplam fabrika sayısının üst sınırı
Q_{nt}	Normal mesai üretim maliyeti
$\tilde{r}_{nt}$	n . ürünün birim başına kesin olmayan makina kullanımı
$\tilde{s}_{ij}$	i tedarikçisinden gelen hammadde ile j fabrikasında üretilen ürünün birim maliyeti
S_{nt}	Fason yaptırma maliyeti
ş.k.g	Şu kısıtlara göre
T	Zaman
$\tilde{t}_{jk}$	j fabrikasından k dağıtım merkezine birim (1 adet ürün) taşıma maliyeti
$u(x)$	Amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonlarının tatmin olma dereceleri

$\tilde{u}_{kl}$	k dağıtım merkezinden l müşterisine birim taşıma maliyeti
V	Açılacak toplam dağıtım merkezinin üst sınırı
w	Ağırlıklı ortalama
$\tilde{W}_{t \max}$	Maksimum işçilik seviyesi
x_{ij}	Tedarikçi i 'den gelen hammadde ile fabrika j 'de üretilen ürün miktarı
x^o	En iyimser olasılık değeri
x^m	En olası olasılık değeri
x^p	En kötümser olasılık değeri
X	Üçgensel bulanık sayılar
y_{jk}	Fabrika j 'den dağıtım merkezi k 'ya gönderilen ürün miktarı
Z_k^{PIS}	Pozitif ideal çözüm
z_{kl}	Dağıtım merkezi k 'dan müşteri l 'ye gönderilen ürün miktarı
W_k^{PIS}	Negatif ideal çözüm
β	Minimal kabul edilebilir olabilirlik
α	Güven aralığı
$\alpha - kesimi$	Uzman veya karar vericilerin yargılarına katılım derecesi
π	Olasılık dağılımı
μ	İyimserlik endeksi
μ_z	Lineer üyelik fonksiyonu
$\mu_M(x)$	Üyelik fonksiyonu
λ	Tatmin derecesi
$\bar{\lambda}_{k,s}^{(2)}$	Aritmetik ortalama operatörü

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analitik hiyerarşi prosesi
BOM	Ürün ağacı
ÇALP	Çok amaçlı lineer programlama
D	Depo
DM	Dağıtım merkezi
DMİEF	Dağıtım merkezi yeri seçimi için etki faktörleri
DMYB	Dağıtım merkezi yerleşim bölgesi alternatifleri
EF	Fabrika etki faktörleri
F	Fabrika
FİEF	Fabrika yeri seçimi için etki faktörleri
FYB	Fabrika yerleşim bölgesi
GOPLP	Linear programming problems with general possibilistic objective
GRPLP	Linear programming problems with general possibilistic resources
H	Hammadde
ISCNDP	Integrated supply chain network design problem
KTSP	Karma tamsayılı programlama
KTSM	Karma tamsayılı modelleme
LP	Lineer programlama
M	Müşteri
MIP	Mixed integer programming
MOP	Multi objective programming
NİS	Negatif ideal çözüm
NP complete	Non deterministic polynomial time
OLP	Olasılıklı lineer programlama
OLP-1	Kesin olmayan kaynak kısıtlı lineer programlama problemleri
OLP-2	Kesin olmayan amaç fonksiyonu katsayılı lineer programlama problemleri
OLP-3	Kesin olmayan kaynak kısıtlı ve teknik/teknolojik katsayılı lineer programlama problemleri
OLP-4	Kesin olmayan kaynak kısıtlı veya amaç fonksiyonu katsayılı ve teknik katsayılı lineer programlama problemleri
OLP-5	Kesin olmayan kısıtlı ve amaç fonksiyonu katsayılı ve teknik katsayılı lineer programlama problemleri
PIS	Pozitif ideal çözüm
PLANWAR	Plant and warehouse
RE	Rassal tutarlılık endeksi
SÜE	Son ürün envanteri
T	Tedarikçi
TE	Tutarlılık endeksi
TO	Tutarlılık oranı
TZ	Tedarik Zinciri

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Kompleks yapılı tedarik zincirindeki stratejik kararlar.....5
Şekil 4.1	Bulanık matematik programlama yaklaşımı..... 29
Şekil 4.2	Bulanık sayı x 'in üçgensel olasılık dağılımı..... 30
Şekil 4.3	$\tilde{x}$ 'in çözüm stratejisi..... 32
Şekil 4.4	z_1 ve z_2 'nin üyelik fonksiyonları..... 33
Şekil 4.5	AHP hiyerarşisinin yapısı..... 44
Şekil 4.6	Üçgensel bulanık sayılar ve önem dereceleri..... 46
Şekil 4.7	Bulanık sayıda α – kesim işlemi..... 48
Şekil 5.1	Kesin olmayan katsayı ve kısıtların üçgensel dağılımları.....55
Şekil 5.2	z_1 ve z_2 'nin lineer üyelik fonksiyonları..... 57
Şekil 6.1	$\lambda^{(1)} = 0,6546$ için 1.amacın olasılıklı sonucu..... 70
Şekil 6.2	1. Fazda hesaplanan sonucun ağ üzerindeki gösterimi..... 73
Şekil 6.3	$\lambda_1^{(2)}, \lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)}$ tatmin olma seviyelerinin arasındaki ödünleşme..... 79
Şekil 6.4	Çözüm 5'in ağ üzerindeki gösterimi..... 81
Şekil 6.5	Çözüm 9'un ağ üzerindeki gösterimi..... 83
Şekil 6.6	Çözüm 7'nin ağ üzerinde gösterimi..... 85

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Literatür incelemesi özet tablosu..... 21
Çizelge 4.1	İki fazlı lineer programlama ile çıkan sonuçlar..... 43
Çizelge 4.2	Bulanık sayının tanımı ve üyelik fonksiyonu..... 45
Çizelge 5.1	Yer seçimini etkileyen kalitatif etki faktörleri..... 53
Çizelge 5.2	Amaç fonksiyonunun 0 - 1 aralığındaki farklı tatmin olma seviyesinin sözel olarak ifadesi..... 59
Çizelge 6.1	Kapasite, talep, sabit maliyetler..... 60
Çizelge 6.2	Her kademedeki kesin olmayan birim taşıma maliyetleri..... 60
Çizelge 6.3	1. amacın yardımcı amaç fonksiyonlarının olumlu ve negatif ideal çözüm değerleri..... 62
Çizelge 6.4	Fabrikalar için başlangıç AHP tablosu..... 63
Çizelge 6.5	Fabrika yeri seçimi için kalitatif etki faktörleri..... 63
Çizelge 6.6	Dağıtım merkezi yer seçimi için kalitatif etki faktörleri..... 64
Çizelge 6.7	Bulanık üçgen sayılar kullanarak 5 karar verici tarafından hazırlanmış ikili karşılaştırma matrisi..... 65
Çizelge 6.8	FIEF1 açısından alternatif fabrika yerleşim bölgelerinin bulanık sayılarla ikili karşılaştırma matrisleri..... 65
Çizelge 6.9	Fabrikalar için etki faktörlerinin $\alpha - kesim$ bulanık karşılaştırma matrisi ($\alpha = 0.5, \mu = 0.5$) 66
Çizelge 6.10	FIEF1 açısından fabrika yerleşim bölgeleri için $\alpha - kesim$ bulanık karşılaştırma matrisi ($\alpha = 0.5, \mu = 0.5$) 67
Çizelge 6.11	Fabrika etki faktörleri için özvektör matrisi..... 68
Çizelge 6.12	Fabrikalar etki faktörü 1 açısından fabrika yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü..... 68
Çizelge 6.13	Fabrika yerleşim bölgesi alternatifleri için final sıralama tablosu..... 69
Çizelge 6.14	Dağıtım merkezi yerleşim bölgesi alternatifleri için final sıralama tablosu.... 69
Çizelge 6.15	2. amacın olumlu ve negatif ideal çözüm değerleri..... 70
Çizelge 6.16	$\lambda^{(1)} = 0,6546$ için karar değişkenlerinin sonuçları..... 72
Çizelge 6.17	Tatmin olma kısıtları zorlandığındaki değişik senaryoların sonuçları..... 75
Çizelge 6.18	Tatmin olma kısıtları çok düşük tutulduğunda değişik senaryoların sonuçları..... 76
Çizelge 6.19	Çözüm 5'in sonuçları..... 80
Çizelge 6.20	Çözüm 9'un sonuçları..... 82
Çizelge 6.21	Çözüm 7'nin sonuçları..... 84
Çizelge 6.22	Deterministik çözüm ile OLP çözümlerinin karşılaştırılması..... 86

ÖNSÖZ

Tedarik zinciri optimizasyonu son yıllarda üzerinde en çok durulan ve çalışma yapılan konulardan bir tanesidir. Zincirdeki maliyetleri düşürüp artan rekabet ortamında kâr oranlarını koruyabilmek şirketlerin devamlılığı açısından kritik bir faktördür. Hızla gelişen tedarik zincirleri, zincirde yeni kurulacak firmaları ve zincirde varlığını devam ettirmeye çalışan firmaları doğru stratejik kararlar vermeye zorlamaktadır. Tez kapsamında, çok aşamalı bir tedarik zincirinde yeni kurulacak tesislerin (fabrika ve dağıtım merkezleri) alternatif kurulum yerleri arasından nerelere kurulması gerektiği, kalitatif ve kantitatif faktörleri de değerlendiren çok amaçlı bir modelle ele alınmıştır. Tesis açılma kararları belli olduktan sonra zincir üzerinde kademeler arası taşınacak ürün miktarları da tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması sırasında, tezin başından sonuna kadar benden akademik ve manevi desteğini hiç esirgemeyen başta tez hocam Yrd. Doç. Dr. Bahadır GÜLSÜN'e, tez izleme komitemde bulunan ve beni motive eden değerli hocam Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER'e ve yoğun programına rağmen çalışmalarına yön vermek için desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımı yakından takip eden, destekleyen ve fikir veren Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL'e teşekkür ederim. Son olarak, doktora tez çalışması gibi zorlu bir çalışma döneminde bana yardım eden, güvenen eşim sevgili Arzum ÖZGEN'e ve sevgili aileme teşekkür ederim.

Mayıs, 2008

Endüstri Yüksek Müh. Doğan ÖZGEN

ÖZET

Kâr ve maliyet optimizasyonunu sağlamak ve sürdürülebilir bir şekilde yönetebilmek isteyen işletmeler, yeni iş yapıları ve süreçleri ile mevcut yapılarını coğrafi sınırlamaları ortadan kaldırarak biraraya getirmek zorundadırlar. İşletmenin bu hedefini destekleyen yapı tedarik zinciridir. Tedarik zinciri; hammadde üreticileri ve sağlayıcıları, hammadde ve yarı mamulleri işlenmiş ürüne dönüştürmesi yani imalat işlemleri ve bunun ardından bitmiş ürünleri dağıtım kanallarında nihai tüketiciye kadar ulaştırılması sırasında değer yaratan bütün unsurlardır.

Yoğun rekabet ortamında pazar paylarını kaybetmek istemeyen üreticiler; geniş bir alana dağılan müşterilerine daha yakın olmak, ürün teslim ve servis sürelerini daha da kısaltıp, daha iyi hizmet verebilmek amacıyla üretim ve dağıtım merkezleri yerleşimlerini doğru tespit etmek durumundadırlar. Dinamik ve değişken şartlar altında işletmelerin bu tespiti gerçekleştirmesi zolaşmaktadır. Teori ve pratikte tedarik zinciri başlığı altında en çok incelenen konulardan biri ağ tasarımı ve optimizasyonudur. Ağ tasarım probleminin çözümü ile üretim ve dağıtımın gerçekleştirildiği fabrika, depo, dağıtım merkezi gibi tesislerin sayı ve yerleri pazardan gelen talep ve ilgili maliyet faktörlerinin gözönüne alınması ile belirlenebilir. Burada yapılacak doğru tespitler işletmenin minimum maliyetle doğru kararlar almasını sağlayacaktır.

Bu doğrultuda tez çalışması kapsamında çok kademeli bir tedarik zincirinde, olasılıklı lineer programlama ile bulanık analitik hiyerarşi prosesleri yaklaşımlarının entegrasyonu ile kalitatif ve kantitatif faktörleri ele alan çok amaçlı bir lineer programlama modeli kurulmuştur. Birinci amaçta taşıma ve tesis maliyetleri toplamının minimizasyonu, ikinci amaçta ise maksimum kalitatif faktörlerin faydası amaçlanmıştır. Zincirde belirsizlik olduğu varsayılmış ve bu birinci amaç olasılıklı lineer programlama, ikinci amaçta ise bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile temsil edilmiştir. Sayısal uygulama kısmında tedarikçi ve müşteri sayısı sabit kabul edilerek, fabrika ve dağıtım merkezi tesis yerlerinden hangilerinin açılması gerektiği ve hiyerarşideki tesisler arası taşınacak ürün miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda LINGO 9.0 optimizasyon yazılımından faydalanılmıştır. İki fazlı olasılıklı lineer programlamaya ait değişik senaryolar değerlendirildikten sonra elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve karar vericiye interaktif bir şekilde sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Tedarik zinciri yönetimi, optimizasyon, olasılıklı lineer programlama, bulanık analitik hiyerarşi prosesi

ABSTRACT

Profitability and cost optimization and sustainable management of achieved optimality has an increasing importance for the firms. For sustainability, firms have to bring together new business frameworks and processes with their existing structure by eliminating geographical restrictions. Supply chain is the concept that supports this aim. All the value adding activities such as raw material producing, procurement processes during transformation of raw and semi-finished products to finished products, and dispatching processes of finished products to final consumers are components of the supply chain.

Manufacturers to retain their marketshare under intensive competitive environment, for being closer to the outspreaded customers and for better service and delivery performance have to determine right locations for their production and distribution centers. Determination of right location becomes a more difficult mission for firms under dynamic and variable conditions. In theory and practice, network design and optimization are the most dealt problems in supply chain. Network design problem solution could determine the number and location of manufacturing and distribution centers such as plant, warehouse and distribution centers by considering the market demand and relevant cost factors. Proper settings could help firms to make decisions by minimum costs.

In this direction, in this thesis study, in a multi level supply chain, by integrating possibilistic linear programming and fuzzy analytical hierarchical process approaches a multi objective linear programming model that considers qualitative and quantitative factors has been proposed. In first objective function minimization of total transportation and facility costs, in second objective function maximum qualitative factors utility has been purposed. Uncertainty in the chain has been represented by possibilistic linear programming in first objective function and by fuzzy analytical hierarchical process in second objective function. Supplier and customer numbers are assumed constant. In the proposed model, selection decisions among the facility and distribution center locations are made and the amount of the products that have to be transported between facilities are calculated. LINGO 9.0 optimization software has been used. The results are compared after evaluation of two phased probabilistic linear programming under different scenarios and the outcomes are presented interactively to the decision makers.

Keywords: Supply chain management, optimization, probabilistic linear programming, fuzzy analytical hierarchical process

1. GİRİŞ

Tedarik zinciri (TZ) tesislerden, tedarikçilerden, müşterilerden, ürünlerden ve satın alma-envanter-dağıtım kontrol yöntemlerinden oluşan bir birleşimdir. Zincir, bir tedarikçinin hammaddeyi üretmesi veya sağlaması aşamasından başlayıp bir ürünün müşteri tarafından tüketilmesine kadarki faaliyetlerden oluşur. Bu süreç esnasında tedarikçi ile müşteri arasında akan malzemeler (hammadde, yarımamul, bitmiş ürün) birçok evreden geçip birçok tesise uğrarlar.

Son yıllarda artan rekabetle beraber, tedarik zinciri maliyetlerini düşürebilmek için daha etkin ve efektif iş akışlarıyla çalışabilmek firmalar için hayati önem taşımaya başlamıştır. Bu nedenle müşteri servis kalitesini üst düzeyde tutarak maliyetlerin düşürülmesi bu şekilde kâr oranlarının korunması firmalar için temel hedef olmaktadır.

Bundan önceki 10 yıllık döneme kadar pazarlama, dağıtım, planlama, üretim ve satın alma gibi bölümler, zincir üzerinde birbiri ile iş yapan firmalar (tedarikçi-fabrika, dağıtım merkezi-müşteri) birbirlerinden bağımsız çalışarak kendi amaçlarına ulaşmaya çalışmakta ve bu da genellikle karmaşıklığa neden olmaktaydı. Entegrasyon ihtiyacı ancak bilişim ve iletişim teknolojilerinin ve kurumsal kaynak planlaması yazılımlarının gelişmesi ile giderilebilmiştir. Bu gelişmeler doğrultusunda “Tedarik Zinciri Yönetimi” kavramı nispeten sağlanmıştır.

Ancak sürekli değişen ve gelişen pazar koşulları ve iş süreçleri nedeniyle tedarik zincirinde karşılaşılan problemlerin sonsuz olduğu söylenebilir. Makro düzeyde incelendiğinde teorik ve pratik olarak en çok uğraşılan problemlerden biri tedarik zinciri ağının tasarımı ve optimizasyonudur. Doğru zamanda, doğru ürünü, doğru yerde, doğru miktarda olmasını sağlamak, optimizasyonun ve tasarımın temel amaçlarındandır. Diğer bir ifadeyle bu problem, minimum maliyetle müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için açılacak tesis yerlerinin ve doğru dağıtım ağının belirlenmesidir.

Ağ tasarım problemi uzun süreli etkin operasyonlar için optimize edilmesi gereken stratejik bir problemdir. Bu problemin çözümü ile; kullanılacak olan fabrika, depo, dağıtım merkezi gibi tesislerin sayısı, yerleri ve kapasiteleri belli olmaktadır. Aynı zamanda dağıtım ağındaki kanallar ve üretilecek/taşınacak malzeme ve ürünlerin miktarları da tespit edilmektedir. Doğru tespit minimum maliyeti sağlayacaktır.

Tesis yeri seçiminde alternatifler değerlendirilirken maliyet kadar önemli olan diğer faktörler kalitatif faktörlerdir. Örneğin elektronik cihaz üretimi için fabrika tesis yeri seçiminde bölge işgücü niteliği ön plandadır. Maliyeti ucuz ancak işgücü niteliği yönünden zayıf olan bir

bölgenin seçimi stratejik hataya neden olabilir. Çok aktif çalışan ve gelecek yıllarda hızlı büyüyeceği tahmin edilen fabrika ve dağıtım merkezleri için şehir planlaması ve sınırlandırılması da önemli bir kalitatif faktördür.

Ağ yapıları incelenirken, göz ardı edilmemesi gereken diğer bir husus da sistem içerisindeki kesin olmayan olasılıklı değerlerdir. Çok kısa vadeli planlarda kesin gibi görünen değerler, yıllık planlara çevrildiklerinde yani ileriye dönük projeksiyona (planlara) sokulduklarında, etkilendikleri pekçok faktörden dolayı belirsizleşmektedirler. Örneğin, yarın yapılacak bir taşımanın maliyeti belli iken, bundan 6 ay sonra yapılacak taşımanın maliyeti petrol fiyatlarındaki değişimden dolayı ancak tahmin edilerek söylenebilir. Tedarik zincirinde oluşan üretim miktarları, müşteri talepleri, taşıma maliyetleri oldukça sık değişen diğer unsurlara örnek gösterilebilir.

Modern yönetim ve mühendislik sistemleri için belirsizlik durumu temel ve en önemli konulardan bir tanesidir. Genellikle birçok karar verme probleminin çözümü gelecekteki belirsiz durum bilinmeden yapılmaktadır. Bazı durumlarda belirsizlik oluşu klasik yaklaşımların yetersiz kalmasına neden olabilmektedir. Belirsizlik durumu kesin olmayan bilgi birikiminden, verilerden, tahmin hatalarından, kişisel görüşlerden, kontrol edilemeyen sistem dışı etkilerden kaynaklanmaktadır. Belirsizlik altında karar verecek olan kişiler belirsizliği yok saymak yerine, bu durumu problemin içine katacak aktif bir yaklaşım geliştirmelidirler veya kullanmalıdırlar. Belirsizlik durumunu ifade edebilmek için son zamanlarda literatürdeki çalışmalarda bulanık matematik programlama, olasılıklı lineer programlama gibi metodolojilere çok sık rastlanmaktadır. Bu yaklaşımlar kesin verinin çok zor, pahalı ve uzun zamanda elde edileceği durumlarda kullanılabilecek, karmaşık problemlerin analizini çok karmaşık olmayacak şekilde sunan yaklaşımlardır.

Bu tez çalışması kapsamında, tedarik zinciri ağı üzerinde alternatif fabrika ve dağıtım merkezi tesis yerlerinden hangilerinin açılacağını inceleyen, minimum maliyet ve maksimum kalitatif faktörler faydasını hedefleyen problem ele alınmıştır. Problem çok amaçlı lineer programlama yöntemi ile modellenmiş, çözümünde iki amacın arasındaki ödünleşmeler gösterilmiştir. Belirsizlik faktörünü de çözüme katabilmek için ilk amaçta olasılıklı lineer programlama, ikinci amaçta ise bulanık analitik hiyerarşi prosesleri kullanılmış, bunlar birbirlerine entegre edilerek model sayısal bir uygulama ile test edilmiştir.

Yukarıda anlatılan içerik kapsamında tezin düzeni oluşturulmuştur.

Tezin 2. Bölümünde, problemin önemi ve tanımları üzerinde durulmuş, amaçlardan sözel olarak bahsedilmiş, problemin varsayımları, girdileri ve çıktıları hakkında bilgi verilmiştir.

- 3. Bölüm, konu kapsamındaki literatür incelemesini, yapılmış çalışmaları incelemektedir.
- 4. Bölüm problemin çözümünde kullanılan metodolojilerin teorisini anlatmaktadır.
- 5. Bölümde 4. Bölümdeki teorik kısım ışığında problemin matematiksel formülasyonu verilmiştir.
- 6. Bölümde model, sayısal bir uygulama ile çözülüp sonuçlar analiz edilmiştir. Sonuç bölümünde elde edilen bulgular, çalışmanın literatüre katkısı ve geliştirme yönünde gelecekte yapılabilecek çalışmalar üzerinde durulmuştur.

2. PROBLEMİN TANIMI VE KAPSAMI

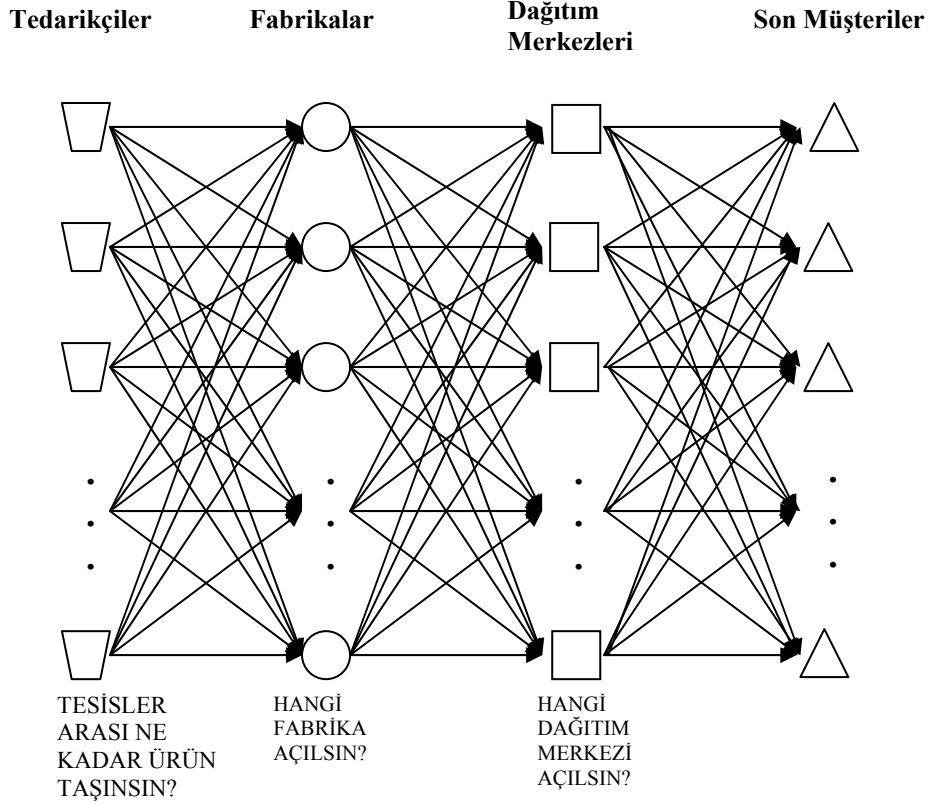
Bu tezde tedarik zinciri ağlarında açılacak yeni fabrika ve dağıtım merkezleri alternatiflerinden en uygun olanlarının seçimi, minimum maliyet ve maksimum kalitatif faktörler faydası amaçları birleştirilerek, yapılmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda tedarik zinciri ağı üzerinde taşınacak ürün miktarları da tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.1 Problemin Önemi

Tedarik zinciri hiyerarşisi ana hatlarıyla tedarikçilerle başlayıp, son müşterilerle sona erer. Literatürde oldukça sık kullanılan 4 kademeli hiyerarşinin diğer iki ara kademesi sırasıyla fabrikalar ve dağıtım merkezleridir. Bu hiyerarşi sektöre, firmalara ve onların iş yapma süreçlerine göre farklılıklar gösterebilir. Ancak her yapıya özgü ortak nokta, zincirdeki eleman sayısı (tedarikçi, fabrika, dağıtım merkezi, müşteri) arttıkça, yeni alternatif durumların ve taleplerin oluşması ve zincir yapısının daha karmaşık hale gelmesidir. Müşteri sayısı çoğaldıkça zincirdeki talep artmakta, talep artışına bağlı olarak daha fazla dağıtım merkezi, fabrika ve tedarikçiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum da zincirin kontrolünü zorlaştırmaktadır.

Zincirin üzerinde akacak ürün miktarlarının belirlenmesi maliyet üzerinde çok önemli rol oynar. Zincirin üzerinde ürünün hammadde evresinden son ürün haline gelene kadar herhangi bir işlem geçirdiği her evre hesaba katılacak olursa, muhtemel kombinasyon miktarı çok büyümektedir. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere 4 kademeli bir tedarik zincirinde, kombinasyon sayısı her hiyerarşideki eleman sayısının toplamalarının çarpımı kadardır. Bu karmaşıklığa bir de hiyerarşiler arası belirsizlikler eklendiğinde durum iyice karmaşılaşmaktadır. Gerçek uygulamalar ile deterministik modeller arasındaki fark da buradadır. Yöneticiler veya karar vericiler orta ve uzun vadeli planlarını deterministik yani kesin sayılarla ele aldıklarında, planladıkları ile gerçekleşen fiili durum arasında büyük ve hesaba katılmayan farklar olduğunu görmektedirler. Bu yüzden raporlarında olasılıklı durumları hesaba katan bilgileri de görmeleri karar verme prosesinde kendilerine çok daha yardımcı olmaktadır.

Tedarik zinciri üzerindeki en büyük kısıtlardan bir tanesi bütçedir. Yeni bir tesis açılması, yeni ürün tasarımı ve üretimi, yeni taşıma araçları satın alımı, yeni eleman alımı, taşıma, envanter tutma gibi birçok maliyet unsuru bütçe kısıtından dolayı en optimum şekilde organize edilmeye çalışılmaktadır.



Şekil 2.1 Kompleks tedarik zincirindeki stratejik kararlar

Tesis yerleşim problemi, üretim ve dağıtım ağının tasarımı, dağıtılmış veri ve iletişim tasarımı, banka, sağlık, itfaiye gibi servis operasyonlarının tasarımı, elektrik iletim hatlarının tasarımı ve e-ticarette siparişleri karşılamaya yönelik servis tasarımında önemli rol arzetmektedir. Tesis ağının stratejik seçimi de müşterilerin isteğinin karşılanmasında, üretim ve işletme maliyetlerinin düşürülmesinde ve işletmelerin sistemlerinin gelişmesinde anlamlı bir etkiye sahiptir.

Yeni tesis açma kararını etkileyen maliyet faktörleri sabit ve değişken maliyetler olarak ikiye ayrılabilir. Yatırım maliyetleri, kiralama veya inşaa gibi maliyetler sabit maliyet, üretime bağlı olarak değişen maliyetler değişken maliyete örnek gösterilebilir. Bu çalışmada fabrikalar için sadece sabit maliyetler göz önüne alınmıştır. Ayrıca tesisin bulunduğu yer, en önemli değişken maliyetlerden olan ve tesis yerleşimini de ilgilendiren tedarik zinciri hiyerarşisinde bir önceki kademedeki bulunan tedarik zinciri üyelerinden tesise gelecek ve tesisten, hiyerarşide bir sonraki kademedeki bulunan üyelere gidecek (taşınacak) ürünün, taşıma maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Tesis yerleşim problemlerinde maliyet ve kalitatif faktörlerin birleştirilmesi, problemin gerçek hayattaki sorunları yansıtması açısından, gereklidir. Amaçlar hem maliyeti minimum yapmak hem de kalitatif faktörlerden gelen faydayı maksimize etmek olmalıdır.

Belirsizlik durumlarını hesaba katabilmek için basitliği ve anlaşılabilirliğinden dolayı birinci amaçta (maliyet minimizasyonunda) olasılıklı lineer programlama kullanılmıştır. İkinci amaçta ise (kalitatif faktörlerin faydaları) 5 adet karar vericiden alternatif fabrika ve dağıtım merkezi yerleri hakkındaki yorumları alınmış ve bu yorumlar literatürde son yıllarda çok sık kullanılan bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmiştir. Bu metodolojilerin ayrıntıları 4.Bölümde verilmiştir.

2.2 Problemin Tanımı

Problem, dört kademeden oluşan ve tedarikçi-müşteri sayısı belli olan bir tedarik zincirinde, henüz hiç kurulmamış (çalışmayan) alternatif fabrika ve dağıtım merkezlerinden hangisinin açılacağına ve hiyerarşinin kademelerinde bulunan her elemanın bir sonraki hangi elemana ne kadarlık gönderi yapacağına karar veren tedarik zinciri ağının belirlenmesi problemidir.

2.2.1 Problemin Amaçları

1. Amaç; Olasılıklı Minimum Maliyet: Toplam maliyeti, kademeler arası ürün taşıma maliyetleri ve açılacak tesislerin sabit maliyetlerinin toplamı oluşturur. Bütün maliyetler, basit ve anlaşılır olduğundan olasılıklı lineer programda en sık kullanılan üçgensel dağılımlar cinsinden ifade edilmişlerdir (Lai ve Hwang, 1992).

2.Amaç; Kalitatif Faktörlerin Fayda Maksimizasyonu: Kalitatif faktörler sektöre göre değişkenlik gösterebilir. Üretim ve hızlı tüketim mallarını ele aldığımızda fabrikalar ve dağıtım merkezleri için en çok kullanılan faktörler pazara yakınlık, bölge iş gücü niteliği, eğitim ve mesleğe yönelik okullar, altyapı durumu ve yollar, şehir planlaması ve sınırlandırılması, iklim ve arazinin durumu gibi faktörlerdir.

2.2.2 Modelin Varsayımları

- Tedarik zinciri tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri ve müşteri kademeleri şeklindeki 4 aşamalı bir zincir yapısından oluşmaktadır.

- Problemde maksimum 5 adet fabrika yeri alternatifi ve 5 adet depo yeri alternatifi vardır, tesislerin hiçbirisi açık değildir, kurulması planlanmaktadır.
- Tedarikçi ve müşteri sayısı önceden bellidir. Tüm tedarikçi, alternatif fabrika, alternatif dağıtım merkezi ve müşteri kapasite ve talepleri olasılıklı değerlerle bellidir.
- Ağda gezen sadece 1 çeşit ürün vardır. Yani model tekli ürün için yazılmıştır.
- 1. amaçta maliyet bileşenleri olarak, sadece taşıma maliyetleri ile tesisleri işletmek için sabit maliyetler ele alınmıştır.
- Bütün amaçlardaki katsayılar olasılıklı değerlere sahiptir.
- Amaçlardaki bütün olasılıklı değerlerde, basit ve anlaşılır olduğu için üçgensel dağılım kullanılmıştır.
- Kalitatif faktörlerin değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) kullanılmıştır.
- 2. amaçta kullanılan kalitatif faktörler için 6 maddeden oluşan özet tablo kullanılmıştır. (Sektöre göre katsayılar değişebilir, farklı sektörlerle göre maddeler değişebilir).
- 2. amaçta kalitatif etki faktörlerinin birbirleri arasında ve daha sonra yerleşim bölgelerine göre değerlendirilmelerinde 5 karar vericinin ağırlıklandırılmış oylarına ve bunların ağırlıklandırılmış geometrik ortalamalarına başvurulmuştur. Ağırlıklandırılmış geometrik ortalamalar metodu AHP literatüründe en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesidir (Xu, 2000).
- Tüm müşteri talepleri eksiksiz karşılanmaktadır, problem bu açıdan dengeli bir problemidir.

2.2.3 Modelin Girdileri

- **İlk amacın verileri;** (1)-tedarik zinciri ağındaki elemanlar (düğümler) arası üçgensel verili olasılıklı taşıma maliyetleri, (2)-açılabilecek her alternatif fabrika ve dağıtım merkezlerinin olasılıklı sabit maliyetleri, (3)-olasılıklı son müşteri talepleri ve (4) tedarikçilerin-fabrikaların- dağıtım merkezlerinin olasılıklı kapasiteleridir.
- **İkinci amacın verileri;** İkinci amacın verileri beş karar vericinin önce kalitatif faktörleri birbirlerine, daha sonra da her bir kalitatif faktör açısından yerleşim bölgesi alternatifleri için

1-9 AHP skalasında verdikleri bulanık oylardır. Bu oyların geometrik ortalamaları alınarak çok kullanıcının kararından tek karara dönüştürülmüşlerdir.

2.2.4 Problemin Çıktıları

Problemin çıktısı olarak, ağ üzerindeki alternatif fabrika ve dağıtım merkezlerinden hangisinin açılacağı 0-1’li ikili değişkenlerle temsil edilerek verilmektedir. Bu açılma kararları ile birlikte tedarikçiler - açılan fabrikalar - açılan dağıtım merkezleri - müşteriler arasında akacak olan ürün miktarı belirlenmekte, böylelikle ağın içindeki yollar (rotalar) belli olmaktadır. Belli olan yollar üzerinde yapılacak taşımaların olasılıklı maliyeti ve kalitatif birim faydası da 2 amaç fonksiyonunun sonucu olarak elde edilmektedir.

2.3 Senaryo Analizi

Senaryo analizi kısmında, olasılıklı lineer programlama metodolojisi içeren ilk amaç ile bulanık AHP metodolojisi içeren ikinci amaç birbirleri ile entegre edilerek farklı senaryolarda, farklı amaç fonksiyonu tatmin seviyelerinde birbirlerine göre nasıl ödünleştikleri incelenmiştir. Ortaya çıkan sonuçların analizi uygulama bölümünde yapılmıştır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tedarik zincirinde ağ tasarımı ve tesis yerleşimleri ile ilgili modelleri ele alan çalışmalar incelenmiştir. Bölüm kapsamında 40 adet makaleye yer verilmiş, bu çalışmaların ele aldığı tedarik zincirlerinin kademe sayıları, kullandıkları modellerin yapıları ve modellerin amaç fonksiyonlarının neler olduğu incelenmiştir (Çizelge 3.1). İçinde model barındırmayan makaleler ise literatür araştırması olarak değerlendirilmişlerdir. Çizelge 3.1'in son sütununda çalışmalarda kullanılan metodolojiler hakkında da kısa bilgiler verilmiştir.

Vidal ve Goetschalckx, 1997: Makalede stratejik üretim ve dağıtım modellerine ait geniş bir literatür araştırması sunulmaktadır. Çalışma dört bölümden oluşmaktadır: Önceki incelemeler, optimizasyon modelleri, modelleme için ek unsurlar ve örnek olay ve uygulamalar. Karma tam sayılı programlama modellerinin incelenmesi bu makalenin temelini oluşturmaktadır, formülasyonlara dahil olan önemli kısımları incelemekte ve çözüm yöntemlerinin spesifik karakteristiklerine dikkat çekmektedir. Literatürde bulunan modellerden alınan ana karakteristikler tablo halinde özetlenmiştir. Bazı özel noktalar global lojistik sistemlerindeki boşlukları gidermek için eklenmiş ve son olarak ilerki çalışmalarda neler yapılabileceği değerlendirilmiştir.

Beamon, 1998: Yıllardan beri tedarik zincirinin üretim fonksiyonu çok dikkatli ve detaylı bir şekilde incelenmektedir. 1990'lı yıllardan sonra tedarik zincirinin bütününe yönelik performans, dizayn ve analiz çalışmaları giderek artmaktadır. Bunun sebebi özellikle artan üretim maliyetleri, üretim alanlarındaki kaynak azalmaları, kısalan ürün yaşam döngüleri ve pazarların globalleşmesidir. Bu makaledeki iki amaç; çok aşamalı tedarik zinciri modellemede bir literatür araştırması sunmak ve bu alandaki gelecek çalışmalara ışık tutmaktır.

Korhonen, vd., 1998: Mükemmel iş stratejileri için bilişim sistemleri yönetiminin rolü tartışılmıştır. Global tedarik zincirleri örnek olarak kullanılmıştır. Tedarik zinciri yönetimi ile talep zinciri yönetimi arasındaki farklar bilgi yönetimine odaklanarak anlatılmıştır. Enformasyon sistemleri için gerekli olan kritik hususların altı çizilmiştir.

Pirkul ve Jayaraman, 1998: PLANWAR (PLANT and WARhouse) modeli, çok ürün çok tesisten oluşan fabrika ve depo seçeneklerini tedarik zinciri üzerinde toplam işletme maliyeti minimum olacak şekilde yerleştirmeye çalışan yeni bir modeldir. Bir firmanın fiziksel dağıtım stratejisinin en önemli kısmı ağ stratejisidir. Ağ stratejisi ürünlerin fabrikalardan dağıtım depolarına, oradan da müşterilere olan fiziksel akışı tanımlar. Ağ stratejisinde genellikle hedeflenen amaç, sistem dizaynının üretim ve dağıtımdaki bir takım kısıtlamalar göz önünde

bulundurularak minimum maliyetle yapılmasıdır. Makalede karma tamsayılı bir model, PLANWAR, tanıtılmış ve çözümü için etkin bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir.

Erengüç, vd., 1999: Tedarik zincirini oluşturan kurumların birbiri arasındaki ilişkileri operasyonel açıdan incelenmiştir. Tedarik, Fabrika ve Dağıtım merkezi olarak üç aşamada incelenen tedarik zincirinde her aşama için kritik sorular ortaya konmuş, daha sonraki bölümlerde bunlar matematiksel formüllerle her aşama için açıklanmıştır.

Petrovic, vd., 1999: Bu makale, seri sıralı bir üretim tedarik zincirini ele almaktadır. Zincir envanter ve onların arasında üretim tesislerini içermektedir. Zincirin belirsiz bir ortamda işlediği varsayılmıştır. Belirsizlik, müşteri talebi, zincir boyunca yapılan tedarik ve dış tedarik veya pazar tedariki ile ilişkilendirilmiştir ve bu belirsizlik bulanık setler yardımıyla tanımlanmıştır.

Makaledeki model, belirsizlik altında, kabul edilebilir bir müşteri servis düzeyi ve maliyet ile her envanterin sipariş miktarlarının belirlenmesine çalışır. İki tip kontrol yöntemi değerlendirilmiştir: (1) her envanterin yaygın olarak kontrolü ve (2) envanter kontrolünde kısmi koordinasyon. Her bir envanter kaleminin tedarik zinciri içindeki performansını ve zincirin genel olarak performansını değerlendirecek bir simülatör geliştirilmiştir. Zincirin performansını geliştirecek değişim yaklaşımlar simüle ve analiz edilmiştir.

Vercellis, 1999: Çalışmada her tesisinde, iki seri aşamaya sahip çok tesisli üretim sistemi için kapasiteli ana üretim planlama ve kapasite atama problemleri ile ilgilenilmiştir. İki aşama arasında bir ayrıştırma tamponuna izin verilen ve verilmeyen her iki durum da göz önüne alınmıştır. Ele alınan sistemin özelliği tampona izin verilmediği zamanlarda yerleşimin dinamik bir şekilde kendini ayarlıyor olmasıdır. Yani her üretim sürecinde, ikinci aşamadaki farklı paralel makineler kendi aralarında gruplandırılır ve birinci aşamadaki bir makineye seri olarak bağlanır. Bu modelde hazırlık zamanı ve maliyetleri göz ardı edilmiştir. Ama minimum parti büyüklüklerinin izahı için ikili ayar değişkenleri tanımlanmıştır. Ortaya çıkan karma tamsayılı lineer programlama modeli lineer programlama tabanlı sezgisel algoritmalar yardımı ile çözülmüştür. Oluşturulan model ve çözüm yöntemi gerçek hayattan örnekler üzerinde uygulanmış ve iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Sabri ve Beamon, 2000: Bu araştırmada, çok amaçlı bir tedarik zinciri modeli geliştirilmiştir. Model hem operasyonel hem de stratejik planlama için aynı anda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Çok amaçlı karar analizi maliyet, müşteri servis düzeyi (teslimat oranı) ve esnekliği(adet veya teslimat) ölçebilen bir performans ölçüm sistemi gibi kullanılabilir. Bu ölçüm sistemi geleneksel tek ölçüm kriteri olan yöntemlerden daha anlaşılır ölçümler

sunmaktadır. Buna ek olarak bu model, üretim, teslimat ve talep belirsizliğini birleştirmekte ve tedarik zinciri boyunca çok amaçlı bir performans vektörü sağlamaktadır. Model etkin ve efektif bir zincir sağlamada yardımcı olacak ve zincirde daha iyi yönetim kararları verilmesine olanak verecektir.

Tang, vd., 2001: OLP ile ilgili mevcut model ve metodlar bazı özel tiplerle ve genellikle de aynı olasılıklı dağılım ile sınırlıdır. Tang vd., genel olasılıklı kaynaklara ve genel olasılıklı amaç katsayılarına sahip lineer programlama problemlerine odaklanmıştır. Mümkün en büyük ve en küçük nokta, en olumlu nokta ve en mümkün karar ile ilgili bazı yeni kavramların tanıtılması ile genel olasılıklı kaynaklar aracılığıyla olasılıklı kısıtların formülasyonu için yeni bir yaklaşım ve bu yaklaşım sonucunda tatmin edici bir çözüm metodu geliştirmiştir. Ayrıca karmaşık endüstriyel karar problemlerinin çözümü için genel olasılıklı kaynaklara sahip lineer programlama için en mümkün karar metodu ve genel olasılıklı amaç katsayılarına sahip lineer programlama içinde bir dual yaklaşım geliştirmiştir.

Jayaraman ve Pirkul, 2001: Makalede çok aşamalı bir ağda üretim ve dağıtım tesislerinin nereye yerleştirileceklerine karar veren entegre lojistik modeli incelenmiştir. Bu gibi sistemlerin tasarımında iki önemli karar yapısı söz konusudur; 1-Stratejik (fabrika ve depoların nereye kurulacağı), 2- Operasyonel (fabrikalardan müşterilere dağıtım stratejisi). Dağıtım stratejisi, her fabrikadaki ürün karmasından, satıcılardan fabrikalara gelen hammadde ve fabrikalardan dağıtım merkezlerine, oradan da değişik müşterilere dağılan bitmiş ürün gönderilerinden etkilenmektedir. İlk olarak problemin karma tam sayılı modeli kurulmuştur. Daha sonra Lagrange gevşetmesi (relaxation) kullanılarak etkin bir sezgisel çözüm prosedürü tanıtılmıştır. Bu sezgisel modelin performansını değerlendirmede kullanılmıştır. Son olarak modelin çalışılabilirliğini test etmek için gerçek bir uygulama yapılmıştır.

Cakravastia, vd., 2002: Çalışmada, tedarik zinciri ağı içerisinde tedarikçi seçme prosesi için analitik bir model geliştirilmiştir. Potansiyel tedarikçilerin herbirinin kapasite kısıtları değerlendirilmiştir. Amaç müşteri tatminsizliğini minimum yapmaktır, ki bu iki performans kriterinden etkilenmektedir: (i) fiyat ve (ii) tedarik süresi. Modelin bütünü karar vermede iki seviyeli olarak çalışabilmektedir: Operasyonel seviye ve zincir seviyesi. Operasyonel seviye müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak olan potansiyel tedarikçilerin üretim ve lojistik aktiviteleri ile ilgili kararları içerir. Zincir seviyesinde ise potansiyel tedarikçilerden gelen artırımlar değerlendirilmekte ve tedarik zinciri için son konfigürasyon belirlenmektedir. Zincirin yapısı ürün spesifikasyonlarına ve müşterinin sipariş miktarına bağlıdır. Modelde karma tam sayılı programlama kullanılmıştır.

Goetschalckx, 2002: Çalışma, global tedarik zincirlerinin stratejik ve taktiksel (üretim-dağıtım atamaları ve transfer maliyetleri) açılarından entegrasyonu ile elde edilebilecek potansiyel kazanımlara odaklanmaktadır. Vergi sonrası kâr, toplam satış gelirleri eksi toplam sistem maliyeti ve vergilerdir. Toplam maliyet ise tedarik, üretim, taşıma, envanter ve tesis maliyetlerinin toplamıdır. İki model ve onlara ait olan çözüm algoritmaları çalışmada sunulmuştur. İki farklı örnek olayda klasik hiyerarşik yapıda ele alınan stratejik ve taktiksel kararların birbirine entegrasyonu ile ortaya çıkan kazanımlar gösterilmektedir.

Birinci modelde, global bir tedarik zincirinde taşıma ücretlerinin ayarlanarak kârın maksimizasyonu konusu ele alınmaktadır. Etkin bir sezgisel çözüm algoritması sunulmuş, performans kriterleri ve sınırları tartışılmıştır.

İkinci modelde tek bir ülkede sezonluk taleplerde bulunan müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak için üretim ve dağıtım fonksiyonlarına odaklanmaktadır. Global modelin bir alt modeli olarak bu modelin de çözülmesi ihtiyacı doğmaktadır. Araştırmada karma tam sayılı programlama formülasyonu için primal dekompozisyon metodu uygulanmıştır. Primal dekompozisyon metodu, geniş karma tam sayılı problemlerin çözülmesinde ve etkin bir çözüm algoritması sunulmasında aktif rol oynamaktadır.

Heikkilä, 2002: Müşteri ile tedarikçiler arasındaki iyi ilişkiler güvenilir enformasyon akışına bağlıdır. Hızlı gelişen sektörlerde tedarikçiler kendilerini değişik müşteri ihtiyaçları için hazırlamalıdır. Müşteri ihtiyaçlarını iyi anlamak ve onların istekleri doğrultusunda arzı esnek bir şekilde değiştirmek tedarik zincirinde yüksek bir verimlilik ve müşteri tatmini yakalanmasını sağlayacaktır.

Jang, vd., 2002: Makale global bir ürün ağaçlı tedarik zinciri önermektedir. Yeni tedarik ağı yönetimi dört modülden oluşmaktadır. Bunlar, ağ dizayn optimizasyon modülü, hammaddenin müşterilere ulaşmasındaki üretim ve dağıtım fonksiyonlarını planlayan modül, model yönetim ve veri yönetim modülleridir. İlk iki modül Lagrange gevşetmesi ve genetik algoritma kullanılarak çözülmüştür. Model ve veri yönetim modülleri yöneticilere veri ve matematiksel modellerin detaylarında yardımcı olmaktadır.

Syam, 2002: Bu çalışmada geleneksel tesis yerleşim modellerini çeşitli lojistik maliyet kalemlerini de (elde bulundurma, sipariş etme, çoktesisli ortamda taşıma maliyetleri ve çoklu yerleşim, vs.) dahil ederek kayda değer şekilde genişletmiştir. Yerleşim ve lojistik maliyetlerinin çok içiçe geçmiş olması nedeniyle model bütünleşik bir yapıda kurulmuştur. Model optimum mevkiler, akışlar, mal gönderim birleşimleri ve gönderim çevrim zamanları gibi kavramları eş zamanlı olarak belirleyerek toplam fiziksel dağıtım maliyetlerini minimize

etmeye çalışmaktadır. Bu amaçla Lagrange gevşetmesi ve benzetim tavlama yöntemleri sırasıyla kullanılarak iki sezgisel metodoji geliştirilmiş ve kapsamlı bir hesaplama testinden geçirilmişlerdir.

Syarif, vd., 2002: Son yıllarda lojistik hakkındaki araştırmalar verimli tedarik zinciri akışı üzerine yoğunlaşmaktadır. Lojistik sistemlerdeki önemli bir konu ise fiziksel dağıtım minimum maliyetle yapabilecek ağ stratejisini belirleyebilmektir. Bu makalede, 0-1’li ikili karma tam sayılı lineer programlama modeli ele alınmıştır. Problemin dizayn konusu minimum maliyet ile açılacak fabrika ve dağıtım merkezlerine karar vermektir. Çözüm metodolojisi olarak kapsayan ağaç (spanning tree) tabanlı “Prüfer”(tercihli) sayı kullanan genetik algoritma seçilmiştir. Fizibil olmayan tercihli sayı için fizibilite kriteri ve fizibile dönüştürme prosedürü geliştirilmiştir, böylelikle yöntem büyük ölçekli problem için çalışabilmektedir. Yöntemin etkin ve efektif oluşu, klasik matris tabanlı genetik algoritma ve LINDO bilgisayar programı kullanılarak gösterilmiştir.

Braun, vd., 2003: Önleyici kontrol modeli, dinamik envanter yönetimi ve talep ağları içerisinde müşteri ihtiyaçlarının karşılanması için sağlam ve esnek bir karar verme yapısı olarak tanımlanmıştır. Kontrole yönelik yapısı sayesinde, önleyici kontrol modeline dayalı planlama şeması, kayda değer belirsizliklerin, hatalı tahminlerin ve envanter seviyeleri, üretim ve nakliye kapasitelerine yönelik kısıtların olduğu durumlarda, kayda değer performanslar gösterecek şekilde ayarlanabilme avantajına sahiptir. Tedarik zinciri probleminin önleyici kontrol modeli uygulamasına uyarlanabilir bir formülasyona dönüştürülmesi başlangıçta sadece tek bir ürün- iki düğüm örneği için geliştirilmiştir. Bu problemin çözümünden elde edilenler, Intel firmasının, birbirine bağlı, montaj-test, depo ve perakendeci birimlerinden oluşan, altı düğüm, iki ürünlü, üç kademeli talep ağı problemi için kısmen dağıtılmış önleyici kontrol modeli uygulaması geliştirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, talep tahmin hataları, kapasite, taşıma kısıtları ve üretim çıktı sürelerinde gerçekleşen ve beklenen arasındaki farklılık gibi faktörler altında önleyici kontrol modelinin etkinliğini göstermiştir. Intel talep ağı problemi daha sonra ağ içerisindeki kontrolörler arasında çeşitli bilgilerin paylaşılmasında kullanılan ilgili değerlerin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. İki düğümlü ve Intel probleminin her ikisi de önleyici kontrol modelinin hiyerarşik bir işletme genelinde kullanılabilecek planlama aracı olarak potansiyelini göstermektedir. Bu planlama aracı, gerçek zamanlı, çeşitli seviyelerde bilgi paylaşımını ve merkezileştirme/dağıtmayı destekleyen, geriye ve ileriye dönük kontrole imkan veren böylece talep ağlarının sağlamlığını ve performansını arttıran yapıdadır. Bu kabiliyetlerin, müşteri memnuniyetini

arttırıp, emniyet stoklarının seviyesini karlı seviyelere çekerken, tedarik zinciri içerisindeki kamçı etkisini de azaltan bir etkisi vardır.

Chopra, 2003: Makale dağıtım ağının dizaynı için bir çerçeve oluşturmaktadır. Birçok faktör dağıtım ağının seçimini etkilemektedir. Çeşitli dağıtım ağlarının göreceli olarak kuvvetli ve zayıf yönleri incelenmiştir. Makale, çeşitli müşteri ve ürün karakteristiklerine en iyi uyacak dağıtım ağlarının tarif edilmesiyle sonuçlanmaktadır.

Kovacs ve Paganelli, 2003: Bu çalışmada web tabanlı üretim dizaynı ve planlaması ile operasyonel sistem detayları anlatılmıştır. Birçok noktadan oluşan karmaşık tedarik zinciri ağı içinde dizayn, planlama ve yönetim fonksiyonları için yazılım önerilerinde bulunulmuştur.

Lopez, vd., 2003: Makale çok ürünlü, çok kademeli bir tedarik zincirinde kârın maksimizasyonu için bir model stratejisini tanımlamaktadır. Bu makalenin anahtar özellikleri (1) kesikli zaman zarfında çalışan bir KTSP (karma tam sayılı programlama) sistemin içindeki malzeme ve enformasyon akışını kontrol etmekte, (2) tedarik zincirinin tüm elemanlarının etkileşimini değerlendiren ve bunları genel ve dinamik olarak optimize eden bir yapı ve (3) tedarik zinciri içinde değişimler oldukça güncellenmesi gereken karar değişkenleri için zaman iletmesi yaklaşımı şeklindedir. Makale aynı zamanda dağınık veya merkezi tedarik zinciri yönetimi yaklaşımlarının davranışını karşılaştırıp, sonuç olarak %15'e varan kâr artımları elde eden stratejiler önermektedir.

Rudberg ve Olhager, 2003: Bu makalenin amacı üretim ağları ve tedarik zincirlerini operasyonlar ve strateji perspektifi açısından incelemektir. Geleneksel olarak bu iki alan birbirlerinden ayrı olarak araştırılırsalar da pazarların ve operasyonların giderek globalleşmesi bu birbirini tamamlayan disiplinlerin beraber incelenme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu makalede iki yapısal karar verme kategorisine bağlı olarak iki araştırma alanı incelenmiştir. Dört temel ağ konfigürasyonu için bir analiz topolojisi sunulmuştur. Ağ içindeki aktivitelerin koordinasyonu seçilen, ağın konfigürasyonuna göre değişiklik gösterir. Bu konfigürasyon ve koordinasyon analizleri üretim ağı ile tedarik zinciri entegrasyonunda benzer çalışmalar için kullanılabilir.

Yan, vd., 2003: Bu makale, tedarik zinciri dizaynında ürün ağacını göz önünde bulundurarak stratejik bir üretim-dağıtım modeli önermektedir. Ürün ağacını temsil etmek için ana parçaların tedarikçiler, üreticiler ve dağıtım merkezlerindeki ilişkileri kısıtlarda tanımlanmıştır. Bu ilişkiler karma tamsayılı modelde formüle edilmiştir. Formülün etkinliği bir uygulama ile test edilmiş, sonuçlar yönetimsel faaliyetler açısından tartışılmıştır.

Zhou, vd., 2003: Bu makale çok farklı kapasitelere sahip dağıtım merkezleri için iki kriterli bir atama modeli ve etkin bir çözüm yöntemi önermektedir. Önerilen çözüm yöntemi genetik algoritma kullanarak kısa bir zaman zarfı içinde Pareto optimal çözümleri bulmaya çalışmaktadır. Önerilen modelin gerçek bir probleme uygulanması ve çözümü ise kullanışlılığını ve pratikliğini göstermektedir.

Chen ve Lee, 2004: Çalışmada belirsiz pazar talepleri ve ürün fiyatları içeren çok aşamalı bir tedarik zinciri için çok ürünlü, çok aşamalı, çok dönemli çizelgeleme problemi için çok amaçlı bir model kurulmuştur. Belirsiz pazar talepleri bilinen kesikli olasılıklara göre modellenmiş, bulanık setler ise alıcı ve satıcı arasında oluşan fiyatlar için kullanılmıştır. Birbiriyle kesişen birden fazla amacı tatmin etmek için karma tamsayılı lineer olmayan programlama kullanılmıştır. Bu amaçlar kâr, emniyet stoku seviyeleri, maksimum müşteri servis düzeyleri, belirsiz ürün talepleri için kararın sağlamlığıdır. Çözüm yöntemi olarak iki aşamalı bulanık karar verme yöntemi sunulmuş ve bu sayısal bir örnek ile desteklenmiştir.

Guillen, vd., 2005: Makalede çok fabrikalı, çok dağıtım depolu ve çok pazarlı düzende, bunların bağlı olduğu dağıtım sistemleri ele alınmıştır. İlk problem formülasyonu daha gerçekçi birçok karakteristikleri modele katarak, daha önceden sunulmuş olan modelleri genişletmiş, daha sonra belirsiz faktörleri hesaba katmak için iki kademeli stokastik model kurulmuştur. Tedarik zinciri performansı açısından amaç fonksiyonunda sadece kâr değil aynı zamanda talep tatmini de değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım farklı seviyelerde kullanılabilecek birden fazla çözüm sunmaktadır. Diğer yandan deterministik olarak elde edilen sonuçlar belirsizlik durumunda oluşabilecek stokastik sonuçlarla karşılaştırmak mümkündür. Ek olarak, bu yaklaşım farklı dizayn opsiyonlarında karşılanması olası finansal riskleri de ortaya koymaktadır. Bunun için pareto optimal çözüm setlerinden yararlanılmıştır.

Melo, vd., 2005: Makalede, tedarik zinciri ağlarının stratejik dizaynına odaklanılmıştır. Ağ tasarımı probleminin daha önceden literatürde pek değinilmemiş pekçok unsuru ele alınarak matematiksel bir model önerilmiştir. İncelenen durumlar, dinamik planlama dönemi, tedarik zinciri yapısı, dışardan malzeme alımı, ürünler için envanter opsiyonları, dağıtım opsiyonları, tesis konfigürasyonu, yatırım için sermaye imkanları ve depolama limitleri gibi unsurları içermektedir. Buna ek olarak planlama dönemleri ilerlerken tesislerin kademeli olarak yerlerinin değiştirilmesi kararları da ele alınmıştır. Değişken taleplerle baş edebilmek için kapasite azaltma veya artırma gibi değişik senaryolarda modüler vardiya kapasiteleri kullanılmıştır. Modelin varolan diğer modellerle ilişkisi açıklanmıştır. Son olarak gerçek bir uygulama ile model test edilmiştir.

Revelle ve Eiselt, 2005: Tesis yeri seçiminin matematiksel araştırma ve optimizasyonu problemi neredeyse elli senedir devam etmektedir. Araştırmacılar hem algoritma hem de formülasyonlar geliştirmektedir. Her formülasyonun diğerlerine göre farklılıkları ve benzerlikleri vardır, ancak her problemin kendine özgü tarafı sorgulanabilecek yüzlerce nokta yaratmaktadır. Lineer olmama durumu ile 0-1’li ikili değişkenler araştırmacıları bu aktif büyüyen alanda ilk sırada meşgul eden konuların başında gelir. Bu çalışmada bu alandaki değişik durumlar incelenmiştir.

Santoso, vd., 2005: Makale tedarik zinciri dizayn problemleri için stokastik bir model ve çözüm algortiması önermektedir. Mevcut yaklaşımlar deterministik çevreler için tasarlanmış veya belirsizlik altında sadece birkaç kısıtlı senaryoyu temsil edebilmektedirler. Buradaki çözüm metodolojisi yakın bir geçmişte önerilmiş olan basitleştirme stratejisini entegre etmekte (basit ortalamalar yaklaşımı), bunun için Benders’ın dekompozisyon algoritmasını kullanarak geniş ölçekli stokastik tedarik zincirindeki çok kapsamlı senaryoları yüksek kalitede ve hızlı bir şekilde çözebilmektedir.

Altıparmak vd., 2006: Makale çok amaçlı tedarik zinciri ağı dizaynı probleminde Pareto-optimal çözümler setini bulabilmek için genetik algoritmalara dayalı yeni bir çözüm prosedürü içermektedir. Çok amaçla uğraşabilmek ve karar vericiye daha fazla çözüm alternatifleri sunabilmek için, iki farklı ağırlık yaklaşımı çözüm prosedüründe uygulanmıştır. Türkiye’deki plastik üretici bir firmada iki aşamalı uygulama yapılmıştır. Birinci aşamada ağırlıklı yaklaşımın çözüm prosedürü üzerindeki performans etkileri araştırılmış, ikinci aşamada ise önerilen çözüm yaklaşımı ile tavlama benzetimi yaklaşımı Pareto-optimal çözümlerin değerlendirilmesi açısından karşılaştırılmıştır.

Amiri, 2006: Makale, dağıtım ağı dizaynında ürünün fabrikalardan depolara, depolardan müşterilere dağıtılmasında en iyi stratejiyi belirlemekle ilgilidir. Amaç fabrika ve depoların optimum sayıda ve kapasitede açılması ve aynı zamanda müşteri taleplerinin minimum maliyetle tam olarak karşılanmasıdır. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışma fabrika ve depolarda farklı seviye kapasite kullanımına imkan tanımaktadır. Bu problemin çözümü için yazar karma tam sayılı bir model ve etkin bir sezgisel çözüm yöntemi geliştirmiştir.

Neto, vd., 2006: Tüketici ve yasalar firmaları, tedarik zincirlerini yeniden dizayn etmeleri ve çevresel zararların azaltılması hususunda yeniden tasarıma zorlamışlardır. Tedarik zincirleri amacındaki maliyet minimizasyonu tek amaç olmaktan çıkıp, maliyet ve çevresel zararların minimizasyonu olmak üzere çok amaca geçmiştir. Bu makalenin konusu maliyet ve çevresel

zararların dengelendiği sürdürülebilir bir tedarik zinciri ağı için dizayn çerçevesi yaratmaktır. Çok amaçlı programlama kullanmanın avantajları gösterilmiş ve veri zarflama ile çok amaçlı programlama kullanılarak bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur.

Vila, vd., 2006: Makale çok uluslu değişik proses endüstrilerinin üretim ve dağıtım ağlarının kurulmasına yönelik jenerik bir metodoloji önermektedir. Metodoloji matematiksel programlama kullanarak potansiyel üretim ve dağıtım yerlerinin ve kapasite opsiyonlarının haritasını çıkartmaktadır. Doğal olarak değişen farklı proseslerin her biri bağlı oldukları üretim aktivitesine göre modellenmişlerdir. Her tesis farklı yerleşimler kullanabilir ve de fabrika kapasiteleri ilgili yerleşimdeki teknolojik opsiyonlara bağlı olarak (makina adedi, modeli, kapasitesi, vb.) belirlenir. Bu kapasitelerin sezonsal durmaları söz konusu olabilir ve bu durumda ürünün kapasite dışı kaynaklardan temin edilmesi devreye girer. Amaç daha önceden tahmin edilen kur üzerinden vergiler düştükten sonraki satış gelirleri yani kârdır. Metodoloji ahşap endüstrisine uygulanmış ve kullanımı için yol gösterici unsurlar belirlenmiştir.

Yılmaz ve Çatay, 2006: Makalede, üç aşamalı bir üretim-dağıtım ağında stratejik planlama problemi ele alınmıştır. Probleme tek ürün, çok tedarikçi, çok üretici ve çok dağıtım merkezli, talebin deterministik olduğu durum varsayılarak ele alınmıştır. Amaç, üretim, taşıma, envanter ve zaman içinde kapasite artımı ile ilgili maliyetlerin minimizasyonudur. Kısıtlamalar ise tedarikçi, üretici ve taşıma kapasiteleridir. Diğer yandan tüm kapasiteler belirli sabit maliyetlerle arttırılabilirler. Problem 0-1' li karma tam sayılı programlama ile formüle edilmiştir. Gerçek uygulamalarda iyi bir uygun çözüm için etkin basitleştirme (rahatlatma) sezgiselleri ele alınmıştır.

Zhang, 2006: Çok ürünün çok pazara satıldığı tedarik zinciri ekonomisi hakkında çalışılmıştır. Önerilen model operasyonel bağlantılar, arayüz bağlantıları yani operasyonlar ve onların arasındaki koordinasyon üzerine kuruludur.

Che, vd., 2007: Makalede AHP metodolojisine dayalı kalitatif ve kantitatif kriterlerin bir arada değerlendirildiği interaktif bir yaklaşım yer almaktadır. Geliştirilen yaklaşım zincirdeki enformasyon mükemmel ve etkin paylaşıldığında, her katılımcı için beklenen bir tatmin sağlamaktadır. Makaledeki gerçek bir uygulama üzerindeki analiz sonuçları da önerilen yaklaşımın etkin ve efektif olduğunu göstermektedir.

Pokharel, 2007: Tedarik zinciri strateji kararları birden fazla amacın optimize edilmesini gerektirebilir, örneğin maliyet minimizasyonu ve müşteri servis düzeyinin maksimizasyonu. Bu amaçlar ürün için tedarikçilerin ve üreticilerin koyacağı kapasite kısıtları ile birlikte

değerlendirilmelidir. Bu makalede çeşitli ürünlerin, tedarikçiler, üreticiler ve üçüncü parti lojistikçiler tarafından konan kapasite kısıtları tedarik zincirinin dizaynında iki amaçlı model kurulurken göz önüne alınmıştır. Tedarik zincirinde farklı tedarikçilerden dört adet modülü sağlanan bir adet ürün seçilmiştir. Sadece bir amaç sonucu çıkan optimizasyon sonuçlarının iki amaçlı sonuçlardan farklı olduğu gösterilmiştir. Karar vericinin isteklerine bağlı olarak birkaç farklı senaryonun analizleri yapılmıştır. Böylelikle karar verme interaktif bir şekle dönüşmüştür.

Roghanian, vd., 2007: İki seviyeli programlama, dağıtılmış kararların modellenmesinde kullanılan, birinci seviyede liderin amaçlarını ve ikinci seviyede diğer karar vericilerin amaçlarını içeren bir yöntemdir. Üç seviyeli programlama ise ikinci seviyenin kendisinin de iki seviyeli bir programlama olduğu durumlarda ortaya çıkar. Bu düşüncenin çoğaltılması ile çok seviyeli programlar elde edilebilir. Matematiksel programlama içindeki bir çok gerçek hayat probleminde, parametreler rassal değişkenler olarak algılanır. Rassal parametreleri ile ilgili eksik bilgi olan şartlı uç nokta problemlerinin çözümüne yönelik teori ve metotların çözümü ile ilgilenen matematiksel programlama dalı “Stokastik Programlama” adını alır. Tedarik zinciri planlama problemleri, işletme içerisinde bir çok faaliyetin senkronizasyonu ve optimizasyonu ile ilgilenmektedir. İşletme ağındaki tedarik zinciri planlama problemleri doğal olarak çok seviyeli bir karar ağı yapısı özelliği gösterirler. Örneğin bir seviye yerel bir tesis kontrol, çizelgeleme ve planlama problemine karşılık gelirken diğer bir seviye tesis çapında planlama/ağ problemine yönelik olabilir. Bu tür çok seviyeli karar ağı yapıları, çok seviyeli programlama prensipleri çerçevesinde gösterilebilir. Roghanian, bu çalışmada, olasılıklı iki kademeli lineer çok amaçlı programlama problemi oluşturmuştur. Bu modeli; pazar talebi, her tesisin üretim kapasitesi, tüm tesislerin her bir ürün için ulaşabileceği kaynaklar gibi bilgilerin, bütünleşik olasılık dağılımlarına uyan rassal değişkenler ve kısıtlardan oluştuğu bir “işletme çapında tedarik zinciri planlama problemine” uygulamıştır. Olasılıklı model ilk önce, her seviyede eş değer bir deterministik modele dönüştürülmüştür. Sonrasında bulanık programlama tekniği çok amaçlı lineer olmayan programlama problemine uygulanarak uzlaşma çözümü bulunmuştur.

Romeijn, v.d., 2007: Modern bir dağıtım ağ dizayn modeli çeşitli faktörler arası ödünleşmeye ihtiyaç duymaktadır, bunlar (1) dağıtım merkezlerinin yerleşim ve sabit işletme maliyetleri, (2) toplam taşıma maliyetleri ve (3) dağıtım merkezi ve satış mağazalarındaki elde tutma ve yerine koyma maliyetleridir. Bunlara ek olarak ağ dizayn modeli (4) stok tükenme durumu (uygun emniyet stokları belirleyerek) ve (5) kapasite kısıtlamalarını da hesaba katmalıdır. Böyle bir ödünleşme, iki kademeli bir envanter modelinin zor olmasından dolayı problemi zor

kılmaktadır. Bu makalede, modern envanter teorisinden de yararlanılarak yeni bir model önerilmiştir. Yaklaşım esnek olmakla beraber birçok yan kısıtı da değerlendirmektedir.

Şahin ve Süral, 2007: Bu çalışmada hiyerarşik tesis yerleştirme modelleri incelenmiştir. Birçok hiyerarşik tesis yerleşimi probleminin inceleme makaleleri varsa da 80'lerin ortasından beri modeller çok anlaşılır değildir. Bu inceleme literatürdeki bu boşluğu doldurmaktadır. Öncelikle incelediği sisteme göre hiyerarşik tesis problemleri; akış tipine, hiyerarşi seviyelerindeki servis imkanına, amaçlara ek olarak servis konfigürasyonlarına göre sınıflandırılmıştır. Daha sonra uygulamalar, karma tam sayılı programlama modelleri ve probleme önerilen çözüm yöntemleri değerlendirilmiştir. Seçilen çalışmalar çerçevesinde literatürdeki çalışmalar özetlenmiştir.

Tsiakis ve Papageorgiou, 2007: Bu çalışmanın amacı operasyonel ve finansal kısıtları olan bir üretim ve dağıtım ağının optimal konfigürasyonunu bulmaktır. Operasyonel kısıtlar kalite, üretim ve tedarik zorlukları, üretim yerlerinin atanması ve iş yükleme dengeleridir. Finansal kısıtlamalar ise üretim maliyetleri, taşıma ve gümrük maliyetleridir. Organizasyon talebi karşılayamadığında dış tedarikçilerden mal alınabilir. Optimizasyon modeli için karma tam sayılı bir model geliştirilmiştir. Farklı senaryo analizleri içinse global bir firma seçilmiştir.

Yukarıda incelenen çalışmaların yarısından fazlasında deterministik modeller kullanılmıştır. Stokastik ve bulanık modelleme kullanan çoğu çalışmadaki metodolojiler, pratikte anlaşılması ve kullanılması oldukça zor yöntemlerdir. Bu tez çalışmasında, bulanık ve stokastik programlamadan nispeten daha kolay, karar vericiye esnek ve interaktif çözüm sunabilen bir yöntem olan olasılıklı lineer programlama kullanılmıştır. Sayısal uygulama kısmında literatürde farklılaşma yaratmak adına, “minimum maliyetle” “maksimum kalitatif faktörler faydası” amaçlarını entegre eden bir modele rastlanmadığından, tezin model geliştirme bölümünde bu iki amacı entegre eden bir model ele alınmıştır.

Matematiksel model ele alan çalışmaların tamamına yakınındaki amaç veya amaçlardan bir tanesi minimum maliyet veya maksimum kâr oranıdır. Çok amaçlı modellerde diğer amaçlardan bazıları envanter oranlarının minimizasyonu, servis kalitesinin yükseltilmesi, talep tahmininin doğruluğu, minimum finansal risk vb.dir. Minimum maliyet amacı olarak en çok kullanılanlardan bir tanesi Pirkul 1998, Syarif 2002, Altıparmak 2006'nın çalışmalarından kullanılan minimum maliyet amacıdır. Bu tez çalışmasında da, birinci amaç olarak bu amaç literatürden alınmış, ancak olasılıklı lineer programlama yöntemi uygulanacağından, modelin girdileri üçgensel sayılarla kesin olmayan verilere dönüştürülmüştür. Kapasite sınırlı çok

amaçlı tesis yeri seçimi problemlerinde kalitatif faktörlerin minimum maliyetle entegre edildiği bir modele rastlanmadığından, tez çalışmasında bu yöne ağırlık verilmiştir. İkinci amacın amaç fonksiyon değerlerinin hesaplanması için son yıllarda sık kullanılmaya başlanan Analitik Hiyerarşi Prosesinden yararlanılmıştır. Tezin bir sonraki bölümünde kullanılan metodolojilere ait teorik bilgi detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.1 Literatür İncelemesi Özet Tablosu

Makalenin Yılı	İlk Yazar	Tedarik Zincirindeki Kademe Sayısı	Modelin Yapısı	Amaç Fonksiyonu veya Model Sayısı ve İçerikleri	Çözüm Yaklaşımı - Yöntemi ve Notlar
1997	Vidal ve Goetschalckx	-	-	-	Stratejik Tedarik Zinciri Modelleri üzerine Literatür Araştırması
1998	Beamon	5; T, F, DM, Taşıma, M	-	-	Çok Aşamalı Tedarik Zinciri Modeli üzerine Literatür Araştırması
1998	Korhonen vd.	-	-	-	Talep Zincirinde Bilgi Yönetim Sistemi
1998	Pirkul ve Jayaraman	4; T, F, DM, M	Deterministik	1; Min Toplam Maliyet	Karma Tamsayılı Programlama (PLANWAR adlı model) Sezgisel çözüm prosedürleri, Kapasitelendirilmiş tesis ve depo Tedarik Zinciri Yönetimi Problemi için Lagrangean Gevşetmesine dayalı sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir.
1999	Erenguc vd.	3 ; F, DM, M	Deterministik	4 ayrı model incelenmiş, (F, DM, Envanter için ayrı ayrı modeller anlatılmış)	Lineer Programlama
1999	Petrovic vd.	4; T, F, F, Son ürün Envanteri	Bulanık	1; Min Bulanık Toplam Maliyet	Bulanık Programlama
1999	Vercellis	2; F, DM	Deterministik	1; Minimum Maliyet (1 ve 2.kademede üretim maliyeti, envanter, sipariş karşılayamama, taşıma, fazla mesai)	{0,1} Karma Tamsayılı Programlama (KTSP), 2 adet sezgisel yöntem önermiş; 1; Tekli Sezgisel oran 2; Çoklu Sezgisel Oran
2000	Sabri ve Beamon	4; T, F, DM, M	Deterministik	2; Minimum Maliyet (1-Hammadde satınalma maliyeti + T'den F'ye taşıma maliyeti + 2- Sabit-Değişken Fabrika	Stratejik alt modeli operasyonel amaca dahil ederek Karma Tamsayılı

Makalenin Yılı	İlk Yazar	Tedarik Zincirindeki Kademe Sayısı	Modelin Yapısı	Amaç Fonksiyonu veya Model Sayısı ve İçerikleri	Çözüm Yaklaşımı - Yöntemi ve Notlar
				maliyetleri + 3- DM'deki değişken envanter ve elleçleme maliyetleri + F'den DM'lere taşıma maliyetleri) + 4- DM'den M'ye taşıma maliyeti)	Programlama (KTSP) ile bir model çalıştırıyor.
2001	Tang vd.	-	Olasılıklı	Olasılıklı Lineer Programlama Problemi (Formulation of GRPLP) Olasılıklı Lineer Programlama Problemi için Asimetrik model (Asymmetric model for GRPLP problems) Olasılıklı Lineer Programlama Problemi için Simetrik model (Symmetric model for GRPLP problems) Genel Olasılıklı Amaç Katsayılı Lineer Programlama Problemleri (The linear programming problems with general possibilistic objective coefficients) (GOPLP) Genel Olasılıklı Amaç Katsayılı Lineer Programlama Problemlerine Dual yaklaşım (The dual approach for GOPLP)	Olasılıklı Lineer Programlama Problemi ve dual çözüm kullanımı
2001	Jayaraman ve Pirkul	4; T, F, DM, M	Deterministik	1; Min Taşıma + Tesis Maliyetleri	Syarif Modeli ile aynı ancak 1'den fazla hammadde ve ürün kullanılmış, Değişken fazlalığı nedeni ile problem "deterministik olmayan çok terimli seriler" (NP complete) olmasından dolayı, problem Lagrange sezgiseli ile alt modellere bölünerek incelenmiştir.

Makalenin Yılı	İlk Yazar	Tedarik Zincirindeki Kademe Sayısı	Modelin Yapısı	Amaç Fonksiyonu veya Model Sayısı ve İçerikleri	Çözüm Yaklaşımı - Yöntemi ve Notlar
2002	Cakravastia vd.	3; T, F, M	Deterministik	1; Min.Tatminsizlik (ödünleşme...fiyat ve teslim süresi)	Lineer Programlama
2002	Goetschalckx	4; T, F, DM, M	Deterministik	2 ayrı model incelenmiş, Vergisiz Kar oranı (Global Model) ve Yerel (Müşteriler Sezonsal olarak farklı taleplerde bulunuyorlar)	1.model Primal Dekompozisyonlu Karma Tamsayı Programlama (KTSP) , 2.model sezgisel
2002	Heikkila	LİTERATÜR	-	-	Literatür Araştırması
2002	Jang vd.	7; (F,F,[F)F,{D,D,M}	Deterministik	1 Model; 3 farklı ağ için alt problemler şeklinde incelenmiş, bunlara FFF, FFD ve DDM modelleri denmiş, Amaç Min Maliyet	Lagrange sezgiseli ile alt modellere bölünerek incelenmiş, Model Syarif 2002 ile aynı model
2002	Syam	3; F, DM, M	Deterministik	-	-
2002	Syarif vd.	4; T, F, DM, M	Deterministik	Min Maliyet	Genetik Algoritma ve Lineer Programlama
2003	Braun vd.	4; Montaj, D, P, M	Deterministik	-	Önleyici Model Kontrol
2003	Chopra	3 ; F, DM, M	-	-	Çeşitli network yapıları ve performans kriterleri hakkında bilgi verilmiş

Makalenin Yılı	İlk Yazar	Tedarik Zincirindeki Kademe Sayısı	Modelin Yapısı	Amaç Fonksiyonu veya Model Sayısı ve İçerikleri	Çözüm Yaklaşımı - Yöntemi ve Notlar
2003	Kovacs ve Paganelli	-	-	-	Kompleks Tedarik Zinciri yönetimi için bilgi sistemleri ve bilgisayar programlarından bahsedilmiş
2003	Lopez vd.	6; T, F, FDM, DM, P, M	Deterministik	1, Max Kâr = Gelir - (Üretim Maliyetleri+ Envanter Maliyetleri + Taşıma Maliyetleri)	Karma Tamsayılı Lineer Programlama, Dinamik Model
2003	Rudberg ve Olhager	-	-	-	Yer seçimi için stratejik faktörlere değinilmiş
2003	Yan vd.	3; F, DM, M	Deterministik	1; Min (Toplam Satınalma Maliyeti (total purchasing cost) + Toplam Üretim Maliyeti(total production cost) + Toplam F 'den DM ye taşıma maliyeti + Toplam DM den M'ye taşıma maliyeti)	Karma Tamsayılı Programlama (MIP), Ürün Ağacı (BOM)' la ilişkilendirilmiş hammaddelerin alımı modeli ilişkendirmiş, Ürün Ağacı (BOM) kısıtları konmuş
2003	Zhou vd.	2; DM, M	Deterministik	2; Min Maliyet ve Min Taşıma Süresi	Genetik Algoritma, Sonuçlar Pareto Optimal Sonuçların içinde Pareto Frontier de aranıyor
2004	Chen ve Lee	3; F, DM, P	Bulanık	4; 1-Max Kar, 2- Max Emniyet Stoğu, 3- Max Ort.Müşteri Servis Düzeyi, 4-Max bu 3 amacın talep belirsizliğine karşı etkinliği	Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Lineer Olmayan Programlama, İki aşamalı bulanık karar verme

Makalenin Yılı	İlk Yazar	Tedarik Zincirindeki Kademe Sayısı	Modelin Yapısı	Amaç Fonksiyonu veya Model Sayısı ve İçerikleri	Çözüm Yaklaşımı - Yöntemi ve Notlar
2005	Guillen vd.	3; F, D, M	Stokastik	2 kademeli stokastik model , 3 Amaç Foksiyonu; 1- Max Şimdiki Değer, 2- Max Talep Tatmini, 3- Min Finansal Risk	Lineer Programlama, Deterministik Pareto Optimal Çözüm ile Stokastik Pareto Optimal Çözüm Karşılaştırması yapılmış
2005	Melo vd.	4; T, F, DM, M	Deterministik	1, Mevcut Tesisler Çalışırken Yeni Tesis Açmanın Etkileri Araştırılıyor	Karma Tamsayılı Programlama (KTSP)
2005	Revelle ve Eiselt	-	-	-	Literatür Taraması
2005	Santoso vd.	5 ; T, F, Bitmiş Ürün, D, C	Stokastik	Min Maliyet	Ulusal ve uluslararası tedarik zinciri için ayrı ayrı uygulanmış
2006	Altıparmak,et.al	4; T, F, DM, M	Deterministik	3; 1-Min Maliyet, 2- Max Müşteri servis düzeyi, 3-Kapasite kullanım dengesi	Karma Tamsayılı Lineer Olmayan Programlama ve Genetik Algoritma
2006	Amiri	3; F, DM, M	Deterministik	1; Min (Taşıma + Tesis) Maliyetleri	Karma Tamsayılı Modelleme, Lagrangean Sezgiseli
2006	Neto vd.	5; H, F, M, Test, Geri Dönüşüm	Deterministik	2; Min Maliyet ve Min Çevreye verilen zarar	Birleşimli Çok Amaçlı Problem Sezgiseli (Combinatorial Multiobjective Problem Heuristic), Veri Zarflama ve Çok Amaçlı Programlama (MOP)
2006	Vila vd.		Deterministik	1; Gelirler-Harcamalar	

Makalenin Yılı	İlk Yazar	Tedarik Zincirindeki Kademe Sayısı	Modelin Yapısı	Amaç Fonksiyonu veya Model Sayısı ve İçerikleri	Çözüm Yaklaşımı - Yöntemi ve Notlar
					Model Çok kapsamlı ve çok büyük, sayfa 367 de yeni açılma kararları ve maliyet kalemleri ile ilgili güzel bir tablo var
2006	Yılmaz ve Çantay	3; T, F, DM	Deterministik	1; Min (Üretim + taşıma + envanter tutma + kapasite genişletme) maliyeti	3 adet Lineer Programlama Sezgiseli ile çözüm denenmiş, Optimizasyon için CPLEX kullanılmış
2006	Zhang		Deterministik		M-Zincir Ekonomisi adlı modeli geliştirmiş
2007	Che vd.	6; H, F, F, Montaj, Test, M	Deterministik	Kantitatif+ Kalitatif Faktörler	Analitik Hiyerarşi Prosesi
2007	Pokharel	6; H, T, T, F, DM, M	Deterministik	2; Min Maliyet ve Max.Teslimat Güvenirliliği	Benayoun vd. 1971 önerdiği STEP metodu ile çözmüş, 2 amaç fonksiyonu arasında ödünleşme söz konusu
2007	Roghanian vd.		Stokastik	3; Min Ür.Maliyeti, Min Dağıtım Maliyeti, Min Dağıtım. Maliyeti	İki Seviyeli olasılıklı Programlama
2007	Romeijn vd.	2; DM, F	Deterministik	1, Minimum Maliyet, (Sabit DM, Taşıma, Emniyet Stok Envanteri + Sipariş Verme)	Bütünleşik Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı Problemi (Integrated Supply Chain Network Design Problem-ISCNDP)
2007	Şahin ve Süral		Deterministik	Farklı Modeller verilmiş	

Makalenin Yılı	İlk Yazar	Tedarik Zincirindeki Kademe Sayısı	Modelin Yapısı	Amaç Fonksiyonu veya Model Sayısı ve İçerikleri	Çözüm Yaklaşımı - Yöntemi ve Notlar
					Literatür Taraması + Farklı Tedarik Zinciri Modelleri ve çözüm yöntemleri
2007	Tsiakis ve Papageorgiou	3; F, D, M	Deterministik	1; Min Maliyet (Sabit Fabrika Maliyeti + Sabit DM Maliyeti + Üretim Maliyeti + DM'de Malzeme Taşıma Maliyeti + Taşıma Maliyeti + Gümrük Maliyetleri)	Karma Tamsayılı Programlama (KTSP)

4. ÇOK AMAÇLI TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN METODOLOJİLER

4.1 Olasılıklı Lineer Programlama

Zadeh (1978) olasılık teorisini önerdikten sonra, olasılıklı lineer programlama (OLP) konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Bulanık lineer programlamanın özel bir terimi olarak, olasılıklı lineer programlama, olasılık dağılımlarıyla ifade edilen kesin olmayan katsayıları olan lineer programları (LP) çözmeye çalışmaktadır. Genellikle bulanık lineer programlama, sübjektif (öznel) tercihe bağlı üyelik fonksiyonları ile tanımlanan bulanık verilerle formüle edilmektedir. Oysa olasılıklı lineer programlama sübjektif veya objektif tabanlı olasılıklı dağılımlardan gelen kesin olmayan verilerle formüle edilmektedir. Bu açıdan olasılıklı lineer programlama ile bulanık lineer programlama birbirlerinden ayrılırlar. Olasılıklı lineer programlama, stokastik lineer programlamadan farklı olarak, bilgisayar etkinliği ve esnek bir yapı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda belirsiz ortamlarda olasılıklı interaktif karar vermeyi de destekler. Genellikle OLP beş sınıfta özetlenebilir:

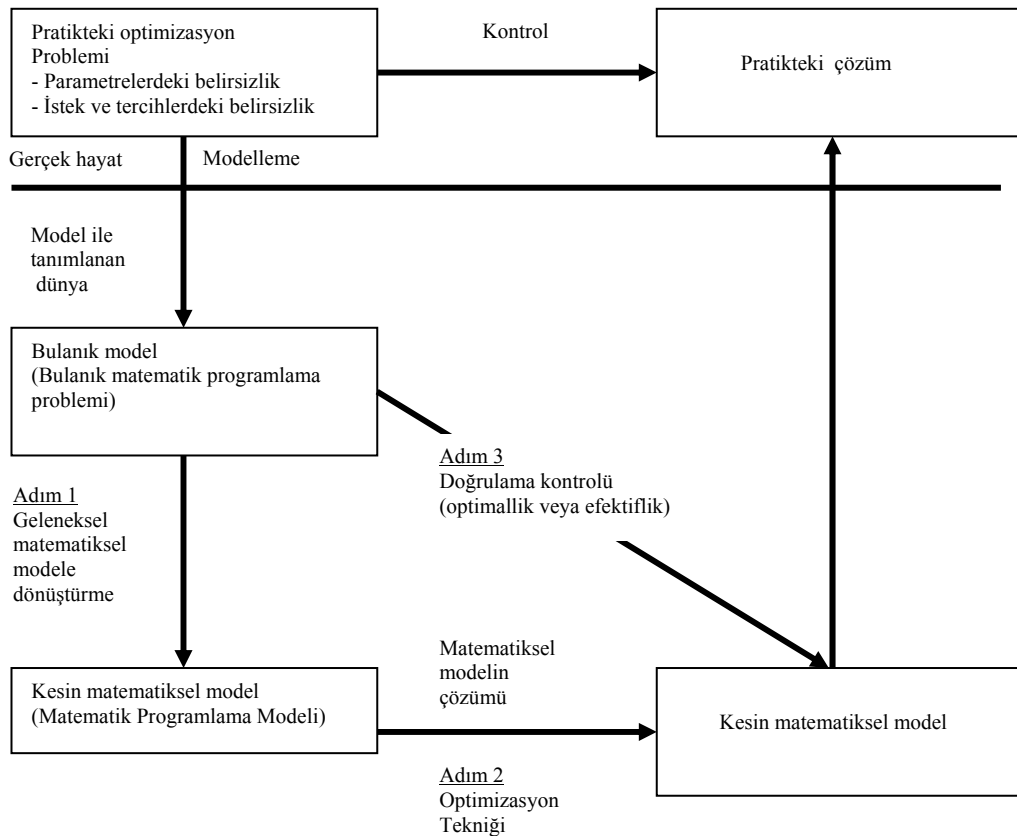
- (1) Kesin olmayan kaynak kısıtlı ($\tilde{b}$) LP problemleri (OLP-1),
- (2) Kesin olmayan amaç fonksiyonu katsayılı ($\tilde{c}$) LP problemleri (OLP-2),
- (3) Kesin olmayan kaynak kısıtlı ($\tilde{b}$) ve teknik/teknolojik katsayılı ($\tilde{A}$) LP problemleri (OLP-3),
- (4) Kesin olmayan kaynak kısıtlı ($\tilde{b}$) veya amaç fonksiyonu katsayılı ($\tilde{c}$) ve teknik katsayılı $\tilde{A}$ LP problemleri (OLP-4),
- (5) Kesin olmayan kısıtlı ($\tilde{b}$) ve amaç fonksiyonu katsayılı ($\tilde{c}$) ve teknik katsayılı ($\tilde{A}$) LP problemleri (OLP-5),

Lai ve Hwang (1992) OLP-2'deki belirsiz sayıları çok amaçlı bir lineer programlamada keskin hale getirme yaklaşımını önermişlerdir. Bunu yaparken $\tilde{c}$ üçgensel sayısını en olası değer ($\tilde{c}_i^m$), en iyimser değer ($\tilde{c}_i^o$), en kötümser değer ($\tilde{c}_i^p$) olarak ifade etmişlerdir. Ramik ve Rimanek (1985) $\tilde{b}$ ve $\tilde{A}$ sayılarını trapezoidal olarak varsaymış ve OLP-3'ü çözmek için bir yöntem geliştirmiştir. Tanaka ve Asai (1984) OLP-3'ün üçgen sayılarla çözümünü tartışmıştır. Lai ve Hwang (1992) OLP-5' in üçgen sayılarla çözümü için bir metodoloji geliştirmiştir. Buckley (1989), $\tilde{b}$, $\tilde{c}$, $\tilde{A}$ 'nın trapezoidal sayılar olduğu varsayımı altında, amaç fonksiyonu için olasılık dağılımı ve şartlı olasılık dağılımı belirleyerek, OLP-5'i

parametrik hale döndürmüştür. Debois (1987) olasılık teorisine dayalı olarak dört eşitsizlik indisi belirterek katsayılardaki bulanık çarpanların olasılık dağılımları yerine de kullanılabileceğini belirtmiştir. Yani olasılıklı lineer programlama, bulanık lineer programlama ile iç içedir.

4.1.1 Bulanık Matematik Programlama Yaklaşımı

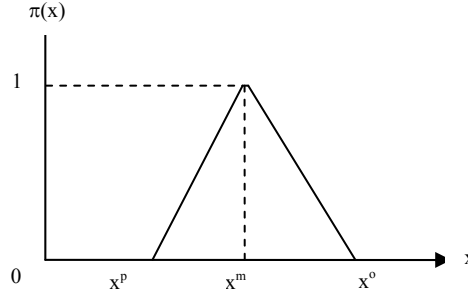
Olasılıklı lineer programlama yaklaşımı hakkında detaylı bilgi vermeden önce bulanık matematiksel programlamadan genel olarak bahsetmek yararlı olacaktır. Şekil 4.1’de bulanık programlamanın genel yapısı gösterilmiştir. Geleneksel bir matematiksel programlamadan farklı olarak, gerçek bir uygulama ilk olarak bulanık parametreler kullanılarak modellenmiştir. Buradaki gerçeklik modelin belirsizlik içermesidir. Öncelikle ilk aşamada, bulanık model, problemdeki yorumlar da göz önünde bulundurularak klasik geleneksel matematiksel modele dönüştürülür. İkinci aşamada dönüştürülmüş olan matematiksel model bir optimizasyon tekniği ile çözülür. Elde edilen sonuç genellikle etkin veya optimal çözümdür. Üçüncü aşamada bunun optimalliği sorgulanabilir. Eğer sonuç tatmin edici değilse bulanık model yeniden gözden geçirilir ve süreç tatmin edici değerler elde edilinceye kadar tekrar edilir (Inuiguchi ve Rimanek, 2000).



Şekil 4.1 Bulanık matematik programlama yaklaşımı (Inuiguchi ve Ramik, 2000)

4.1.2 Olasılıklı Lineer Programlama

Olasılıklı lineer program çeşitlerini incelemeden önce, bu programlama tipinde en çok kullanılan üçgensel dağılımları kısaca tanıtmak faydalı olacaktır. Bulanık/kesin olmayan sayıların ifadesinde Zadeh (1978) tarafından Şekil 4.2’de görülen olasılık dağılımları kullanılmıştır. Bu çalışmada, bir olayın olasılığının ölçümü, π olasılık dağılımına bağlı olarak meydana gelmesinin olasılık derecesidir.



Şekil 4.2. Bulanık sayı x 'in üçgensel olasılık dağılımı

Değişik dağılım tipleri arasından, üçgensel ve trapezoid dağılımlar olasılıklı matematiksel programlama problemleri için en çok kullanılanlardır. Buna ek olarak üçgen bulanık sayılar kullanım kolaylığı ve basitlikleri açısından araştırmalarda en çok tercih edilen bulanık sayı setleridir.

Üçgensel bulanık sayılar $X = (x^p, x^m, x^o)$ şeklinde gösterilebilir. Burada x^m en olası değerdir (olasılık dağılımı $\pi(x)=1$ 'dir), x^p ve x^o ise sırası ile en kötümser ve en iyimser değerlerdir. Amaç fonksiyonunun içeriğine bağlı olarak iyimser ve kötümser değerlerin yerleri değişebilmektedir. Örneğin amaç fonksiyonu minimizasyon ise üçgensel sayıların büyük olanı en kötümser sayı iken, amaç fonksiyonu maksimizasyon olduğunda ise en büyük değer en iyimser değer olabilmektedir (Karkowski, 1995).

Üçgensel sayılarla ifade tarzı açısından burada bir örnek verebiliriz. Örneğin bir parçanın üretim miktarını tam olarak belirlemenin zor olduğu bir durumda kesin ve kötü bir tahmin yapmak yerine üretim adedi üçgensel sayı cinsinden ifade edilecek olursa, $\text{Üretim}(A) = X = (300, 350, 370)$, en olası A üretim miktarının 350 olacağını, 300'den daha küçük, 370'den de daha büyük bir üretim miktarının beklenmediğini göstermektedir.

4.1.2.1 Kesin Olmayan Amaç Fonksiyonu Katsayılı ($\tilde{c}$) LP Problemleri (OLP-2)

Kesin olmayan amaç fonksiyonu katsayılı LP (kâr maksimizasyonu) problemi aşağıdaki (4.1)

gibi ifade edilebilir: $\max \sum_{i=1}^n \tilde{c}_i x_i$

$$\text{s.k.g } x \in X = \{x \mid Ax \leq b \text{ ve } x \geq 0\} \quad (4.1)$$

Üçgensel dağılım kullanılacak olursa $\tilde{c}_i = (c_i^p, c_i^m, c_i^o)$ olarak ifade edilebilir. Yukarda da daha önceden bahsedildiği gibi c_i^p olası en kötümser değer, c_i^m en olası değer ve c_i^o da olası en iyimser değerdir. Bu problem (4.1) üç amacı olan yardımcı çok amaçlı lineer programlama (ÇALP) ile çözülebilir. c katsayısının kâr katsayısı olduğu varsayılacak olursa, bu amaçlar; (a) olası en düşük kârın minimize edilmesi, (b) en olası kârın maksimize edilmesi ve (c) olası en yüksek kârın maksimize edilmesidir (Lai ve Hwang, 1992).

Yardımcı Çok Amaçlı Lineer Programlama

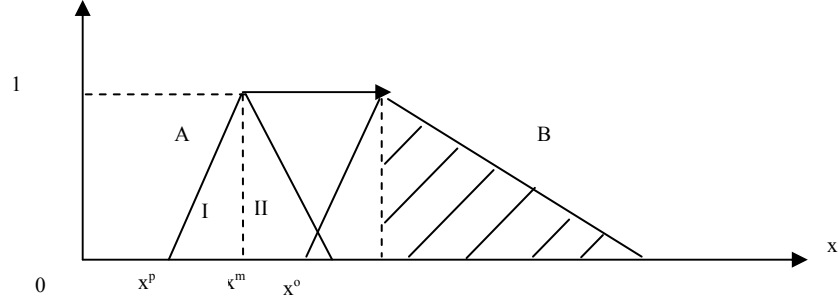
Problem (4.1)'in amaç fonksiyonu üçgensel dağılıma çevrilmiş katsayılarla yeniden yazılırsa aşağıdaki şekle dönüşür:

$$\max_{x \in X} \sum_{i=1}^n (c_i^p x_i, c_i^m x_i, c_i^o x_i) \quad (4.2)$$

Kesin olmayan değerlere sahip olan amaç fonksiyonundaki üçgensel dağılım, geometrik olarak bir üçgenin $((c^p)x, 1)$, $((c^m)x, 0)$, $((c^o)x, 0)$ noktaları ile ifade edilebilir. Bu bulanık amaç fonksiyonunu maksimize etmek için bu üç noktanın sağ tarafa doğru itilmesi gerekmektedir. Üç noktanın dikeydeki koordinatları 0 ve 1 noktalarında sabittir. Sadece yatay noktalar yatayda kaydırılabilir. Üçgen formunu bozmadan, bu üç noktanın maksimize edilmesi yerine küçük bir değişiklik yaparak $(c^m)x$ 'i maksimize etmek, $[(c^m)x - (c^p)x]$ 'i minimize etmek ve $[(c^o)x - (c^m)x]$ 'i maksimize etmek ve üçgeni sağa kaydırmak daha iyi optimum değerler verecektir. $(c^m)x$ ilk amaç fonksiyonu olmak üzere diğer fonksiyonlar $(c^m)x$ 'e bağlı göreceli fonksiyonlardır. Buna bağlı olarak (4.2)'deki amaç fonksiyonu yardımcı çok amaçlı bir lineer program sayesinde şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned}
\min z_1 &= (c^m - c^p)x, \\
\max z_2 &= (c^m)x, \\
\max z_3 &= (c^o - c^m)x, \\
\text{s.k.g. } x &\in X.
\end{aligned} \tag{4.3}$$

(4.3)'deki çok amaçlı lineer programlama Şekil 4.3'de görüldüğü üzere orta noktayı kaydırarak en olası kârı maksimize etmeye, aynı zamanda I no'lu bölgeyi küçültmek "daha düşük kâr elde etme riskini" küçültmeye ve II bölgesini büyüterek "daha yüksek kâr elde etme olasılığını" arttırmaya çalışmaktadır. Şekil 4.3'deki B dağılımı A dağılımına tercih edilir (Lai ve Hwang, 1992). Çok amaçlı lineer programlama yönteminde Zimmermann (1978) bulanık programlama metodunu kullanılabilir.



Şekil 4.3 $\tilde{x}$ 'in çözüm stratejisi

Öncelikle üç amaç fonksiyonun pozitif ideal çözümleri (PIS) ve negatif ideal çözümlerini (NIS) hesaplamak gerekir (Hwang ve Yoon, 1981), bunlar aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$z_1^{PIS} = \min_{x \in X} (c^m - c^p)x, \quad z_1^{NIS} = \max_{x \in X} (c^m - c^p)x, \tag{4.4 a}$$

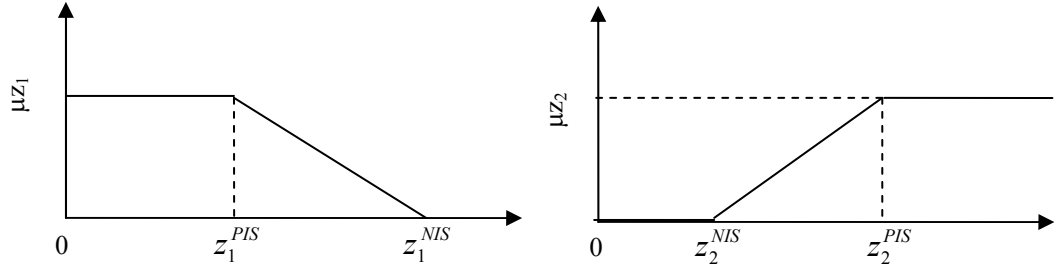
$$z_2^{PIS} = \max_{x \in X} c^m x, \quad z_2^{NIS} = \min_{x \in X} c^m x, \tag{4.4 b}$$

$$z_3^{PIS} = \max_{x \in X} (c^o - c^m)x, \quad z_3^{NIS} = \min_{x \in X} (c^o - c^m)x, \tag{4.4 c}$$

Sonraki aşamada lineer üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Şekil 4.4):

$$\mu z_1 = \begin{cases} 1, & z_1 < z_1^{PIS}, \\ \frac{z_1^{NIS} - z_1}{z_1^{NIS} - z_1^{PIS}}, & z_1^{PIS} \leq z_1 \leq z_1^{NIS}, \\ 0, & z_1 > z_1^{NIS}, \end{cases} \tag{4.5}$$

$$\mu_{z_2} = \begin{cases} 1, & z_2 > z_2^{PIS}, \\ \frac{z_2 - z_2^{NIS}}{z_2^{PIS} - z_2^{NIS}}, & z_2^{NIS} \leq z_2 \leq z_2^{PIS}, \\ 0, & z_2 < z_2^{NIS}, \end{cases} \quad (4.6)$$



Şekil 4.4 z_1 ve z_2 'nin üyelik fonksiyonları

z_2 ve z_3 amaç fonksiyonlarından ikisi de maksimizasyon olduğundan μ_{z_3} de μ_{z_2} ile benzerdir. Son olarak, Zimmermann (1978)'in tek amaçlı lineer programlama modeline şu şekilde dönüşüm yapılır:

$$\begin{aligned} & \max \lambda \\ & \text{ş.k.g. } \mu_{z_i} \geq \lambda, \quad i = 1, 2, 3 \\ & x \in X \end{aligned} \quad (4.7)$$

(4.7)'nin optimal çözümü, daha az kâr elde etme olasılığını azaltırken, en olası kârı ve daha fazla kâr elde etme olasılığını maksimize etmektedir. Maksimizasyon yerine minimizasyon problemi için (örneğin toplam maliyet minimizasyonu için) şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned} & \max (c^m - c^p) x, \\ & \min (c^m) x, \\ & \min (c^o - c^m) x, \\ & \text{ş.k.g. } x \in X, \end{aligned} \quad (4.8)$$

Bu problem de benzer şekilde yukarıdaki aynı metodla çözülebilir.

4.1.2.2 Kesin Olmayan Kaynak Kısıtlı ($\tilde{b}$) veya Amaç Fonksiyonu Katsayılı ($\tilde{c}$) ve Kesin Olmayan Teknik Katsayılı ($\tilde{A}$) LP Problemleri (OLP-4)

Eğer amaç fonksiyonunda kesin olmayan katsayılar bir de problemin teknik (teknolojik) katsayılarının kesin olmayışı eklenirse problem şu şekle dönüşür:

$$\begin{aligned} \max \quad & \tilde{c} x \\ \text{ş.k.g} \quad & x \in X = \{x \mid \tilde{A}x \leq b \text{ ve } x \geq 0\} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Burada b katsayısı kesindir, ancak $\tilde{c}$ ve $\tilde{A}$ kesin değillerdir. (c^p, c^m, c^o) ve (A^p, A^m, A^o) üçgensel dağılımlarla ifade edildikleri varsayılacak olursa, problem bulanık olan tüketilen kaynakların ($\tilde{A}x$), mevcut ve kesin kaynaklarla (b) nasıl karşılaştırılacağı olmaktadır. Çözümlerden bir tanesi tüketilen bulanık kaynakları ($\tilde{A}x$) kesin olan sayılarla ifade etmektir. Bu aşamadan sonra yardımcı lineer program rahatça yazılabilecektir. Kesin olmayan tüketilen kaynakları kesin hale dönüştürmek için en olası, en iyimser ve en kötümser değerlerin ağırlıklandırılmış ortalamaları kullanılabilir (Wang ve Liang, 2005). Matematiksel olarak ifade edilirse; $w_1 A^m x + w_2 A^p x + w_3 A^o x$ ve $w_1 + w_2 + w_3 = 1$. Buna göre yardımcı kesin değerli kısıt $w_1 A^m x + w_2 A^p x + w_3 A^o x \leq b$ olacaktır. Eğer minimal kabul edilebilir olabilirlik β verilirse, yardımcı kesin değerli kısıt $(w_1 A_\beta^m + w_2 A_\beta^p + w_3 A_\beta^o) \leq b$ olacaktır.

Yardımcı Çok Amaçlı Lineer Programlama

$w_1 = \frac{4}{6}$, $w_2 = \frac{1}{6}$, $w_3 = \frac{1}{6}$ oldukları varsayılacak olursa (Hwang ve Yoon, 1981), kesin olmayan amaç fonksiyonu katsayılı ($\tilde{c}$) ve kesin olmayan teknik katsayılı ($\tilde{A}$) problemin yardımcı çok amaçlı lineer programı şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \min z_1 &= (c^m - c^p) x, \\ \max z_2 &= (c^m) x, \\ \max z_3 &= (c^o - c^m) x, \\ \text{ş.k.g.} \quad & \left\{ \frac{1}{6} (4A_\beta^m + A_\beta^p + A_\beta^o) \right\} x \leq b \text{ ve } x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.10)$$

Yukarda atanmış olan ağırlıklar sübjektif olarak değiştirilebilirler. Yukarıdaki ağırlıkların kullanılmasının sebebi A_β^p çok kötümserdir, A_β^o ise çok iyimser. Bu iki değer sınır değerleri ve sınır çözümleri verirler. Bunun yanında en olası değer her zaman en önemli değerdir. O

yüzden en olası değere daha fazla ağırlık atanması gerekir. β değeri sübjektif olarak karar verici tarafından da belirlenebilir. 0 ve 1 arasında değişmek üzere $\beta=0,0 ; 0,1;\dots;1$ 'de her değerde farklı sonuçların tablosu karar verici açısından interaktif bir çözüm sağlar.

4.1.2.3 Kesin Olmayan Kısıt Kaynaklı ($\tilde{b}$) ve Amaç Fonksiyonu Katsayılı ($\tilde{c}$) ve Kesin Olmayan Teknik Katsayılı ($\tilde{A}$) LP Problemleri (OLP-5)

Mevcut kaynakların da belirsiz hale gelmesiyle, (4.10) daki maksimizasyon modeli şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \max \quad & \tilde{c}x \\ \text{s.k.g.} \quad & \tilde{A}x \leq \tilde{b} \quad \text{ve} \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.11)$$

Ramık ve Rimanek (1985) ve Tanaka vd. (1984), belirsiz kaynak kısıtlarını bulanık sıraya sokma prosedürü ile kesin hale getirmişlerdir. Buna göre β verildiğinde yardımcı çok amaçlı lineer programlama şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \min z_1 &= (c^m - c^p)x, \\ \max z_2 &= (c^m)x, \\ \max z_3 &= (c^o - c^m)x, \\ \text{s.k.g.} \quad & A_\beta^m x \leq b_\beta^m, \quad A_\beta^p x \leq b_\beta^p, \quad A_\beta^o x \leq b_\beta^o \quad \text{ve} \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.12)$$

4.1.3 İki Fazlı Olasılıklı Lineer Programlama

(4.3) ve (4.8) deki çok amaçlı lineer programların matematiksel olarak genelleştirilmiş hali Zimmermann (1978) tarafından şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} \max \quad & Z = [c_1x, c_2x, \dots, c_lx]^T \\ \min \quad & W = [c_1x, c_2x, \dots, c_rx]^T \\ \text{s.t} \quad & Ax \leq b, \\ & x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Üyelik fonksiyonlarının buna bağlı olarak yazımı ise (4.14) eşitliklerinde gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} \mu_k(Z_k) &= \frac{Z_k(x) - Z_k^{NIS}}{Z_k^{PIS} - Z_k^{NIS}}, \quad k = 1, 2, \dots, l, \\ \mu_s(W_s) &= \frac{W_s^{NIS} - W_s(x)}{W_s^{NIS} - W_s^{PIS}}, \quad s = 1, 2, \dots, r, \end{aligned} \quad (4.14)$$

Z_k^{PIS}, W_s^{PIS} ve Z_k^{NIS}, W_s^{NIS} pozitif ve negatif ideal çözümlerdir. “Max-min”

operatörü ve $\lambda^{(1)}$ tatmin derecesi ile, çok amaçlı LP problemi tek amaç haline ilk fazda aşağıdaki gibi dönüştürülebilir:

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \lambda^{(1)} \\
 \text{s.t.} \quad & \lambda^{(1)} \leq (Z_k(x) - Z_k^{NIS}) / (Z_k^{PIS} - Z_k^{NIS}), \quad k = 1, 2, \dots, l, \\
 & \lambda^{(1)} \leq (W_s^{NIS} - W_s(x)) / (W_s^{NIS} - W_s^{PIS}), \quad s = 1, 2, \dots, r, \\
 & x \in X \\
 & \lambda^{(1)} \in [0, 1]
 \end{aligned} \tag{4.15}$$

Max-min operatörünün en dezavantajlı yönlerinden bir tanesi üyelik fonksiyonlarından en az tatmin olanı göstermesidir. Halbuki diğer üyeliklerden oldukça iyi durumda olanları gösterememektedir. Bu yüzden 2.fazda bu dezavantajlı durum ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır.

Lee ve Li (1993), Guu ve Wu (1999), Li ve Li (1993) ve Amid vd. (2006) tek fazlı yaklaşımdaki max-min operatörünün dezavantajını bertaraf etmek için iki fazlı yaklaşımı kullanmışlardır. İki fazlı yaklaşım birinci fazdaki $\lambda^{(1)}$ tatmin olma derecesini kullanmaktadır. İkinci fazda çözüm birinci fazdan gelen $\lambda^{(1)}$ 'i ikinci fazda kısıtlara ekleyerek bir iyileşme sağlamaya çalışmaktadır. Aritmetik ortalama operatörü $\bar{\lambda}_{k,s}^{(2)}$, 1.fazdaki $\lambda^{(1)}$ operatörünü bölerek, amaçların ayrı tatmin olma seviyelerini gösterebilmekte ve ödünleşme yapabilmeye olanak sağlamaktadır. Karar verici daha fazla önem verdiği amaç(lar)ı daha fazla tatmin etmeye çalışmak için değişik çözüm alternatifleri isteyebilir. (4.15) deki problemi 2.fazda şu şekilde ifade edebiliriz:

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \bar{\lambda}_{k,s}^{(2)} = \frac{1}{l+r} \sum_{i=1}^{l+r} \lambda_i \\
 \text{s.t.} \quad & \lambda^{(1)} \leq \lambda^{(2)}_k \leq (Z_k(x) - Z_k^{NIS}) / (Z_k^{PIS} - Z_k^{NIS}), \quad k = 1, 2, \dots, l, \\
 & \lambda^{(1)} \leq \lambda^{(2)}_s \leq (W_s^{NIS} - W_s(x)) / (W_s^{NIS} - W_s^{PIS}), \quad s = 1, 2, \dots, r, \\
 & x \in X \\
 & \lambda \in [0, 1]
 \end{aligned} \tag{4.16}$$

1.fazdan elde edilen sonuç etkin bir çözüm olmayabilir, diğer taraftan eğer $\bar{\lambda}_{k,s}^{(2)}$ 2.fazda uygun belirlenmezse, çözüm prosesi daha zor hale gelebilir. $\bar{\lambda}_{k,s}^{(2)}$ 'nin uygun belirlenebilmesi adımları Li ve Li (1993) tarafından şu şekilde verilmiştir:

- (1) Max-min operatörünün negatif ideal çözümünü başlangıç çözüm olarak al, $O = Z^{NIS}$; optimal bir çözüm elde etmek için model (4.15)'i çöz ve $\lambda^{(1)}$ 'i hesapla.
- (2) $\bar{\lambda}_{k,s}^{(2)} = \lambda^{(1)}$ olarak al ve model (4.16)'yı çözerek 2.faz için optimal bir sonuç elde et.

4.1.4 Senaryo Analizi ve İnteraktif Çözüm Seti

İkinci fazda elde edilen sonuçlarla ilk faz karşılaştırıldığında her zaman gelişme sağlanamayabilir. Sağlansa bile karar vericiye interaktif çözüm seti sunabilmek için çok amaçlı oluşun problemin, farklı amaçlarının farklı seviyelerdeki tatmin düzeylerinin birbirlerini nasıl etkilediklerini görmek açısından senaryo analizi yapılabilir. Bu analiz ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir ve karar vericiye çözüm yerine çözümler seti sunulur farklı durumlarda amaçların birbirleri ile nasıl ödünleştikleri gösterilmiş olur.

4.1.5 OLP Modellerinden Örnekler

4.1.5.1 Toplu Üretim Planlama ile İlgili Örnek OLP Modeli

Üretim planlamadaki çoğu çalışma, genellikle toplam maliyet minimizasyonu üzerinde durmuştur. Toplam maliyet, üretim maliyetleri ve T zamanı içinde değişen işçilik maliyetleridir. Buna bağlı olan maliyet katsayıları genellikle kesin değillerdir, çünkü ya bilgi eksikliği vardır ya da orta vadeli bir zaman içerisinde kesin tahmin edilemezler. Buna bağlı olarak Wang ve Liang (2005)'in çalışmalarındaki amaç fonksiyonu (4.17) problemindeki gibidir:

Olasılıklı Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } \tilde{z} = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (\tilde{a}_{nt} Q_{nt} + \tilde{b}_{nt} O_{nt} + \tilde{c}_{nt} S_{nt} + \tilde{d}_{nt} I_{nt} + \tilde{e}_{nt} B_{nt}) + \sum_{t=1}^T (\tilde{k}_t H_t + \tilde{m}_t F_t) \quad (4.17)$$

burada $\tilde{a}_{nt}, \tilde{b}_{nt}, \tilde{c}_{nt}, \tilde{d}_{nt}, \tilde{e}_{nt}, \tilde{k}_{nt}$ ve $\tilde{m}_{nt}$ kesin olmayan üçgensel dağılımlara sahip katsayılardır.

Yukardaki denklemde $\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (\tilde{a}_{nt} Q_{nt} + \tilde{b}_{nt} O_{nt} + \tilde{c}_{nt} S_{nt} + \tilde{d}_{nt} I_{nt} + \tilde{e}_{nt} B_{nt})$ toplam üretim maliyetini gösterir. Bu toplam maliyetin beş bileşeni; $\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \tilde{a}_{nt} Q_{nt}$ normal mesai üretim maliyeti, $\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \tilde{b}_{nt} O_{nt}$ fazla mesai üretim maliyeti, $\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \tilde{c}_{nt} S_{nt}$ fason yaptırma maliyeti, $\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \tilde{d}_{nt} I_{nt}$ elde envanter tutma maliyeti, ve $\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \tilde{e}_{nt} B_{nt}$ siparişi geri

çevirme maliyetidir. $\sum_{t=1}^T (\tilde{k}_t H_t + \tilde{m}_t F_t)$ işçilik seviyesinin zaman içinde değişiminin maliyetini yansıtmaktadır (işe işçi alma ve çıkarma maliyeti) (Wang ve Liang, 2005).

Kısıtlar

Envanter Kısıtları

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + Q_{nt} + O_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} = \tilde{D}_{nt} \quad \forall n, \forall t \quad (4.18)$$

burada $\tilde{D}_{nt}$, n . ürünün t döneminde kesin olmayan talebini göstermektedir. Gerçek hayatta da dinamik pazardaki talep tahminleri tam olarak tahmin edilemezler. Normal ve fazla mesai üretim, envanter, fason yaptırma ve siparişin geri çevrilme miktarlarının toplamı eşitlik (3.18)'de de görüldüğü gibi talebe eşit olmalıdır. Ayrıca talebin tümünün karşılandığı varsayılmıştır.

İşçilik Seviyesi Kısıtı

$$\sum_n^N i_{nt-1} (Q_{nt-1} + O_{nt-1}) + H_t - F_t - \sum_{n=1}^N i_{nt} (Q_{nt} + O_{nt}) = 0 \quad \forall t \quad (4.19)$$

$$\sum_n^N i_{nt-1} (Q_{nt} + O_{nt}) \leq \tilde{W}_{t \max} \quad \forall t \quad (4.20)$$

şeklinde olup (4.19) eşitliği t dönemindeki işçilik adedinin “ $t-1$ dönemindeki işçiler artı t dönemindeki işe alınan yeni işçiler”e eşit olduğunu göstermektedir. Mevcut işçilik seviyesi maksimum işçilik seviyesini geçemez. $\tilde{W}_{t \max}$ maksimum işçilik seviyesi kesin değildir, çünkü pazardaki talep ve buna bağlı işçi sayısı değişebilmektedir.

Makine Kapasitesi ve Depo Alanı Kısıtı

$$\sum_{n=1}^N \tilde{r}_{nt} (Q_{nt} + O_{nt}) \leq \tilde{M}_{nt \max} \quad \forall t \quad (4.21)$$

$$\sum_{n=1}^N v_{nt} I_{nt} \leq V_{t \max} \quad \forall t \quad (4.22)$$

olup burada $\tilde{r}_{nt}$ ve $\tilde{M}_{nt \max}$ sırasıyla n . ürünün birim başına kesin olmayan makina kullanımını ve t döneminde kesin olmayan maksimum mevcut makina kullanımını göstermektedir. (4.21) ve (4.22) kısıtları her dönemdeki mevcut makina ve depo kapasitesini kısıtlamaktadır.

Kesin Olmayan Katsayı ve Kısıt Değerlerinin Üçgensel Dağılımları

Bu örnekte karar vericinin tüm kesin olmayan katsayılar için üçgensel dağılım kullandığı varsayılmıştır. Yani kesin olmayan değerler en olası, en iyimser ve en kötümser olmak üzere üçlü sayı setleri ile ifade edilmektedir. Geçmiş verilerden tahmin yaparak veya yöneticilere sorularak bu üçlü sayı setleri belirlenebilir. Katsayıların matematiksel ifadeleri şöyledir:

$$\begin{aligned}
 \tilde{a}_{nt} &= (a_{nt}^p, a_{nt}^m, a_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t, \\
 \tilde{b}_{nt} &= (b_{nt}^p, b_{nt}^m, b_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t, \\
 \tilde{c}_{nt} &= (c_{nt}^p, c_{nt}^m, c_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t, \\
 \tilde{d}_{nt} &= (d_{nt}^p, d_{nt}^m, d_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t, \\
 \tilde{e}_{nt} &= (e_{nt}^p, e_{nt}^m, e_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t, \\
 \tilde{k}_{nt} &= (k_{nt}^p, k_{nt}^m, k_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t, \\
 \tilde{m}_{nt} &= (m_{nt}^p, m_{nt}^m, m_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t, \\
 \tilde{r}_{nt} &= (r_{nt}^p, r_{nt}^m, r_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t, \\
 \tilde{D}_{nt} &= (D_{nt}^p, D_{nt}^m, D_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t, \\
 \tilde{W}_{t \max} &= (W_{t \max}^p, W_{t \max}^m, W_{t \max}^o) \quad \forall t, \\
 \tilde{M}_{t \max} &= (M_{t \max}^p, M_{t \max}^m, M_{t \max}^o) \quad \forall t,
 \end{aligned}$$

Yardımcı Çok Amaçlı Lineer Programlama

Yukarıdaki problemini çözebilmek için öncelikle tek amaçlı kesin olmayan katsayılı amaç fonksiyonunu çok amaçlı kesin değerli şekle dönüştürmek gerekir. Bu kesin olmayan amaç fonksiyonu geometrik olarak $(z^p, 0)$, $(z^m, 1)$ ve $(z^o, 0)$ noktaları ile ifade edilebilir. Bu amaç fonksiyonunun minimizasyonu bu üç noktanın sola kaydırılması ile olur. Ancak Lai ve Hwang (1992) yaklaşımı ile z^m minimum, $(z^m - z^p)$ minimum ve $(z^m - z^o)$ maksimum olacak şekilde optimize edilmeye çalışılmaktadır. Buna göre kesin katsayılı yardımcı çok amaçlı lineer programlamanın amaç fonksiyonları şöyledir:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z_1 &= z^m \\
 &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [a_{nt}^m Q_{nt} + b_{nt}^m O_{nt} + c_{nt}^m S_{nt} + d_{nt}^m I_{nt} + e_{nt}^m B_{nt}] + \sum_{t=1}^T (k_t^m H_t + m_t^m F_t) \quad (4.23)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Min z_2 &= (z^p - z^m) \\
&= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [(a_{nt}^p - a_{nt}^m)Q_{nt} + (b_{nt}^p - b_{nt}^m)O_{nt} + (c_{nt}^p - c_{nt}^m)S_{nt} + (d_{nt}^p - d_{nt}^m)I_{nt} + (e_{nt}^p - e_{nt}^m)B_{nt}] \\
&\quad + \sum_{t=1}^T [(k_t^p - k_t^m)H_t + (m_t^p - m_t^m)F_t]
\end{aligned} \tag{4.24}$$

$$\begin{aligned}
Max z_3 &= (z^m - z^o) \\
&= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [(a_{nt}^m - a_{nt}^o)Q_{nt} + (b_{nt}^m - b_{nt}^o)O_{nt} + (c_{nt}^m - c_{nt}^o)S_{nt} + (d_{nt}^m - d_{nt}^o)I_{nt} + (e_{nt}^m - e_{nt}^o)B_{nt}] \\
&\quad + \sum_{t=1}^T [(k_t^m - k_t^o)H_t + (m_t^m - m_t^o)F_t]
\end{aligned} \tag{4.25}$$

Kesin Olmayan Kısıtlar Ve Teknolojik Katsayılar

Toplu üretim planlamanın gerçek uygulamalarında yönetici (planlamacı) kesin olmayan talep için tecrübesine bağlı olarak veya geçmiş verileri kullanarak bir aralık tahmininde bulunabilir. Asıl sorun bunun nasıl kesin hale getireleceğidir. Lai ve Hwang (1992) tarafından önerilen ağırlıklı ortalama yöntemi, $\tilde{D}_{nt}$ sayısını kesin hale dönüştürmek için kullanılmıştır. Eğer minimum kabul edilebilirlik, β verilirse kısıt (4.18) ve (4.20) kesin değerlerle aşağıdaki gibi ifade edilebilirler:

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + Q_{nt} + O_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} = w_1 D_{nt,\beta}^p + w_2 D_{nt,\beta}^m + w_3 D_{nt,\beta}^o \quad \forall n, \forall t \tag{4.26}$$

$$\sum_n^N i_{nt} (Q_{nt} + O_{nt}) \leq w_1 W_{t \max, \beta}^p + w_2 W_{t \max, \beta}^m + w_3 W_{t \max, \beta}^o \quad \forall t \tag{4.27}$$

Burada ağırlıkların toplamı $(w_1 + w_2 + w_3)$ 1'e eşittir. Bunu karar verici istediği gibi ayarlayabileceği gibi Lai ve Hwang (1992) $w_1 = w_3 = \frac{1}{6}$ ve $w_2 = \frac{4}{6}$ olarak önermişlerdir.

Kısıt (4.21)'in iki tarafındaki değerler de kesin olmayan sayılara sahiptir ($\tilde{r}_{nt}$ ve $\tilde{M}_{t \max}$). Tanaka vd. (1984), Rimik ve Rimanek (1985), Lai ve Hwang (1992) bu şekilde eşitliğin iki tarafı da kesin olmayan değerlere sahip olduğunda, bunları kesin olarak ifade etmek için bulanık sıralama yöntemini kullanmışlardır. Kısıt (4.21)'in yardımcı kısıtları kesin değerlere sahip olarak şöyle ifade edilebilir:

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{t \max, \beta}^p \quad \forall t, \tag{4.28}$$

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{t \max, \beta}^m \quad \forall t, \quad (4.29)$$

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{t \max, \beta}^o \quad \forall t, \quad (4.30)$$

Yardımcı Amaç Fonksiyonunun Çözümü

Üç amaç fonksiyonunun pozitif ve negatif ideal çözümleri hesaplanıp bunların üyelik fonksiyonları (4.14) eşitliği ile belirlendikten sonra, kesin değerli son hali lineer programlama ile çözülebilir. Yukarıdaki tüm kesin değer metodolojilerinin birleşimi ile oluşturulmuş tek amaçlı toplu üretim planlama modeli aşağıdaki gibi formüle edilmiştir (Zadeh,1978;Zimmermann,1978):

$$\begin{aligned} & \max \quad \lambda^{(1)} \\ \text{s.k.g} \quad & \lambda^{(1)} \leq (Z_k(x) - Z_k^{NIS}) / (Z_k^{PIS} - Z_k^{NIS}), \quad k = 1, 2, \dots, l, \\ & \lambda^{(1)} \leq (W_s^{NIS} - W_s(x)) / (W_s^{NIS} - W_s^{PIS}), \quad s = 1, 2, \dots, r, \\ & I_{nt-1} - B_{nt-1} + Q_{nt} + O_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} = w_1 D_{nt,\beta}^p + w_2 D_{nt,\beta}^m + w_3 D_{nt,\beta}^o \quad \forall n, \forall t \\ & \sum_{n=1}^N i_{nt-1} (Q_{nt-1} + O_{nt-1}) + H_t - F_t - \sum_{n=1}^N i_{nt} (Q_{nt} + O_{nt}) = 0 \quad \forall t, \\ & \sum_{n=1}^N i_{nt} (Q_{nt} + O_{nt}) \leq w_1 W_{t \max, \beta}^p + w_2 W_{t \max, \beta}^m + w_3 W_{t \max, \beta}^o \quad \forall t \\ & \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{t \max, \beta}^p \quad \forall t, \\ & \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{t \max, \beta}^m \quad \forall t, \\ & \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{t \max, \beta}^o \quad \forall t, \\ & \sum_{n=1}^N v_{nt} I_{nt} \leq V_{t \max} \quad \forall t, \\ & \lambda^{(1)} \in [0,1] \\ & Q_{nt}, O_{nt}, S_{nt}, I_{nt}, B_{nt}, H_t, F_t \geq 0 \quad \forall n, \forall t. \end{aligned} \quad (4.31)$$

Problemin verileri ile program çözülerek, optimum sonuç karar vericinin görüşüne sunulur. Problemin ayrıntılı sonuçları Wang ve Liang (2005)'de yer almaktadır.

4.1.5.2 İki Fazlı Lineer Programlamanın Etkinliği İle İlgili Sayısal Örnek

Li ve Li (2006) çalışmalarında iki fazlı lineer programlamanın etkinliği ile ilgili olarak Li ve Lee (1990) tarafından verilen örnek üzerinden gitmişlerdir. Aşağıdaki örnekte çok amaçlı lineer programlamada ikinci fazın sonuçlarının birinci fazdan daha etkin olup olmadığını ölçümlemişlerdir. Li ve Lee'nin örneği aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 \max \quad & Z_1 = 2x_1 + 5x_2 + 7x_3 + x_4, \\
 \max \quad & Z_2 = 4x_1 + x_2 + 3x_3 + 11x_4, \\
 \max \quad & Z_3 = 9x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4, \\
 \min \quad & W_1 = 1,5x_1 + 2x_2 + 0,3x_3 + 3x_4, \\
 \min \quad & W_2 = 0,5x_1 + x_2 + 0,7x_3 + 2x_4, \\
 \text{s.k.g.} \quad & 3x_1 + 4,5x_2 + 1,5x_3 + 7,5x_4 = 150, \\
 & x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0.
 \end{aligned} \tag{4.32}$$

Çok amaçlı lineer program standart hale çevrilirse;

$$\begin{aligned}
 \max \quad & Z_1 = 2x_1 + 5x_2 + 7x_3 + x_4, \\
 \max \quad & Z_2 = 4x_1 + x_2 + 3x_3 + 11x_4, \\
 \max \quad & Z_3 = 9x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4, \\
 \max \quad & Z_4 = -1,5x_1 - 2x_2 - 0,3x_3 - 3x_4, \\
 \max \quad & Z_5 = -0,5x_1 - x_2 - 0,7x_3 - 2x_4, \\
 \text{s.k.g.} \quad & 3x_1 + 4,5x_2 + 1,5x_3 + 7,5x_4 = 150, \\
 & x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0.
 \end{aligned} \tag{4.33}$$

şeklini alır. Amaç fonksiyonlarının pozitif ve negatif ideal çözümleri $Z^* = (700; 300; 450; -30; -25)$ ve $Z^- = (20; 33,33; 40; -75; -70)$ olarak hesaplanırsa (4.15)'e göre

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \lambda^1 \\
 \text{s.k.g.} \quad & \lambda^1 \leq (1/680)(2x_1 + 5x_2 + 7x_3 + x_4 - 20), \\
 & \lambda^1 \leq (1/266,67)(4x_1 + x_2 + 3x_3 + 11x_4 - 33,33), \\
 & \lambda^1 \leq (1/410)(9x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - 40), \\
 & \lambda^1 \leq (1/45)(75 - 1,5x_1 - 2x_2 - 0,3x_3 - 3x_4), \\
 & \lambda^1 \leq (1/45)(70 - 0,5x_1 - x_2 - 0,7x_3 - 2x_4), \\
 & 3x_1 + 4,5x_2 + 1,5x_3 + 7,5x_4 = 150, \\
 & \lambda^1 \in [0,1], \quad x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0.
 \end{aligned} \tag{4.34}$$

olur. Optimal çözüme göre $\lambda_{opt}^1 = 0,5$ bulunur ve optimal amaç fonksiyonu vektörü $Z^1 = (371,36; 248,64; 245; -52,5; -48,9)$, $x^1 = (21,59; 0; 46,59; 2,05)$, amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonlarının tatmin olma dereceleri $u(x^1) = (0,52; 0,81; 0,5; 0,5; 0,47)$ 'dir.

(4.34) lineer programı (4.16)'ya göre tekrar programlanırsa

$$\begin{aligned}
 \max \quad & 0,2\lambda_1^2 + 0,2\lambda_2^2 + 0,2\lambda_3^2 + 0,2\lambda_4^2 + 0,2\lambda_5^2 \\
 \text{s.k.g} \quad & 0,55 \leq \lambda_1^2 \leq (1/680)(2x_1 + 5x_2 + 7x_3 + x_4 - 20), \\
 & 0,74 \leq \lambda_2^2 \leq (1/266,67)(4x_1 + x_2 + 3x_3 + 11x_4 - 33,33), \\
 & 0,5 \leq \lambda_3^2 \leq (1/410)(9x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - 40), \\
 & 0,5 \leq \lambda_4^2 \leq (1/45)(75 - 1,5x_1 - 2x_2 - 0,3x_3 - 3x_4), \\
 & 0,5 \leq \lambda_5^2 \leq (1/45)(70 - 0,5x_1 - x_2 - 0,7x_3 - 2x_4), \\
 & 3x_1 + 4,5x_2 + 1,5x_3 + 7,5x_4 = 150, \\
 & x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0.
 \end{aligned} \tag{4.35}$$

elde edilir. Optimal çözümün sonucunda $u_{opt} = (\lambda_1^2, \lambda_2^2, \lambda_3^2, \lambda_4^2, \lambda_5^2)$, $x^* = (25, 0, 50, 0)$, optimal amaç fonksiyonu vektörü $Z^2 = (400, 250, 275, -52,5, -47,5)$, böylelikle $Z^2 \geq Z^1$ 'dir. Yani max-min operatörünün sonucu x^1 , etkin değildir. İki fazlı yaklaşımın max-min operatörü yaklaşımından daha etkin olduğu çıkan optimal çözümlerden de bellidir. Sonuçlar Çizelge 4.1'de özetlenmiştir:

Çizelge 4.1 İki fazlı lineer programlama ile çıkan sonuçlar (Li ve Li, 2006)

Yaklaşım	λ	$(\sum_{k=1}^5 \lambda_k)/5$	x	Z
Max-Min	0,5		(20,71; 3,51; 48,05; 0)	(395,32; 230,52; 245; -52,5; -47,5)
İki Faz		0,589	(25; 0; 50; 0)	(400; 250; 275; -52,5; -47,5)

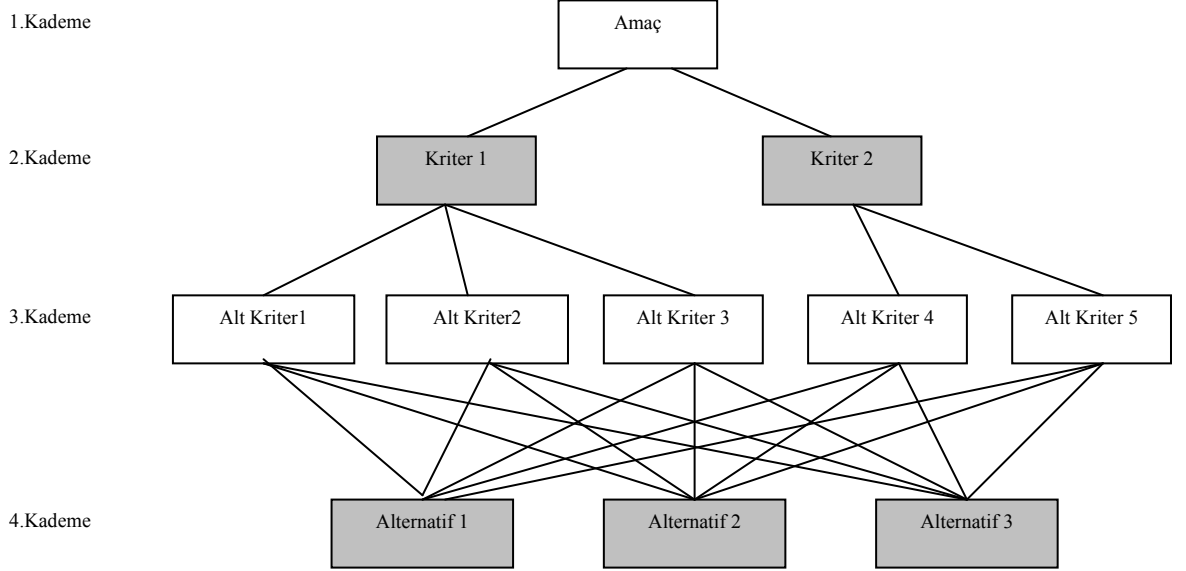
4.2 Bulanık AHP Yöntemi

Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ilk olarak Saaty (1988) tarafından önerilmiş ve çok amaçlı karar vermede sıkça kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. AHP'nin en büyük avantajlarından biri kantitatif ve kalitatif faktörlerin bir arada temsil edilebilmesi, kalitatif faktörlerin sayısallaştırılabilmesidir. AHP yöntemi şu şekilde özetlenebilir;

(1) *Problemin ayrıştırılması*; problem elemanları hiyerarşinin en alt noktasına kadar alt elemanlara ayrılır (Şekil 4.5),

(2) *Karşılaştırma Analizi*; ikili karşılaştırma matrisleri ile her kademedeki göreceli önem dereceleri ölçülür. Karar vericiler özel oranlama sayıları ile elemanların birbirlerine göre öncelik tablolarını oluştururlar.

(3) *Önceliklerin sentezlenmesi*; her elemanın her kademedeki öncelikleri özvektör yöntemi ile hesaplanır. Bu proses, hiyerarşideki her kademe için ağırlıklar hesaplanana kadar ve son birleşik ağırlıklar bulunana kadar devam eder (Saaty, 1994).



Şekil 4.5. AHP hiyerarşisinin yapısı

2.amaç için, belirsizlik içermesi açısından bulanık AHP yöntemi ile fabrika ve dağıtım merkezleri için kalitatif faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi önerilmiştir. Çeşitli yerleşim bölgeleri alternatifleri için kalitatif etki faktörlerinin göreceli ağırlık oranları belirlendikten sonra bu değerler çok amaçlı programlama yardımı ile 1.amaç ile birleştirilmiştir.

4.2.1 Bulanıklığın Gösterimi ve İkili Karşılaştırmalar

Fabrikalar ve dağıtım merkezleri için gerekli olan hiyerarşik yapı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmadan önce kurulmalıdır. Hiyerarşi kurulduktan sonra, karar vericilerden belli bir kademeye ait göreceli önem ağırlıklarının belirlenmesi istenir. Geleneksel AHP’de ikili karşılaştırmalar belli bir ağırlıklandırma çizelgesine göre yapılır. En çok kullanılan Saaty (1989)’nin dokuz noktalı skalasıdır. Çizelge 4.2’de gösterildiği üzere alternatifler arası karşılaştırma ifadeleri sözel olarak “eşit, biraz daha önemli, daha önemli, çok daha önemli, aşırı derecede önemli” ifade edilebilir. Bunlara karşılık gelen sayısal rakamlar ise 1-3-5-7-9’dur. 1-9 skalası, kullanım kolaylığı gibi birçok kolaylık sağlasa da, birisinin karar verirken ifade etmek istediği ara rakamlardaki belirsizliği ifade etmekte yetersizliğidir.

Çizelge 4.2 Bulanık sayının tanımı ve üyelik fonksiyonu

Önem derecesi	Bulanık sayı	Tanım	Üyelik Fonksiyonu
1	$\tilde{1}$	Eşit önemli	(1, 1, 2)
3	$\tilde{3}$	Biraz daha önemli	(2, 3, 4)
5	$\tilde{5}$	Daha önemli	(4, 5, 6)
7	$\tilde{7}$	Çok daha önemli	(6, 7, 8)
9	$\tilde{9}$	Aşırı derecede önemli	(8, 9, 10)

Bu yetersizliği aşabilmek için üçgensel bulanık sayılardan faydalanılabilir; $\tilde{1} - \tilde{9}$. Bulanık bir sayı özel bir bulanık settir; $F = \{x, \mu_F(x), x \in R\}$, burda x değerlerini gerçekte sayılardan alabilir; $R: -\infty < x < +\infty$ ve $\mu_F(x)$, $[0,1]$ aralığında sürekli. Üçgensel bir bulanık sayı şu şekilde ifade edilebilir, $\tilde{M} = (l, m, u)$ ve $l \leq m \leq u$. Üyelik fonksiyonu ifadesi ise aşağıdaki gibidir:

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & ; x < l \\ (x-l)/(m-l) & ; l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & ; m \leq x \leq u \\ 0 & ; x > u \end{cases}$$

Alternatif olarak, α güven aralığı verildiğinde, üçgensel bulanık sayı şu şekilde ifade edilebilir:

$$\forall \alpha \in [0,1] \quad \tilde{M}_\alpha = [l^\alpha, u^\alpha] = [(m-l)\alpha + l, -(u-m)\alpha + u]$$

Kauffmann ve Gupta (1985) tarafından güven aralığına bağlı olarak pozitif bulanık sayılarla ilgili temel işlemler verilmiştir:

$$\forall m_L, m_R, n_L, n_R \in R^+, \tilde{M}_\alpha = [m_L^\alpha, m_R^\alpha],$$

$$\tilde{N}_\alpha = [n_L^\alpha, n_R^\alpha], \quad \alpha \in [0,1]$$

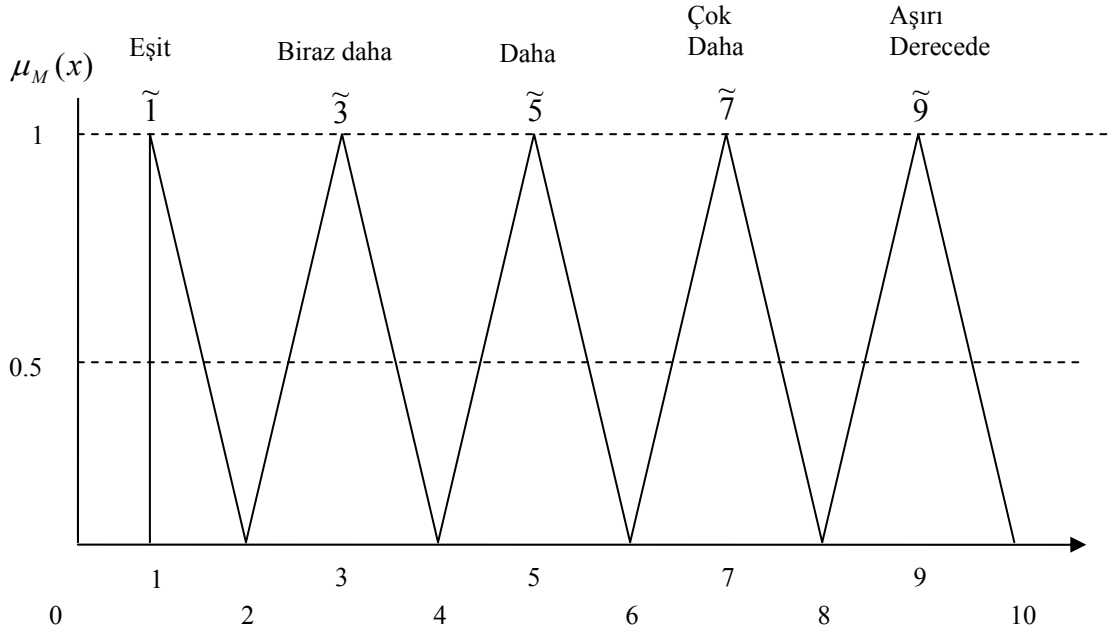
$$\tilde{M} \oplus \tilde{N} = [m_L^\alpha + n_L^\alpha, m_R^\alpha + n_R^\alpha]$$

$$\tilde{M} \ominus \tilde{N} = [m_L^\alpha - n_L^\alpha, m_R^\alpha - n_R^\alpha]$$

$$\tilde{M} \otimes \tilde{N} = [m_L^\alpha n_L^\alpha, m_R^\alpha n_R^\alpha]$$

$$\tilde{M} / \tilde{N} = [m_L^\alpha / n_L^\alpha, m_R^\alpha / n_R^\alpha]$$

Üçgensel bulanık sayılar da; $\tilde{1} - \tilde{9}$ skalası ile dokuz nokta ölçeklendirmesi kullanılmış, bu sayede beş noktalı ölçeğin ara değerlendirme noktaları da ölçeğe katılmıştır. Bu sayede 1 ile 9 arasında karar vericilerin kullanmak isteyebileceği her tamsayı ölçeklendirmeye dahil edilmiştir. Beş üçgensel bulanık sayı ve bunlara ait üyelik fonksiyonları Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Üçgensel bulanık sayılar ve önem dereceleri (Ayağ ve Özdemir, 2006)

4.2.2 Bulanık AHP Adımları

AHP metodu aynı zamanda özvektör metodu olarak da adlandırılabilir. İkili karşılaştırmalar matrisinde en yüksek özdeğere sahip özvektör öncelikler sıralamasında da önde olacaktır. Yani özvektör değeri diğerlerinden daha yüksek olan bir alternatif öncelik sıralamasında daha önemlidir anlamı çıkmaktadır. Bulanık AHP'de ise bulanık sayılar değerlendirme aşamasında kullanılırlar. Bu yöntemle ait dört önemli adım aşağıdaki gibidir (Ayağ ve Özdemir, 2006):

- **Adım 1:** Performans Puanlarının Karşılaştırılması: Aynı kademede bulunan her çift elemanın birbirlerine göre önem dereceleri belirlenirken $(\tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9})$ bulanık üçgensel sayılar kullanılır.

- **Adım 2:** Bulanık karşılaştırma matrislerinin oluşturulması: üçgensel bulanık sayılar kullanılarak bulanık karşılaştırma matrisi $\tilde{A}(a_{ij})$ aşağıdaki gibi kurulabilir:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Burada eğer $i = j$ ise; $\tilde{a}_{ij}^\alpha = 1$, eğer $i \neq j$ ise; $\tilde{a}_{ij}^\alpha = \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9}$ veya $\tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1}$ dir,

- **Adım 3:** Karar vericilerin farklı ağırlıkları olduğu varsayılacak olursa, karar vericilerin verdikleri puanlar ağırlıklandırılmış geometrik ortalama yönetimiyle toplanabilir (Xu, 2000) . Burada geometrik ortalama kullanılmasının sebebi değerleri birbirine yakın örnekler içinde, bu değerlerden çok yüksek veya çok düşük bir değer ortalama bir anda yukarı veya aşağı çekmesini önlemektir.

$w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ karar vericilere atanmış ağırlıklar olmak kaydıyla, ağırlıklandırılmış geometrik ortalama;

$$A_1^{w_1} \circ A_2^{w_2} \circ A_3^{w_3} \circ \dots \circ A_n^{w_n} \quad (4.36)$$

şeklinde hesaplanır.

- **Adım 4:** Bulanık özvektörün çözümü: Bulanık özvektör, $\tilde{\lambda}$ bulanık bir sayı ve çözümü

$$\tilde{A}\tilde{x} = \tilde{\lambda}\tilde{x} \quad (4.37)$$

olup burada $n \times n$, $\tilde{a}_{ij}$ bulanık sayılarından oluşan bulanık bir matris ve $\tilde{x}$ sıfır olmayan $n \times 1$, $\tilde{x}_i$ bulanık sayı içeren bulanık vektördür. Bulanık çarpım ve toplamalar, aralık ve α – kesimi aritmetiği ile yapılacak olursa $\tilde{A}\tilde{x} = \tilde{\lambda}\tilde{x}$ denklemi şu şekilde ifade edilebilir:

$$[a_{il}^\alpha x_{il}^\alpha, a_{lu}^\alpha x_{lu}^\alpha] \oplus \dots \oplus [a_{in}^\alpha x_{in}^\alpha, a_{nu}^\alpha x_{nu}^\alpha] = [\lambda x_{il}^\alpha, \lambda x_{iu}^\alpha]$$

Burada,

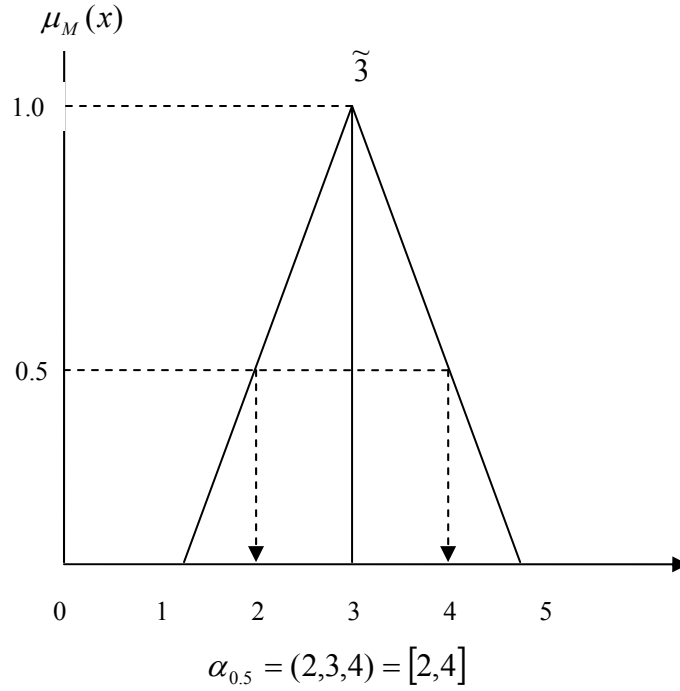
$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}], \quad \tilde{x}^t = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n),$$

$$\tilde{a}_{ij}^{\alpha} = [a_{ijl}^{\alpha}, a_{iju}^{\alpha}], \tilde{x}_i^{\alpha} = [x_{il}^{\alpha}, x_{iu}^{\alpha}], \tilde{\lambda}^{\alpha} = [\lambda_l^{\alpha}, \lambda_u^{\alpha}], \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad \text{ve} \quad i=1, 2, \dots, n, \\ j=1, 2, \dots, n \quad \forall i, j \quad (4.38)$$

şeklindedir. α – kesimi uzman veya karar vericilerin yargılarına katılım derecesi olarak bilinmektedir. $\tilde{A}$ matrisi için tatmin derecesi μ iyimserlik indeksi ile tahmin edilebilir. μ indeksinin büyük değerleri daha iyimser sonuçları ifade eder. İyimserlik indeksi (Lee, 1999) tarafından matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\tilde{a}_{ij}^{\alpha} = \mu a_{iju}^{\alpha} + (1 - \mu) a_{ijl}^{\alpha}, \quad \forall \mu \in [0,1] \quad (4.39)$$

Özvektör, μ değerinin sabit tutulup en yüksek değerli özvektörün tespit edilmesiyle hesaplanır. α – kesimi; üçgensel bulanık sayıdan bir aralık verilmesini sağlar. Örneğin $\alpha_{0.5}$ $\tilde{3}$ 'de (2, 3, 4) setini vermektedir. Bu işlem Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Bulanık sayıda α – kesim işlemi

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \dots & \tilde{a}_{1n}^\alpha \\ \tilde{a}_{21}^\alpha & 1 & \dots & \dots & \tilde{a}_{2n}^\alpha \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{n1}^\alpha & \tilde{a}_{n2}^\alpha & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$\lambda_{\max}$ hesaplanmadan önce ikili karşılaştırmalar matrisinde alternatiflerin birbirlerine göre ağırlıklarının hesaplanması ve öncelik hesapları yapılır. Yöntemin tutarlılığını kontrol etmek için tüm matrislerin tutarlılık endeksi hesaplaması yapılır. Tutarlılık endeksi için matematiksel formül şu şekilde ifade edilebilir:

$$TE = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4.40)$$

Tutarlılık oranı ikili karşılaştırmaların tutarlılığını ölçmek için hesaplanmaktadır. Tutarlılık oranı (TO), tutarlılık endeksinin (TE) rassal tutarlılık endeksi (RE) tablosundan seçilen değere bölünmesi ile hesaplanır;

$$TO = \frac{TE}{RE} \quad (4.41)$$

Eğer TO değeri 0,10'dan düşükse, karşılaştırmalar kabul edilebilir, aksi takdirde tutarlı değildir. RE değerleri rassal oluşturulmuş değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır (Saaty, 1981).

- **Adım 5:** Her alternatifin öncelik ağırlıklarının belirlenmesi: alternatiflerin ağırlıkları ile faktörlerin ağırlık vektörleri çarpılıp her bir alternatif için toplam ağırlığın belirlenmesi ile hesaplanır. Matematiksel olarak

$$= \sum_{i=1}^t (\text{faktör ağırlığı}_i \times \text{değerleme oranı}_i) \quad (4.42)$$

$$i=1,2,\dots,t \quad (t: \text{toplam faktör sayısı})$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bu adımlar sayısal uygulama kısmında 2.amaçta AHP ile çoklu karar vericiden alınmış yorumların değerlendirilmelerinde kullanılacaklardır.

5. FABRİKA ve DAĞITIM MERKEZİ YERLERİ SEÇİMİ İÇİN ÇOK AMAÇLI MATEMATİKSEL MODEL

5.1 Modelin Varsayımları

- Tedarik zinciri tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri ve müşteriler kademelerinden oluşan 4 aşamalı bir zincir yapısından oluşmaktadır.
- Problemden maksimum 5 adet fabrika yeri alternatif ve 5 adet depo yeri alternatifidir.
- Tedarikçi ve müşteri sayısı önceden bellidir. Tüm tedarikçi, alternatif fabrika, alternatif dağıtım merkezi ve müşteri kapasite ve talepleri olasılıklı değerlerle bellidir.
- Ağda gezen sadece 1 çeşit ürün vardır. Yani model tekli ürün için kurulmuştur.
- 1. amaçta maliyet bileşenleri olarak, sadece taşıma maliyetleri ile tesisleri işletmek için sabit maliyetler ele alınmıştır.
- Bütün amaçlardaki katsayılar olasılıklı değerlere sahiptir.
- Amaçlardaki bütün olasılıklı değerlerde, basit ve anlaşılır olduğundan dolayı üçgensel dağılım kullanılmıştır.
- 2. amaçta kullanılan kalitatif faktörler için 6 maddeden oluşan özet tablo kullanılmıştır. (Sektöre göre katsayılar değişebilir, farklı sektörlere göre maddeler değişebilir)
- Tüm müşteri talepleri eksiksiz karşılanmaktadır. Problem bu açıdan dengeli bir problemdir.

5.2 1. Amaç ; Maliyet Minimizasyonu

Altıparmak vd. (2006), Syarif vd. (2002), Pirkul (1997) tarafından kullanılan deterministik amaçta, tedarikçilerden fabrikalara, fabrikalardan dağıtım merkezlerine, dağıtım merkezlerinden müşterilere olan taşıma maliyetleri ve tesis maliyetleri minimize edilmeye çalışılmıştır. 0-1'li değişkenler kullanılarak hangi fabrika ve dağıtım merkezinin açılacağı belli olmaktadır. Amaç mevcut kapasite ile tüm talebi tam olarak minimum maliyetle karşılayacak dağıtım ağı stratejisinin belirlenmesidir. Amaç fonksiyonunun olasılıklı şekliyle notasyonu ve formülasyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

Notasyon

İndisler

I	tedarikçilerin sayısı ($i=1,2,..,I$)
J	fabrikaların sayısı ($j=1,2,..,J$)
K	dağıtım merkezlerinin sayısı ($k=1,2,..,K$)
L	müşterilerin sayısı ($l=1,2,..,L$)

Parametreler

$\tilde{a}_i$	i . tedarikçinin kapasitesi
$\tilde{b}_j$	j . fabrikanın kapasitesi
$\tilde{c}_k$	k . dağıtım merkezinin kapasitesi
$\tilde{d}_l$	l . müşterinin talebi
$\tilde{s}_{ij}$	i tedarikçisinden j fabrikasına birim (1 adet ürün) taşıma maliyeti
$\tilde{t}_{jk}$	j fabrikasından k dağıtım merkezine birim (1 adet ürün) taşıma maliyeti
$\tilde{u}_{kl}$	k dağıtım merkezinden l müşterisine birim taşıma maliyeti
$\tilde{f}_j$	j fabrikasını işletebilmek için sabit maliyet
$\tilde{g}_k$	k dağıtım merkezini işletebilmek için sabit maliyet
V	Açılacak toplam dağıtım merkezinin üst sınırı
R	Açılacak toplam fabrika sayısının üst sınırı
$\tilde{W}_{_AHP_p_j}$	Bulanık AHP ile hesaplanan fabrika yeri j için etki faktörü katsayısı
$\tilde{W}_{_AHP_dc_k}$	Bulanık AHP ile hesaplanan dağıtım merkezi yeri k için etki faktörü katsayısı

Değişkenler

x_{ij}	tedarikçi i 'den gelen hammadde ile fabrika j 'de üretilen ürün miktarı
y_{jk}	fabrika j 'den dağıtım merkezi k 'ya gönderilen ürün miktarı
z_{kl}	dağıtım merkezi k 'dan müşteri l 'ye gönderilen ürün miktarı

$$v_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer fabrika } j \text{ açılırsa,} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$r_k = \begin{cases} 1, & \text{eğer dağıtım merkezi } k \text{ açılırsa,} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

1. Amacın Olasılıklı Matematiksel İfadesi

$$\min \sum_i \sum_j \tilde{s}_{ij} x_{ij} + \sum_j \sum_k \tilde{t}_{jk} y_{jk} + \sum_k \sum_l \tilde{u}_{kl} z_{kl} + \sum_j \tilde{f}_j v_j + \sum_k \tilde{g}_k r_k \quad (5.1)$$

Amaç, maliyet toplamalarının minimizasyonu olduğu için minimizasyon problemidir. Katsayıların üzerindeki “~” işareti, katsayıların olasılıklı değerlere sahip olduğunu ifade etmektedir.

5.3 2. Amaç; Kalitatif Faktörlerin Maksimum Faydası

2. amaç yer seçiminde kalitatif faktörlerin değerlendirilmesine yönelik bir amaçtır. Alternatif fabrika ve dağıtım merkezi yerleşimlerinin kurulacağı bölgenin birçok faktör açısından değerlendirildiği puan toplamaları amacın katsayılarını oluşturmaktadır. Buna göre elde edilen maksimum puanlar kurulum açısından en uygun yeri belirtmektedir. Çok sayıda olan kalitatif faktörlerin en çok kullanılanları Çizelge 5.1’de özet olarak verilmiştir.

Geniş kapsamlı bir fizibilite etüdünde bu maddeler çoğaltılabilir ve etki faktörleri alt faktörlerle detaylı bir şekilde sorgulanıp, çok kapsamlı bir araştırma yapılabilir. Ancak matematiksel modelin işlerliğini göstermek açısından daha az sayıda etki faktörü yeterli olacağından Çizelge 5.1’deki etki faktörlerinden önemli olanlarını seçerek modeli çalıştırmak daha basit olacaktır. O yüzden 13 faktör içinden 6 adedi fabrikalar ve dağıtım merkezleri için seçilerek ileriki bölümlerde açıklanmış, sayısal örneğin çalışır basit şekli için de bu altışar faktörden oluşan çizelgeler kullanılmıştır. 13 faktör içerisinde enerji ve su maliyetleri çok önemli faktörler olsa da, 1. amacın içerisindeki sabit maliyetlerin içerisinde bunlar temsil edilebileceğinden aşağıdaki çizelgeye konmamışlardır.

Çizelge 5.1 Yer seçimini etkileyen kalitatif etki faktörleri

Etki Faktörü
1- Pazara yakınlık
2- Nakliyat imkanları
3- Bölge işgücü niteliği
4- Eğitim ve alana yönelik okullar
5- Enerji alternatifleri
6- Su durumu
7- Altyapı durumu (yollar, kanalizasyon, belediye hizmetleri)
8- Asayiş Durumu
9- Şehir Planlaması ve Sınırlandırılması
10- Lojman ve konut durumu
11- Sağlık kurumlarına yakınlık
12- Doğal afetler açısından zarar durumu
13- İklim

Birinci amaçtakine benzer olarak kalitatif etki faktörlerinin yer aldığı 2. amaç bulanıklık içerirse, faktörlerin kendi aralarında önem derecelerini belirlemek ve bunların yerleşim bölgelerine göre önemlerini saptamak için literatürde son zamanlarda sıkça kullanılan bulanık analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi kullanılabilir. Buna bağlı ikinci amaç için matematiksel gösterim aşağıdaki gibidir:

2.amaç

$$\max \sum_j \tilde{W}_{AHP_p_j} y_{jk} + \sum_k \tilde{W}_{AHP_dc_k} z_{kl}, \quad \forall j, \forall k, \forall l \quad (5.2)$$

5.4 Kısıtlar

Probleme ait kısıtlar aşağıdaki gibidir:

$$\sum_j x_{ij} \leq \tilde{a}_i, \quad \forall i, \quad (5.3)$$

$$\sum_k y_{jk} \leq \tilde{b}_j v_j, \quad \forall j, \quad (5.4)$$

$$\sum_j v_j \leq P \quad (5.5)$$

$$\sum_l z_{kl} \leq \tilde{c}_k z_k, \quad \forall k, \quad (5.6)$$

$$\sum_k r_k \leq V \quad (5.7)$$

$$\sum_k z_{kl} \geq \tilde{d}_l, \quad \forall l, \quad (5.8)$$

$$v_j, z_k = \{0,1\} \quad \forall j, \forall k, \quad (5.9)$$

$$x_{ij}, y_{jk}, z_{kl} \geq 0, \quad \forall i, \forall j, \forall k, \forall l \quad (5.10)$$

Kısıt (5.3) tedarikçilerin kapasite kısıtıdır. Kısıt (5.4) ve (5.6) fabrika ve dağıtım merkezlerinin kapasite kısıtlarıdır. Kısıt (5.5) ve (5.7) açılan fabrika ve dağıtım merkezi sayısının verilen üst sınırı geçmemesini garanti eder. Kısıt (5.8) müşterilerin tüm taleplerinin eksiksiz karşılanmasını garanti etmektedir. Tüm müşteri talepleri karşılandığından dolayı problem dengelidir. Bu açıdan dengesiz olan problemler de sanal müşteri veya dağıtım merkezleri eklenerek dengeli hale dönüştürülebilir.

5.5 Modelin Geliştirilmesi

5.5.1 Kesin Olmayan Değerlerin Kesin Hale Dönüştürülmesi

Daha önce de belirtildiği gibi bazı değişkenler çevre ve pazarın durumuna göre belirsizlik gösterebilirler. Problemin varsayımlarında belirtildiği üzere karar verici kesin olmayan değerlerin üçgensel dağılımlarını oluşturabilir. Modelde üzerinde “~” olan kesin olmayan katsayıların üçgensel dağılımları aşağıdaki gibi ifade edilebilir (maliyeti ifade eden katsayılarda iyimser değer küçük olan değer iken, kapasite, kâr, talep gibi katsayılarda optimistik değer büyük olan değerdir, kötümser değerler için de tam tersi geçerlidir):

$$\tilde{s}_{ij} = (s_{ij}^o, s_{ij}^m, s_{ij}^p) \quad \forall i, \forall j,$$

$$\tilde{t}_{jk} = (t_{jk}^o, t_{jk}^m, t_{jk}^p) \quad \forall j, \forall k,$$

$$\tilde{u}_{kl} = (u_{kl}^o, u_{kl}^m, u_{kl}^p) \quad \forall k, \forall l,$$

$$\tilde{f}_j = (f_j^o, f_j^m, f_j^p) \quad \forall j,$$

$$\tilde{g}_k = (g_k^o, g_k^m, g_k^p) \quad \forall k,$$

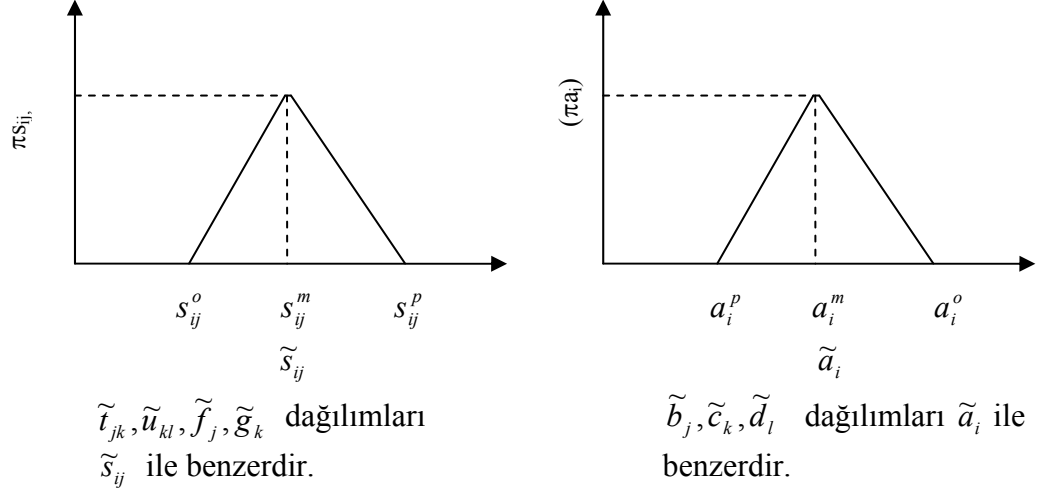
$$\tilde{a}_i = (a_i^p, a_i^m, a_i^o) \quad \forall i,$$

$$\tilde{b}_j = (b_j^p, b_j^m, b_j^o) \quad \forall j,$$

$$\tilde{c}_k = (c_k^p, c_k^m, c_k^o) \quad \forall k,$$

$$\tilde{d}_l = (d_l^p, d_l^m, d_l^o) \quad \forall l,$$

Şekil 5.1 bu üçgensel dağılımları göstermektedir:



Şekil 5.1 Kesin olmayan katsayı ve kısıtların üçgensel dağılımları

5.5.1.1 Kesin Olmayan Değerlere Sahip Amaç Fonksiyonlarının Yardımcı Çok Amaçlı Fonksiyona Dönüştürülmesi

Birinci amaç fonksiyonunun olasılıklı değerlerine ait $s_{ij}^o, s_{ij}^m, s_{ij}^p$; $t_{jk}^o, t_{jk}^m, t_{jk}^p$; $u_{kl}^o, u_{kl}^m, u_{kl}^p$; f_j^o, f_j^m, f_j^p ; g_k^o, g_k^m, g_k^p değerleri yatayda sola itilerek minimize edilebilir. Lai ve Hwang (1992) yaklaşımına göre, s_{ij}^m ; t_{jk}^m ; u_{kl}^m ; f_j^m ; g_k^m değerlerini minimum, $(s_{ij}^m - s_{ij}^o)$, $(t_{jk}^m - t_{jk}^o)$, $(u_{kl}^m - u_{kl}^o)$, $(f_j^m - f_j^o)$, $(g_k^m - g_k^o)$ farklarını maksimum ve $(s_{ij}^p - s_{ij}^m)$, $(t_{jk}^p - t_{jk}^m)$, $(u_{kl}^p - u_{kl}^m)$, $(f_j^p - f_j^m)$, $(g_k^p - g_k^m)$ farklarını ise minimum yapmak daha iyidir. Buna göre birinci amaç üçlü yardımcı çok amaçla temsil edilmek ve diğer kesin değerli amaçlar aynı kalmak üzere, çok amaçlı problemin kesin değerlere sahip yardımcı çok amaçlı genel hali şu şekildedir:

$$\text{Min } z_1 = z_1^m = \sum_i \sum_j s_{ij}^m x_{ij} + \sum_j \sum_k t_{jk}^m y_{jk} + \sum_k \sum_l u_{kl}^m z_{kl} + \sum_j f_j^m v_j + \sum_k g_k^m r_k \quad (5.11)$$

$$\text{Max } z_2 = z_1^m - z_1^o = \sum_i \sum_j (s_{ij}^m - s_{ij}^o) x_{ij} + \sum_j \sum_k (t_{jk}^m - t_{jk}^o) y_{jk} + \sum_k \sum_l (u_{kl}^m - u_{kl}^o) z_{kl} +$$

$$\sum_j (f_j^m - f_j^o) v_j + \sum_k (g_k^m - g_k^o) r_k \quad (5.12)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } z_3 = z_1^p - z_1^m = & \sum_i \sum_j (s_{ij}^p - s_{ij}^m) x_{ij} + \sum_j \sum_k (t_{jk}^p - t_{jk}^m) y_{jk} + \sum_k \sum_l (u_{kl}^p - u_{kl}^m) z_{kl} + \\ & \sum_j (f_j^p - f_j^m) v_j + \sum_k (g_k^p - g_k^m) r_k \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$\text{Max } z_4 = z_2 = \sum_j W_{\text{AHP}} p_j y_{jk} + \sum_k W_{\text{AHP}} d_k z_{kl} \quad (5.14)$$

5.5.1.2 Kısıtlardaki Kesin Olmayan Değerlerin Kesin Hale Dönüştürülmesi

Kısıtların sadece sol taraflarında yer alan kesin olmayan değerleri kesin hale getirmek için en olası değer için katsayılar $w_1 = 1/6$, $w_2 = 4/6$, $w_3 = 1/6$ (Wang ve Liang, 2005) olarak tahmin edilebilir. Orta katsayı w_2 en olası değer olduğundan en fazla ağırlık buna verilmiştir. (5.3), (5.4), (5.8) kısıtları matematiksel olarak kesin hale aşağıdaki şekilde dönüştürülebilir:

$$\sum_j x_{ij} \leq w_1 a_{i,\beta}^p + w_2 a_{i,\beta}^m + w_3 a_{i,\beta}^o, \quad \forall i, \quad (5.15)$$

$$\sum_k y_{jk} \leq (w_1 b_{j,\beta}^p + w_2 b_{j,\beta}^m + w_3 b_{j,\beta}^o) v_j, \quad \forall j, \quad (5.16)$$

$$\sum_l z_{kl} \leq (w_1 c_{k,\beta}^p + w_2 c_{k,\beta}^m + w_3 c_{k,\beta}^o) r_k, \quad \forall k, \quad (5.17)$$

$$\sum_k z_{kl} \geq w_1 d_{l,\beta}^p + w_2 d_{l,\beta}^m + w_3 d_{l,\beta}^o, \quad \forall l, \quad (5.18)$$

5.5.2 Yardımcı Çok Amaçlı Lineer Programlamanın Çözümü

5.5.2.1 1. Faz

(5.11)-(5.14)'teki amaç fonksiyonlarının çözümü için Zimmermann'ın bulanık programlama yöntemi kullanılarak amaçlar tek amaç haline getirilir. Bunun için beş fonksiyonun öncelikle pozitif ideal çözümler ile negatif ideal çözümleri hesaplanmalıdır (Hwang ve Yoon (1981); Lai ve Hwang (1992)):

$$z_1^{PIS} = \text{Min } z_1^m, \quad z_1^{NIS} = \text{Max } z_1^m \quad (5.19a)$$

$$z_2^{PIS} = \text{Max } (z_1^m - z_1^o), \quad z_2^{NIS} = \text{Min } (z_1^m - z_1^o) \quad (5.19b)$$

$$z_3^{PIS} = \text{Min } (z_1^p - z_1^m), \quad z_3^{NIS} = \text{Max } (z_1^p - z_1^m) \quad (5.19c)$$

$$z_4^{PIS} = \text{Max } z_2, \quad z_4^{NIS} = \text{Min } z_2 \quad (5.19d)$$

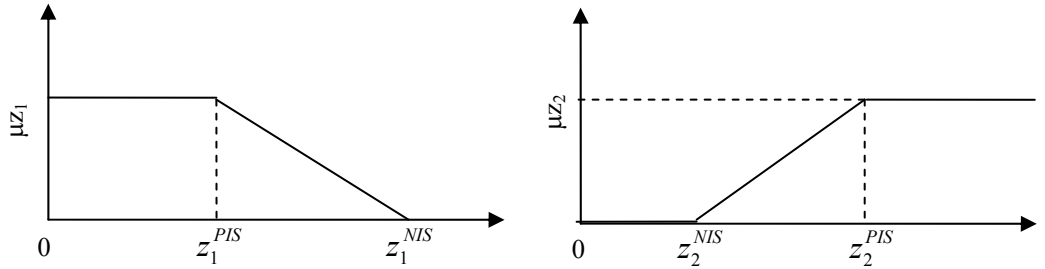
Hesaplanan pozitif ve negatif ideal çözümler ışığında lineer üyelik fonksiyonları aşağıdaki formülasyonla hesaplanabilir:

$$\mu_{z_1} = \begin{cases} 1, & z_1 < z_1^{PIS}, \\ \frac{z_1^{NIS} - z_1}{z_1^{NIS} - z_1^{PIS}}, & z_1^{PIS} \leq z_1 \leq z_1^{NIS}, \\ 0, & z_1 > z_1^{NIS}, \end{cases} \quad (5.20)$$

$$\mu_{z_2} = \begin{cases} 1, & z_2 > z_2^{PIS}, \\ \frac{z_2 - z_2^{NIS}}{z_2^{PIS} - z_2^{NIS}}, & z_2^{NIS} \leq z_2 \leq z_2^{PIS}, \\ 0, & z_2 < z_2^{NIS}, \end{cases} \quad (5.21)$$

μ_{z_3} , μ_{z_4} ile ve μ_{z_5} ise μ_{z_2} ile benzer formülle hesaplanabilir. Şekil 5.2

lineer üyelik fonksiyonlarının grafiklerini göstermektedir.



Şekil 5.2 z_1 ve z_2 'nin lineer üyelik fonksiyonları

Zimmerman bulanık programlama ve max-min operatörü ile çok amaçlı model tek amaçlı hale şu şekilde dönüştürülebilir:

$$\text{Max } \lambda^{(1)}$$

Ş.k.g.

$$\lambda^{(1)} \leq \mu \varepsilon_{k,s} \quad k = 2,4,; \quad s = 1,3$$

$$\sum_j x_{ij} \leq w_1 a_{i,\beta}^p + w_2 a_{i,\beta}^m + w_3 a_{i,\beta}^o \quad \forall i,$$

$$\sum_k y_{jk} \leq (w_1 b_{j,\beta}^p + w_2 b_{j,\beta}^m + w_3 b_{j,\beta}^o) v_j, \quad \forall j,$$

$$\sum_j v_j \leq P$$

$$\sum_l z_{kl} \leq (w_1 c_{k,\beta}^p + w_2 c_{k,\beta}^m + w_3 c_{k,\beta}^o) r_k, \quad \forall k, \quad (5.22)$$

$$\sum_k r_k \leq V$$

$$\sum_k z_{kl} \geq w_1 d_{l,\beta}^p + w_2 d_{l,\beta}^m + w_3 d_{l,\beta}^o, \quad \forall l,$$

$$v_j, z_k = \{0,1\} \quad \forall j, \forall k,$$

$$x_{ij}, y_{jk}, z_{kl} \geq 0, \quad \forall i, \forall j, \forall k, \forall l$$

$$\lambda^{(1)} \in [0,1].$$

5.5.2.2 2.Faz

Faz 1’de elde edilen optimal sonuç $\lambda^{(1)}$, 2. fazda kullanılabilir. Bu, farklı amaç fonksiyonlarının farklı tatmin olma seviyelerinin görülebilmesini ve bunların tatmin olma seviyelerinin iyileştirilmesini sağlayabilir. (5.23)’de 2. fazın matematiksel ifadesi gösterilmektedir.

Faz 2’de her amaç fonksiyonunun farklı tatmin olma seviyeleri hesaplanabilmekte böylece birbirleri arasındaki ödünleşme dereceleri görülebilmektedir. Ayrıca daha önceden anlatıldığı üzere amaç fonksiyonlarının tatmin olma seviyelerinde iyileşmeler sağlanabilmektedir. Sayısal olarak hesaplanan tatmin olma seviyelerinin sözel olarak karar verici açısından ifadesi 7’lik skalada şu şekilde aralıklandırılabilir:

$$\text{Max } \bar{\lambda}_{k,s}^{(2)}$$

Ş.k.g

$$\lambda^{(1)} \leq \lambda_k^{(2)} \leq \mu_{\mathcal{L}_k}, \quad k = 2, 4$$

$$\lambda^{(1)} \leq \lambda_s^{(2)} \leq \mu_{\mathcal{L}_s}, \quad s = 1, 3$$

$$\sum_j x_{ij} \leq w_1 a_{i,\beta}^p + w_2 a_{i,\beta}^m + w_3 a_{i,\beta}^o, \quad \forall i,$$

$$\sum_k y_{jk} \leq (w_1 b_{j,\beta}^p + w_2 b_{j,\beta}^m + w_3 b_{j,\beta}^o) v_j, \quad \forall j,$$

$$\sum_j v_j \leq P$$

$$\sum_l z_{kl} \leq (w_1 c_{k,\beta}^p + w_2 c_{k,\beta}^m + w_3 c_{k,\beta}^o) z_k, \quad \forall k, \quad (5.23)$$

$$\sum_k z_k \leq V$$

$$\sum_k z_{kl} \geq w_1 d_{l,\beta}^p + w_2 d_{l,\beta}^m + w_3 d_{l,\beta}^o, \quad \forall l,$$

$$v_j, z_k = \{0, 1\} \quad \forall j, \forall k,$$

$$x_{ij}, y_{jk}, z_{kl} \geq 0, \quad \forall i, \forall j, \forall k, \forall l$$

$$\lambda^{(1)}, \lambda_{k,s}^{(2)} \in [0, 1].$$

Çizelge 5.2 Amaç fonksiyonunun 0 - 1 aralığındaki farklı tatmin olma seviyesinin sözel olarak ifadesi

<u>0 - 0,1</u>	<u>0,1 - 0,2</u>	<u>0,2 - 0,4</u>	<u>0,4 - 0,6</u>	<u>0,6 - 0,8</u>	<u>0,8 - 0,9</u>	<u>0,9 - 1</u>
Çok Çok Zayıf	Çok zayıf	Zayıf	Orta	İyi	Çokiyi	Mükemmel

6. SAYISAL UYGULAMA

6.1 Sayısal Örneğin Verileri ve 1. Amacın Çözümü

1. amaçla ilgili olarak tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri ve müşteriler arasındaki taşıma maliyetleri, her kademedeki birimin kapasitesi, müşterilerin talepleri ve alternatif fabrika-dağıtım merkezlerinin açılmaları durumunda oluşacak sabit maliyetler bulanık olarak Çizelge 6.1 ve 6.2’de görüldüğü gibi verilmiştir. Üçgen sayıların orta değerleri yani en sık karşılaşılan değerler Syarif vd. (2002)’nin kullanmış oldukları veri setinden alınmıştır. Üçgen sayıların alt ve üst değerleri ise genel olarak $\pm \%10$ ile $\pm \%20$ arasında sapmalarla belirlenmiştir.

Çizelge 6.1 Kapasite, talep, sabit maliyetler

<u>Tedarikci</u>		<u>Fabrika</u>			<u>Dağıtım</u> <u>Merkezi</u>			<u>Müşteri</u>	
i	$Kapasite$ $(\tilde{a}_i)$	j	$Kapasite$ $(\tilde{b}_j)$	$Sabit$ $Maliyet\ (\tilde{f}_j)$	k	$Kapasite$ $(\tilde{c}_k)$	$Sabit$ $Maliyet\ (\tilde{g}_k)$	l	Talep $(\tilde{d}_l)$
1	(400, 500, 550)	1	(350, 400, 475)	(1500, 1800, 2000)	1	(460, 530, 600)	(800, 1000, 1250)	1	(350, 460, 550)
2	(550, 650, 800)	2	(425, 550, 625)	(800, 900, 1200)	2	(500, 590, 650)	(750, 900, 1100)	2	(250, 330, 420)
3	(320, 390, 450)	3	(440, 490, 570)	(1700, 2100, 2300)	3	(350, 400, 460)	(1400, 1600, 1800)	3	(375, 450, 500)
		4	(275, 300, 345)	(850, 1100, 1300)	4	(325, 370, 425)	(1300, 1500, 1650)	4	(250, 300, 345)
		5	(425, 500, 530)	(750, 900, 1100)	5	(500, 580, 650)	(1100, 1400, 1600)		

Çizelge 6.2 Her kademedeki kesin olmayan birim taşıma maliyetleri

<u>Tedarikçi</u>	<u>Fabrika</u>				
$\tilde{s}_{ij}$	1	2	3	4	5
1	(4, 5, 7)	(4, 6, 8)	(3, 4, 5)	(5, 7, 9)	(4, 5, 7)
2	(4, 6, 8)	(4, 5, 6)	(4, 6, 8)	(4, 6, 8)	(5, 8, 10)
3	(5, 7, 9)	(5, 6, 8)	(2, 3, 4)	(7, 9, 12)	(5, 6, 8)
<u>Fabrika</u>	<u>Dağıtım Merkezi</u>				
$\tilde{t}_{jk}$	1	2	3	4	5
1	(4, 5, 6)	(6, 8, 10)	(4, 5, 7)	(6, 8, 9)	(4, 5, 7)
2	(6, 8, 10)	(5, 7, 8)	(6, 8, 10)	(5, 6, 8)	(6, 8, 11)
3	(3, 4, 5)	(5, 7, 9)	(3, 4, 5)	(4, 5, 7)	(3, 4, 5)
4	(2, 3, 4)	(4, 5, 7)	(2, 3, 4)	(4, 5, 7)	(2, 3, 4)
5	(3, 5, 6)	(4, 6, 7)	(4, 6, 8)	(7, 8, 9)	(2, 3, 5)
<u>Dağıtım Merkezi</u>	<u>Müşteri</u>				
$\tilde{u}_{kl}$	1	2	3	4	
1	(6, 7, 9)	(3, 4, 5)	(4, 5, 7)	(5, 6, 8)	
2	(4, 5, 7)	(3, 4, 6)	(4, 6, 7)	(5, 7, 9)	
3	(5, 7, 8)	(4, 5, 6)	(2, 3, 5)	(5, 6, 8)	
4	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	(5, 6, 8)	(3, 4, 6)	
5	(3, 4, 6)	(5, 6, 8)	(4, 5, 7)	(6, 7, 9)	

Çizelge 6.1 ve 6.2'deki veri tablosu ile z_1, z_2, z_3 amaç fonksiyonlarının (Bağıntı 4.11 – 4.13) üyelik fonksiyonları hesaplanabilir. Üyelik fonksiyonlarının hesaplanabilmesi için öncelikle bu 3 amaç fonksiyonunun pozitif ve negatif ideal değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalar için LINGO 9.0 paket programı kullanılmıştır. Buna göre Çizelge 6.3 ve 6.4'deki üçgensel verilerin orta değerlerine göre min z_1 ($\min z_1^m$) amaç fonksiyonu ve kısıtlar LINGO 9.0 paket programında aşağıdaki gibi programlanmıştır:

min=

! AMAÇ FONKSİYONU

$(5*x_{11}+6*x_{12}+4*x_{13}+7*x_{14}+5*x_{15}+6*x_{21}+5*x_{22}+6*x_{23}+6*x_{24}+8*x_{25}+7*x_{31}+6*x_{32}+3*x_{33}+9*x_{34}+6*x_{35})$

$+(5*y_{11}+8*y_{12}+5*y_{13}+8*y_{14}+5*y_{15}+8*y_{21}+7*y_{22}+8*y_{23}+6*y_{24}+8*y_{25}+4*y_{31}+7*y_{32}+4*y_{33}+5*y_{34}+4*y_{35}+3*y_{41}+5*y_{42}+3*y_{43}+5*y_{44}+3*y_{45}+5*y_{51}+6*y_{52}+6*y_{53}+8*y_{54}+3*y_{55})+$

$(7*z_{11}+4*z_{12}+5*z_{13}+6*z_{14}+5*z_{21}+4*z_{22}+5*z_{23}+7*z_{24}+7*z_{31}+5*z_{32}+3*z_{33}+6*z_{34}+3*z_{41}+5*z_{42}+6*z_{43}+4*z_{44}+4*z_{51}+6*z_{52}+5*z_{53}+7*z_{54})+$

$(1800*w_1+900*w_2+2100*w_3+1100*w_4+900*w_5)+$

$(1000*z_1+900*z_2+1600*z_3+1500*z_4+1400*z_5);$

!KISITLAR

$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15} \leq 495;$

$x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25} \leq 654;$

$x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35} \leq 389;$

!KAPASİTE KISITLARI

$y_{11}+y_{12}+y_{13}+y_{14}+y_{15} \leq 402*w_1;$

$y_{21}+y_{22}+y_{23}+y_{24}+y_{25} \leq 545*w_2;$

$y_{31}+y_{32}+y_{33}+y_{34}+y_{35} \leq 492*w_3;$

$y_{41}+y_{42}+y_{43}+y_{44}+y_{45} \leq 302*w_4;$

$y_{51}+y_{52}+y_{53}+y_{54}+y_{55} \leq 496*w_5;$

$z_{11}+z_{12}+z_{13}+z_{14} \leq 530*z_1;$

$z_{21}+z_{22}+z_{23}+z_{24} \leq 587*z_2;$

$z_{31}+z_{32}+z_{33}+z_{34} \leq 401*z_3;$

$z_{41}+z_{42}+z_{43}+z_{44} \leq 371*z_4;$

$z_{51}+z_{52}+z_{53}+z_{54} \leq 579*z_5;$

$z_{11}+z_{21}+z_{31}+z_{41}+z_{51} \geq 458;$

$z_{12}+z_{22}+z_{32}+z_{42}+z_{52} \geq 331;$

$z_{13}+z_{23}+z_{33}+z_{43}+z_{53} \geq 447;$

$z_{14}+z_{24}+z_{34}+z_{44}+z_{54} \geq 299;$

!DENG KISITLARI

$x_{11}+x_{21}+x_{31} \geq y_{11}+y_{12}+y_{13}+y_{14}+y_{15};$

$x_{12}+x_{22}+x_{32} \geq y_{21}+y_{22}+y_{23}+y_{24}+y_{25};$

$$\begin{aligned}x_{13}+x_{23}+x_{33}&\geq y_{31}+y_{32}+y_{33}+y_{34}+y_{35}; \\x_{14}+x_{24}+x_{34}&\geq y_{41}+y_{42}+y_{43}+y_{44}+y_{45}; \\x_{15}+x_{25}+x_{35}&\geq y_{51}+y_{52}+y_{53}+y_{54}+y_{55};\end{aligned}$$

$$x_{11}+x_{21}+x_{31}+x_{12}+x_{22}+x_{32}+x_{13}+x_{23}+x_{33}+x_{14}+x_{24}+x_{34}+x_{15}+x_{25}+x_{35}\geq y_{11}+y_{12}+y_{13}+y_{14}+y_{15}+y_{21}+y_{22}+y_{23}+y_{24}+y_{25}+y_{31}+y_{32}+y_{33}+y_{34}+y_{35}+y_{41}+y_{42}+y_{43}+y_{44}+y_{45}+y_{51}+y_{52}+y_{53}+y_{54}+y_{55};$$

$$y_{11}+y_{21}+y_{31}+y_{41}+y_{51}+y_{12}+y_{22}+y_{32}+y_{42}+y_{52}+y_{13}+y_{23}+y_{33}+y_{43}+y_{53}+y_{14}+y_{24}+y_{34}+y_{44}+y_{54}+y_{15}+y_{25}+y_{35}+y_{45}+y_{55}\geq z_{11}+z_{12}+z_{13}+z_{14}+z_{21}+z_{22}+z_{23}+z_{24}+z_{31}+z_{32}+z_{33}+z_{34}+z_{41}+z_{42}+z_{43}+z_{44}+z_{51}+z_{52}+z_{53}+z_{54};$$

$$\begin{aligned}y_{11}+y_{21}+y_{31}+y_{41}+y_{51}&\geq z_{11}+z_{12}+z_{13}+z_{14}; \\y_{12}+y_{22}+y_{32}+y_{42}+y_{52}&\geq z_{21}+z_{22}+z_{23}+z_{24}; \\y_{13}+y_{23}+y_{33}+y_{43}+y_{53}&\geq z_{31}+z_{32}+z_{33}+z_{34}; \\y_{14}+y_{24}+y_{34}+y_{44}+y_{54}&\geq z_{41}+z_{42}+z_{43}+z_{44}; \\y_{15}+y_{25}+y_{35}+y_{45}+y_{55}&\geq z_{51}+z_{52}+z_{53}+z_{54};\end{aligned}$$

! FABRİKA VE DAĞITIM MERKEZİ SAYISI KISITLARI

$$w_1+w_2+w_3+w_4+w_5\leq 5;$$

$$z_1+z_2+z_3+z_4+z_5\leq 5;$$

$$x_{11}\geq 0; x_{12}\geq 0; x_{13}\geq 0; x_{14}\geq 0; x_{15}\geq 0; x_{21}\geq 0; x_{22}\geq 0; x_{23}\geq 0; x_{24}\geq 0; x_{25}\geq 0; x_{31}\geq 0; x_{32}\geq 0; x_{33}\geq 0; x_{34}\geq 0; x_{35}\geq 0;$$

$$y_{11}\geq 0; y_{12}\geq 0; y_{13}\geq 0; y_{14}\geq 0; y_{15}\geq 0; y_{21}\geq 0; y_{22}\geq 0; y_{23}\geq 0; y_{24}\geq 0; y_{25}\geq 0; y_{31}\geq 0; y_{32}\geq 0; y_{33}\geq 0; y_{34}\geq 0; y_{35}\geq 0; y_{41}\geq 0; y_{42}\geq 0; y_{43}\geq 0; y_{44}\geq 0; y_{45}\geq 0; y_{51}\geq 0; y_{52}\geq 0; y_{53}\geq 0; y_{54}\geq 0; y_{55}\geq 0;$$

$$z_{11}\geq 0; z_{12}\geq 0; z_{13}\geq 0; z_{14}\geq 0; z_{21}\geq 0; z_{22}\geq 0; z_{23}\geq 0; z_{24}\geq 0; z_{31}\geq 0; z_{32}\geq 0; z_{33}\geq 0; z_{34}\geq 0; z_{41}\geq 0; z_{42}\geq 0; z_{43}\geq 0; z_{44}\geq 0; z_{51}\geq 0; z_{52}\geq 0; z_{53}\geq 0; z_{54}\geq 0;$$

$$@BIN(w_1); @BIN(w_2); @BIN(w_3); @BIN(w_4); @BIN(w_5);$$

$$@BIN(z_1); @BIN(z_2); @BIN(z_3); @BIN(z_4); @BIN(z_5);$$

1. amacın yardımcı amaç fonksiyonlarından olan $\min z_1$ 'in LINGO'da çözülmesiyle elde edilen değer 29.323 birim maliyetdir. Bu aynı zamanda z_1 'in arzu edilen pozitif ideal çözümüdür. $\max z_1$ ise yine aynı programla hesaplandığında 43414 birim maliyet olmaktadır. Benzer şekilde $\max z_2$, $\min z_2$, $\min z_3$, $\max z_3$ hesaplandığında z_2 ve z_3 'ün pozitif ve negatif ideal çözümleri hesaplanmış olur. LINGO'da hesaplanan bu değerlerin sonuçları Çizelge 6.3'de gösterilmektedir. Hesaplamalarda kullanılan LINGO programları Ek 1'de verilmiştir.

Çizelge 6.3 1. amacın yardımcı amaç fonksiyonlarının olumlu ve negatif ideal çözüm değerleri

	<i>PIS (birim maliyet)</i>	<i>NIS (birim maliyet)</i>
z_1	$\min z_1^m = 29.323$	$\max z_1^m = 43.414$
z_2	$\max (z_1^m - z_1^o) = 10.974$	$\min (z_1^m - z_1^o) = 6.535$
z_3	$\min (z_1^p - z_1^m) = 7.069$	$\max (z_1^p - z_1^m) = 11.825$

Bu değerler z_1, z_2, z_3, z_4 çok amaçlıdan oluşan problemin (Bkz. Model 4.22) tek amaca indirgenmesi için üyelik fonksiyonu hesaplamalarında kullanılacaktır. Ancak bunun için bu üç yardımcı amaç fonksiyonuna ek olarak, bir maliyet fonksiyonu olmayan 2. amacın da (z_4) pozitif ve negatif ideal çözümlerinin hesaplanması gerekir. 2. amaç kalitatif faktörlerin oluşturduğu birim faydadır.

6.2 2. Amacın Çözümü

2. amaç ile ilgili olarak, fabrika ve dağıtım merkezleri açısından kalitatif etki faktörlerinin AHP ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Buna göre öncelikle fabrikalar ve dağıtım merkezleri için Çizelge 6.4, Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'daki AHP başlangıç bilgi tablosunu oluşturmak yararlı olacaktır:

Çizelge 6.4 Fabrikalar için başlangıç AHP tablosu

Amaç	Fabrikalar için kalitatif faktörler açısından en iyi yerleşim bölgesinin tespiti
Alternatif Sayısı(m)	5
Alternatif isimleri	FYB1 (m_1), FYB2(m_2), FYB3(m_3), FYB4(m_4), FYB5(m_5)
İyimserlik endeksi (μ):	0.5 (varsayılan değer: 0.5, $0 < \mu < 1$)
Güven derecesi (α)	0.5 (varsayılan değer: 0.5, $0 < \alpha < 1$)
	Fabrika yerleşim bölgeleri için üçgensel bulanık sayılar ($n \times n = 6 \times 6$)
	Her etki faktörü açısından bulanık sayılar kullanılarak (m_1, m_2, m_3, m_4, m_5) alternatifleri için karşılaştırma matrisleri

Çizelge 6.5 Fabrika yeri seçimi için kalitatif etki faktörleri

Fabrika yeri seçimi için etki faktörleri
FİEF1- Pazara yakınlık
FİEF2- Bölge işgücü niteliği
FİEF3- Eğitim ve alana yönelik okullar
FİEF4- Nakliyat imkanları
FİEF5- Altyapı durumu (yollar, kanalizasyon, belediye hizmetleri)
FİEF6- Lojman ve Konut Durumu

Çizelge 6.6 Dağıtım merkezi yer seçimi için kalitatif etki faktörleri

Dağıtım merkezi yeri seçimi için etki faktörleri
DMİEF1- Pazara yakınlık
DMİEF2- Nakliyat imkanları
DMİEF3- Şehir planlaması ve sınırlandırılması
DMİEF4- Asayiş Durumu
DMİEF5- Doğal afetler açısından zarar durumu
DMİEF6- İklim

İlk olarak etki faktörlerinin birbirlerine göre önem derecelerinin çok sayıda karar verici tarafından (5 kişi) belirlendiği ikili karşılaştırma matrisleri (Çizelge 6.7) ve daha sonra her bir kalitatif etki faktörü açısından alternatif yerlerin birbirlerine göre önem derecelerinin belli olduğu ikili karşılaştırma matrisleri belirlenmiştir (Çizelge 6.8).

Karar verici takımdaki beş kişiden ikisi lojistik sektöründe çalışmaktadır, bu kişilerin görüşlerine sektör içindeki uygulama tecrübelerinden dolayı 1 üzerinden 0,3 ağırlık atanmıştır. 0,2 ağırlık atanan 3.kişi akademik olarak çalışmakta, 0,1'er ağırlık atanan diğer iki kişi de fizibilite etütleri hazırlayan bir büroda çalışmaktadırlar.

Karşılaştırma matrisler oluşturulurken (Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8) bulanık sayılar $(\tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9})$ kullanılmıştır. Bağıntı (3.37)'den faydalanarak bulanık sayıların alt ve üst limitleri α 'ya bağlı olarak şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\tilde{1}_\alpha = [1, 3 - 2\alpha],$$

$$\tilde{3}_\alpha = [1 + 2\alpha, 5 - 2\alpha], \quad \tilde{3}_\alpha^{-1} = \left[\frac{1}{5 - 2\alpha}, \frac{1}{1 + 2\alpha} \right],$$

$$\tilde{5}_\alpha = [3 + 2\alpha, 7 - 2\alpha], \quad \tilde{5}_\alpha^{-1} = \left[\frac{1}{7 - 2\alpha}, \frac{1}{3 + 2\alpha} \right],$$

$$\tilde{7}_\alpha = [5 + 2\alpha, 9 - 2\alpha], \quad \tilde{7}_\alpha^{-1} = \left[\frac{1}{9 - 2\alpha}, \frac{1}{5 + 2\alpha} \right],$$

$$\tilde{9}_\alpha = [7 + 2\alpha, 11 - 2\alpha], \quad \tilde{9}_\alpha^{-1} = \left[\frac{1}{11 - 2\alpha}, \frac{1}{7 + 2\alpha} \right],$$

Çizelge 6.7 Bulanık üçgen sayılar kullanarak 5 karar verici tarafından hazırlanmış ikili karşılaştırma matrisi
(Fabrikalar için etki faktörlerinin birbirlerine göre önem dereceleri)

	FİEF1	FİEF2	FİEF3	FİEF4	FİEF5	FİEF6
FİEF1	1	$\tilde{5}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{3}, \tilde{9}$	$\tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{3}, \tilde{1}$	$\tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{1}, \tilde{5}, \tilde{1}$	$\tilde{5}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{5}$	$\tilde{7}, \tilde{5}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{5}$
FİEF2	$\tilde{5}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{9}^{-1}$	1	$\tilde{1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{1}, \tilde{5}, \tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}, \tilde{9}^{-1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	$\tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{5}, \tilde{5}, \tilde{1}$
FİEF3	$\tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{1}^{-1}$	$\tilde{1}^{-1}, \tilde{1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{1}^{-1}$	1	$\tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{7}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{9}^{-1}$	$\tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{1}$
FİEF4	$\tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{1}^{-1}$	$\tilde{3}, \tilde{7}, \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}$	$\tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{7}$	1	$\tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}$	$\tilde{7}, \tilde{9}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9}$
FİEF5	$\tilde{5}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}, \tilde{9}, \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}$	$\tilde{5}, \tilde{5}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{9}$	$\tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}$	1	$\tilde{5}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{5}, \tilde{5}$
FİEF6	$\tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{1}^{-1}$	$\tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{1}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	1

Çizelge 6.8 FİEF1 açısından alternatif fabrika yerleşim bölgelerinin bulanık sayılarla ikili karşılaştırma matrisleri

FİEF1	FYB1	FYB2	FYB3	FYB4	FYB5
FYB1	1	$\tilde{5}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{5}$	$\tilde{3}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}, \tilde{3}, \tilde{1}^{-1}$	$\tilde{7}, \tilde{7}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{5}$
FYB2	$\tilde{5}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	1	$\tilde{5}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{7}^{-1}$	$\tilde{3}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{1}, \tilde{3}$	$\tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{5}, \tilde{3}, \tilde{5}$
FYB3	$\tilde{3}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{1}, \tilde{5}$	$\tilde{5}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{3}, \tilde{7}$	1	$\tilde{7}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{7}, \tilde{5}$	$\tilde{9}, \tilde{7}, \tilde{9}, \tilde{9}, \tilde{5}$
FYB4	$\tilde{3}^{-1}, \tilde{1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	1	$\tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{5}, \tilde{5}, \tilde{1}$
FYB5	$\tilde{7}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	$\tilde{9}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1}, \tilde{9}^{-1}, \tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{1}^{-1}$	1

Daha sonra, $\alpha = 0.5$ ve $\mu = 0.5$ değerleri ile bütün karşılaştırma matrislerinin α – kesim bulanık matrisleri elde edilir (Hesaplamalarda bağıntı 3.38’den faydalanılmaktadır). Çizelge 6.9’da yine fabrikalar için etki faktörleri matrisi ve 6.10’da fabrikalar için etki faktörü 1 (pazara yakınlık) alternatifleri için bulanık α – kesim matrisi verilmiştir:

Çizelge 6.9 Fabrikalar için etki faktörlerinin α – kesim bulanık karşılaştırma matrisi
 $(\alpha = 0.5, \mu = 0.5)$

	FİEF1	FİEF2	FİEF3	FİEF4	FİEF5	FİEF6
FİEF1	1	[4, 6], [4, 6], [6, 8], [2, 4], [8, 10]	[2, 4], [4, 6], [6, 8], [2, 4], [1, 2]	[1, 2], [2, 4], [1, 2], [4, 6], [1, 2]	[4, 6], [2, 4], [4, 6], [6, 8], [4, 6]	[6, 8], [4, 6], [4, 6], [6, 8], [4, 6]
FİEF2	[1/6, 1/4], [1/6, 1/4], [1/8, 1/6], [1/4, 1/2], [1/10, 1/8]	1	[1, 2], [1/2, 1], [1, 2], [4, 6], [1, 2]	[1/4, 1/2], [1/8, 1/6], [1/2, 1], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4]	[1/4, 1/2], [1/10, 1/8], [1/2, 1], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4]	[4, 6], [6, 8], [4, 6], [4, 6], [1, 2]
FİEF3	[1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/8, 1/6], [1/4, 1/2], [1/2, 1]	[1/2, 1], [1, 2], [1/2, 1], [1/6, 1/4], [1/2, 1]	1	[1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/2, 1], [1/4, 1/2], [1/8, 1/6]	[1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/2, 1], [1/4, 1/2], [1/8, 1/6]	[1, 2], [2, 4], [1, 2], [2, 4], [1, 2]
FİEF4	[1/2, 1], [1/4, 1/2], [1/2, 1], [1/6, 1/4], [1/2, 1]	[2, 4], [6, 8], [1, 2], [2, 4], [4, 6]	[2, 4], [4, 6], [1, 2], [2, 4], [6, 8]	1	[2, 4], [4, 6], [2, 4], [4, 6], [6, 8]	[6, 8], [8, 10], [4, 6], [6, 8], [8, 10]
FİEF5	[1/6, 1/4], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/8, 1/6], [1/6, 1/4]	[2, 4], [8, 10], [1, 2], [2, 4], [4, 6]	[2, 4], [4, 6], [1, 2], [2, 4], [6, 8]	[1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/8, 1/6]	1	[4, 6], [2, 4], [4, 6], [4, 6], [4, 6]
FİEF6	[1/8, 1/6], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/8, 1/6], [1/6, 1/4]	[1/6, 1/4], [1/8, 1/6], [1/6, 1/4], [1/6, 1/4], [1/2, 1]	[1/2, 1], [1/4, 1/2], [1/2, 1], [1/4, 1/2], [1/2, 1]	[1/8, 1/6], [1/10, 1/8], [1/6, 1/4], [1/8, 1/6], [1/10, 1/8]	[1/6, 1/4], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/6, 1/4], [1/6, 1/4]	1

Çizelge 6.10 FİEF1 açısından fabrika yerleşim bölgeleri için α – kesim bulanık karşılaştırma matrisi ($\alpha = 0.5$, $\mu = 0.5$)

FİEF1	FYB1	FYB2	FYB3	FYB4	FYB5
FYB1	1	[4, 6], [2, 4], [4, 6], [6, 8], [4, 6]	[1/4, 1/2], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/2, 1], [1/6, 1/4]	[2, 4], [1/2, 1], [2, 4], [2, 4], [1/2, 1]	[6, 8], [6, 8], [4, 6], [6, 8], [4, 6]
FYB2	[1/6, 1/4], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/8, 1/6], [1/6, 1/4]	1	[1/6, 1/4], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/4, 1/2], [1/8, 1/6]	[2, 4], [2, 4], [4, 6], [1, 2], [2, 4]	[4, 6], [6, 8], [4, 6], [2, 4], [4, 6]
FYB3	[2, 4], [2, 4], [4, 6], [1, 2], [4, 6]	[4, 6], [2, 4], [4, 6], [2, 4], [6, 8]	1	[6, 8], [4, 6], [6, 8], [6, 8], [4, 6]	[8, 10], [6, 8], [8, 10], [8, 10], [4, 6]
FYB4	[1/4, 1/2], [1, 2], [1/4, 1/2], [1/4, 1/2], [1, 2]	[1/4, 1/2], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/2, 1], [1/4, 1/2]	[1/8, 1/6], [1/6, 1/4], [1/8, 1/6], [1/8, 1/6], [1/6, 1/4]	1	[2, 4], [4, 6], [4, 6], [4, 6], [1, 2]
FYB5	[1/6, 1/4], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/2, 1/4], [1/8, 1/6]	[1/6, 1/4], [1/8, 1/6], [1/6, 1/4], [1/4, 1/2], [1/6, 1/4]	[1/8, 1/10], [1/8, 1/6], [1/10, 1/8], [1/10, 1/8], [1/6, 1/4]	[1/4, 1/2], [1/6, 1/4], [1/6, 1/4], [1/6, 1/4], [1/2, 1]	1

Bir sonraki adımda faktörler ve alternatif yerleşim bölgeleri matrisleri için değerler şu şekilde hesaplanır. Öncelikle aralık şeklindeki ifadeler yardımı ile karar vericiler kendi puanlarını belirlerler. Sonrasında karar vericilerin puanlamalarının tek bir sayıya dönüştürülebilmesi için ağırlıklandırılmış geometrik ortalamaları alınır ve özvektörleri hesaplanır. Burada geometrik ortalamanın kullanılmasının sebebi değerleri birbirine yakın puanlar içinde, bu değerlerden çok yüksek veya çok düşük bir puanın ortalamayı bir anda yukarı veya aşağı çekmesini önlemektir. Karar vericilerin ağırlıkları sırasıyla 0,3; 0,2; 0,1; 0,3 ve 0,1'dir. Aşağıdaki Çizelge 6.11 ve 6.12'de fabrikalar için etki faktörleri matrisinin ve etki faktörü 1 açısından

(pazara yakınlık) alternatif yerleşim bölgelerinin karşılaştırma matrisinin kesin hale getirilmiş değerleri ve özvektör hesapları yer almaktadır.

Çizelge 6.11 Fabrika etki faktörleri için özvektör matrisi

	<i>EF1</i>	<i>EF2</i>	<i>EF3</i>	<i>EF4</i>	<i>EF5</i>	<i>EF6</i>	Öncelik Vektörü	
<i>EF1</i>	1	4,700	3,370	2,470	4,990	6,480	0,382	
<i>EF2</i>	0,213	1	1,870	0,313	0,297	4,740	0,096	
<i>EF3</i>	0,297	0,535	1	0,325	0,214	2,120	0,069	
<i>EF4</i>	0,405	3,195	3,077	1	4,210	7,290	0,254	
<i>EF5</i>	0,200	3,367	4,673	0,238	1	4,510	0,165	
<i>EF6</i>	0,154	0,211	0,472	0,137	0,222	1	0,034	
						$\lambda_{\max}$	6,660	
						<i>TE</i>	0,131	
						RE	1,25	
						TO	0,10	<= 0,1 ; OK

Çizelge 6.12 Fabrikalar etki faktörü 1 açısından fabrika yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü (5 karar vericinin puanları ile oluşturulmuş)

<i>EF1</i>	<i>FYB1</i>	<i>FYB2</i>	<i>FYB3</i>	<i>FYB4</i>	<i>FYB5</i>	Öncelik Vektörü	
<i>FYB1</i>	1	4,990	0,410	2,430	6,540	0,279	
<i>FYB2</i>	0,200	1	0,270	2,560	4,580	0,135	
<i>FYB3</i>	2,439	3,704	1	6,32	8,07	0,458	
<i>FYB4</i>	0,412	0,391	0,158	1	3,800	0,091	
<i>FYB5</i>	0,153	0,218	0,124	0,263	1	0,037	
					$\lambda_{\max}$	5,371	
					<i>TE</i>	0,093	
					RE	1,110	
					TO	0,084	< 0,1 ; OK

Özvektör matrisleri yardımıyla tutarlılık endeksi ve tutarlılık oranları bağıntı (3.39) ve (3.40) yardımıyla hesaplanır. Örneğin Çizelge 6.11’de;

$$TE = \frac{6,66 - 6}{5} = 0,131 \quad , \quad TO = \frac{0,13109}{1,25} = 0,10$$

olarak hesaplanmıştır. Fabrikalar için diğer etki faktörleri (EF2, EF3, EF4, EF5, EF6) açısından alternatif bölgelerin değerlendirilmesi matrisleri için de özvektör hesapları yapılır ve TO değerlerinin 0,10 dan küçük olduğu kontrol edilir. Tüm bu işlemler aynı şekilde dağıtım merkezleri etki faktörleri ve dağıtım merkezleri alternatif yerleşim bölgeleri için de yapılır. Bu hesaplamaların ayrıntıları Ek 2’de verilmiştir.

Bütün fabrika ve dağıtım merkezlerinin etki faktör ve yerleşim bölgeleri hesaplamalarından sonra bulanık AHP sonuç tabloları Çizelge 6.13 ve 6.14’deki gibidir.

Çizelge 6.13 Fabrika yerleşim bölgesi alternatifleri için final sıralama tablosu

Alternatif Fabrika Yerleşim Bölgeleri							
Fabrikalar için Etki Faktörleri		FYB1	FYB2	FYB3	FYB4	FYB5	TO<0,10
FİEF1	0,382	0,279	0,135	0,458	0,091	0,037	0,084
FİEF2	0,096	0,186	0,148	0,520	0,101	0,044	0,051
FİEF3	0,069	0,143	0,172	0,532	0,108	0,045	0,027
FİEF4	0,254	0,201	0,080	0,514	0,167	0,038	0,100
FİEF5	0,165	0,206	0,119	0,529	0,093	0,053	0,038
FİEF6	0,034	0,170	0,140	0,523	0,106	0,062	0,029
Genel özvektör		0,225	0,123	0,497	0,113	0,042	

Çizelge 6.14 Dağıtım merkezi yerleşim bölgesi alternatifleri için final sıralama tablosu

Alternatif Dağıtım Merkezi Yerleşim Bölgeleri							
DM’ler için Etki Faktörleri		DMYB1	DMYB2	DMYB3	DMYB4	DMYB5	TO<0,10
DMİEF1	0,339	0,077	0,046	0,506	0,227	0,144	0,056
DMİEF2	0,271	0,101	0,052	0,484	0,261	0,102	0,034
DMİEF3	0,209	0,409	0,257	0,051	0,095	0,188	0,068
DMİEF4	0,095	0,217	0,151	0,343	0,165	0,125	0,094
DMİEF5	0,050	0,516	0,233	0,058	0,094	0,100	0,030
DMİEF6	0,036	0,109	0,193	0,362	0,236	0,100	0,026
Genel özvektör		0,189	0,116	0,362	0,196	0,136	

Elde edilen AHP katsayıları z_4 amaç fonksiyonunda (4.14) yerlerine konup problem mevcut kısıtlara göre çözüldüğünde pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri (Çizelge 6.15) elde edilir. AHP sonuçlarının maksimizasyonu probleme fayda olarak yansıtacağından dolayı olumlu ideal çözüm maksimizasyon, negatif ideal çözüm ise minimizasyondur.

Çizelge 6.15 2. amacın olumlu ve negatif ideal çözüm değerleri

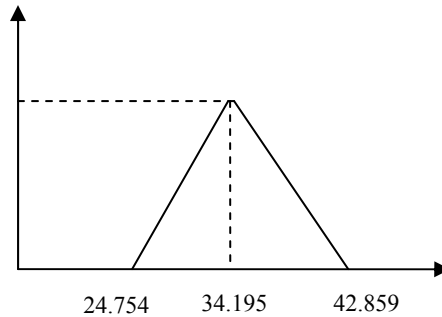
	PIS (birim fayda)	NIS (birim fayda)
z₄	Max z ₄ = 763	Min z ₄ = 381

6.3 1. ve 2. Amacın 1. Fazda Beraber Çözümü

Yardımcı çok amaçlı programlamadan gelen 3 amaç fonksiyonunun ve AHP sonucu elde edilmiş 4. amaç fonksiyonunun pozitif ve negatif ideal çözümleri hesaplandığına göre bir sonraki adımda problem 1. fazda tek amacın maksimizasyonu şekline dönüştürülebilir. Bunun için üyelik fonksiyonları formüllerinden yararlanarak 4 amacın tatmin olma seviyeleri tek tatmin olma seviyesi $\lambda^{(1)}$ altında toplanır. Yani problemin yeni amacı $\lambda^{(1)}$ 'in maksimizasyonu olur. 4 amaç fonksiyonun üyelik fonksiyonları problemin kısıt setine yerleştirilir (Problem 4.22). Buna göre Çizelge 6.1, Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.15'deki değerler Problem 4.22'de yerlerine konursa, problem çözüldükten sonra ilk çözüm olarak $\lambda^{(1)}$ tatmin seviyesi 0,6546 (iyi) olarak hesaplanır. z_1 , z_2 , z_3 ve z_4 amaç fonksiyonlarının ve karar değişkenlerinin değerleri aşağıdaki gibidir:

$$z_1 = 9440, z_2 = 34195, z_3 = 8664 \text{ ve } z_4 = 631$$

Olasılıklı lineer programlamada sonuç, bulanık programlamadan farklı olarak üçgensel dağılımla temsil edilmektedir. z_1 , z_2 , z_3 amaç fonksiyonları olasılıklı maliyet amacı olan 1. amacın üçgensel dağılımda iyimser, en olası ve kötümser değerleri hesaplamakta kullanılmaktadır. En iyimser maliyet; $(z_2 - z_1)$, en olası maliyet; z_2 ; en kötümser maliyet ise $(z_2 + z_3)$ olarak hesaplanır. Hesaplanan değerler Şekil 6.1'de gösterilmektedir.

Şekil 6.1 $\lambda^{(1)} = 0,6546$ için 1. amacın olasılıklı sonucu

Bu sonuçlara göre çözüm 4 fabrika ve 4 dağıtım merkezi açmaya karar vermiş, kademeler arası taşınacak ürün miktarlarını belirlemiştir. Çizelge 6.16'nın sonuçları (fabrika ve dağıtım

merkezi açma ve ağ üzerinde gidecek ürün miktarları) ağda gösterilmek istenirse Şekil 6.2'deki ağ yapısı ortaya çıkar. Tedarikçi ve müşterilerin sayısı problemin başında varsayıldığı gibi sabittir (sırası ile 3 ve 4'dür). Fabrika ve dağıtım merkezlerinin sayısı ise 5 alternatif olarak probleme verildiğinde, çözüm, 4 fabrika ve 4 dağıtım merkezi açılmasını önermiştir. Şekil 6.2'de açılan fabrika ve dağıtım merkezleri içi dolu olarak, içi boş olanlar ise hiç açılmayanlar olarak gösterilmiştir. Fabrika 1 ve Dağıtım Merkezi 4 hiç açılmamakta, geri kalanlar açılmaktadır. Açıldıktan sonraki durum Şekil 6.2'de gösterilmektedir. 1. fazın dezavantajlarından bir tanesi, birbirlerine göre farklı öneme sahip amaç fonksiyonlarının hepsinin tatmin olma seviyesini tek değer ile hesaplaması ve göstermesidir. Acaba z_1 ve z_3 yardımcı fonksiyonlarının z_2 asıl amaç fonksiyonu kadar yani 0,6546 oranında tatmin edilemeleri gerekmekte midir? Bunun cevabı duyarlılık analizi ile ortaya çıkacaktır.

6.4 1. ve 2. Amacın 2. Fazda Beraber Çözümü

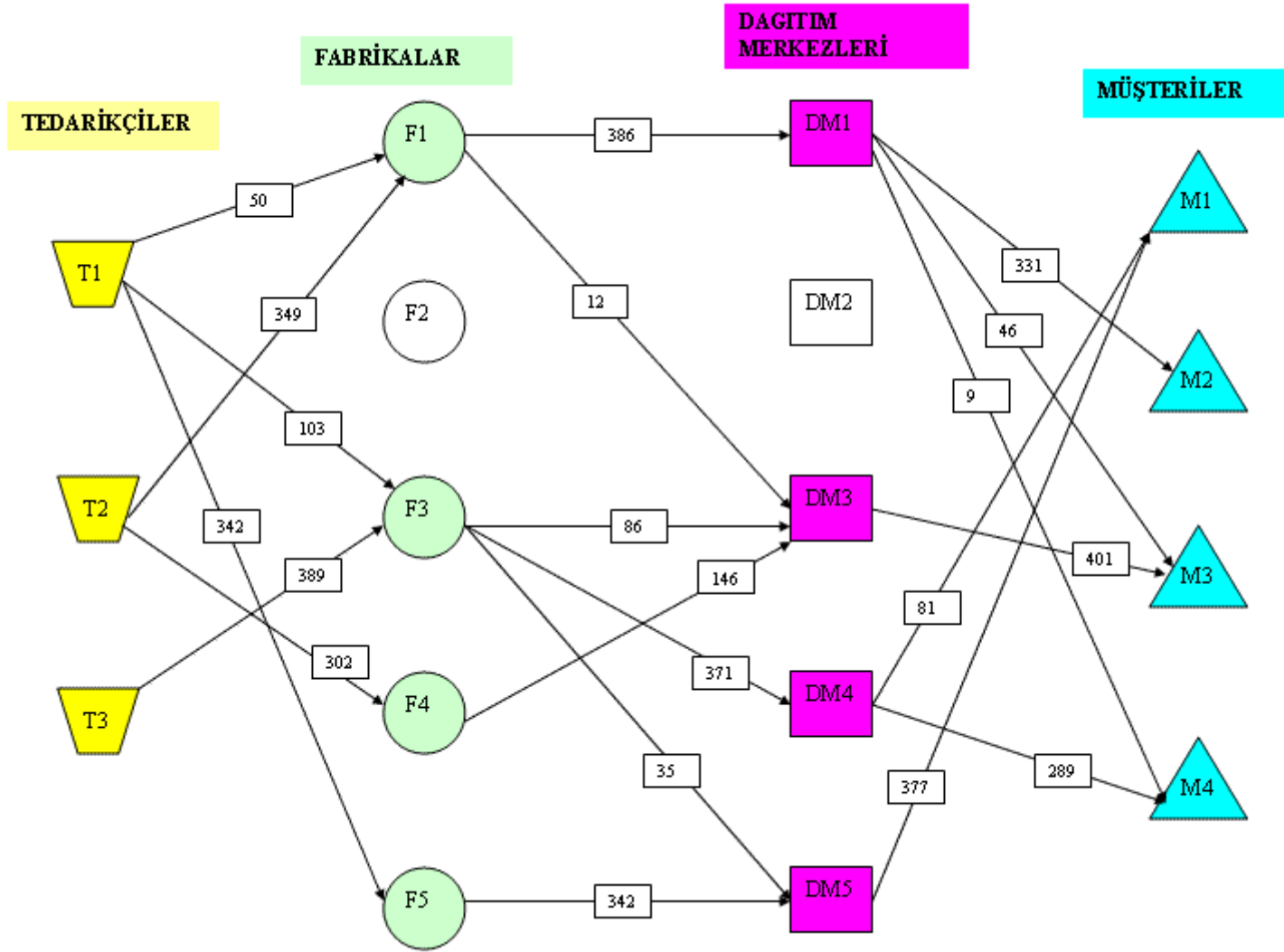
1. fazda amaçların tatmin olma seviyeleri $\lambda^{(1)}$ tatmin olma seviyesi altında toplanmış sonuç 0,6546 olarak bulunmuştur. Ancak bu aşamanın dezavantajlarından bir tanesi amaçların farklı tatmin olma seviyelerini gösterememesidir. Bu yüzden 2. fazda amaç fonksiyonu sayısı kadar tatmin olma seviyesi değişkeni kullanılmış, bu da $\bar{\lambda}_{k,s}^{(2)}$ ile gösterilmiştir. Amaçların önemi karar vericiye göre eşit olduğu taktirde 2. fazdaki amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Max } 0,25 \lambda_1^{(2)} + 0,25 \lambda_2^{(2)} + 0,25 \lambda_3^{(2)} + 0,25 \lambda_4^{(2)}$$

Ancak yukardaki problemde $\lambda_2^{(2)}$ tatmin olma seviyesi hiç şüphesiz $\lambda_1^{(2)}$ ve $\lambda_3^{(2)}$ tatmin seviyelerinden çok daha önemlidir. Çünkü $\lambda_2^{(2)}$ tatmin seviyesi 1. amacın orta noktası yani asıl maliyeti belirleyen fonksiyondur. Bu yüzden $\lambda_2^{(2)}$, $\lambda_1^{(2)}$ ve $\lambda_3^{(2)}$ tatmin seviyelerini (0,25, 0,25, 0,25) vererek eşitlemek bu problemde doğru olmayacaktır. Eğer birbirinden bağımsız 4 amaç fonksiyonu arasında ödünleşme olsaydı 0,25 ağırlıkları doğru olabilirdi, ancak burada $\lambda_1^{(2)}$ ve $\lambda_3^{(2)}$ üçgenin uç noktalarını belirleyecek olduğundan dolayı yardımcı fonksiyonlardır. Bu yüzden $\lambda_2^{(2)}$ veya $\lambda_4^{(2)}$ 'ü baskın hale getirecek bir ağırlığın belirlenmesi sonuçların iyileşmesi açısından faydalı olacaktır. Problemin değişik senaryolardaki tepkisi aşağıdaki bölümde incelenmiştir.

Çizelge 6.16 $\lambda^{(1)} = 0,6546$ için karar değişkenlerinin sonuçları

Tedarikçilerden Fabrikalara		Fabrikalardan- Dağıtım Merkezlerine		Dağıtım Merkezlerinden- Müşterilere	
X11	0.000000	Y11	0.000000	Z11	0.000000
X12	427.9436	Y12	0.000000	Z12	331.0000
X13	0.000000	Y13	0.000000	Z13	0.000000
X14	67.05644	Y14	0.000000	Z14	0.000000
X15	0.000000	Y15	0.000000	Z21	0.000000
X21	0.000000	Y21	0.000000	Z22	0.000000
X22	0.000000	Y22	427.9436	Z23	128.9436
X23	80.87109	Y23	0.000000	Z24	299.0000
X24	77.12891	Y24	0.000000	Z31	82.94356
X25	496.0000	Y25	0.000000	Z32	0.000000
X31	0.000000	Y31	0.000000	Z33	318.0564
X32	0.000000	Y32	0.000000	Z34	0.000000
X33	389.0000	Y33	239.0000	Z41	0.000000
X34	0.000000	Y34	0.000000	Z42	0.000000
X35	0.000000	Y35	230.8711	Z43	0.000000
		Y41	0.000000	Z44	0.000000
		Y42	0.000000	Z51	375.0564
		Y43	0.000000	Z52	0.000000
		Y44	0.000000	Z53	0.000000
		Y45	144.1854	Z54	0.000000
		Y51	334.0000		
		Y52	0.000000		
		Y53	162.0000		
		Y54	0.000000		
		Y55	0.000000		
		AÇILAN FABRİKALAR		AÇILAN DAĞITIM MERKEZLERİ	
		V1	0	R1	1
		V2	1	R2	1
		V3	1	R3	1
		V4	1	R4	0
		V5	1	R5	1



Şekil 6.2 1. Fazda hesaplanan sonucun ağ üzerindeki gösterimi

6.5 Senaryo Analizi

6.5.1 2. Fazdaki Amaç Fonksiyonunda Tatmin Olma Kısıtlarının Zorlanması ve Farklı Katsayılara Verdiği Tepki

(Eğer bütün amaçlar aynı önem derecesine sahip olsaydı)

$$\text{Max } 0,25 \lambda_1^{(2)} + 0,25 \lambda_2^{(2)} + 0,25 \lambda_3^{(2)} + 0,25 \lambda_4^{(2)}$$

2. fazda bütün amaçlar 1. fazın çözümü olan 0,646'dan büyük olmaya zorlandığında yani bütün amaçların tatmin olma seviyelerinden taviz verilmediğinde, bizim için ana amaç olan 2. ($\lambda_2^{(2)}$) ve 4. ($\lambda_4^{(2)}$) amaçların tatmin seviyelerinde daha fazla tatmin imkanı sağlanamamaktadır, çünkü problemin fizibil çözümü yoktur. Bu yüzden ödün verilebilecek 1. ve 3. amaçların tatmin seviyelerinden önce birini veya daha sonra ikincisini azaltarak $\lambda_2^{(2)}$ ve $\lambda_4^{(2)}$ 'i arttırmaya çalışmak ve sonuçları karşılaştırmak faydalı olacaktır. 0,6546'dan sonra 0,90'a kadar 0,1'lik artışlarla $\lambda_2^{(2)}$, $\lambda_3^{(2)}$, $\lambda_4^{(2)}$ artarken $\lambda_1^{(2)}$ 'den ödün verilecek, ancak yine de $\lambda_1^{(2)}$ alabileceği maksimum değerde olacaktır. $\lambda_1^{(2)}$ değeri çözümde çok küçük bir değere çekildiğinde de (örneğin 0,01) fizibil çözüm sağlanamamış ve bu sefer $\lambda_3^{(2)}$ 'den ödün verilmiştir. Yine $\lambda_1^{(2)}$ için yapıldığı gibi $\lambda_3^{(2)}$ 'den ödün verilirken $\lambda_3^{(2)}$ 'nin globalliği sağladığı maksimum değer aranır. Buna göre çıkan sonuçlar Çizelge 6.17'de özetlenmiştir.

“Max $0,25 \lambda_1^{(2)} + 0,25 \lambda_2^{(2)} + 0,25 \lambda_3^{(2)} + 0,25 \lambda_4^{(2)}$ ” amaç fonksiyonunun katsayıları değiştirildiğinde; örneğin “Max $0,125 \lambda_1^{(2)} + 0,5 \lambda_2^{(2)} + 0,125 \lambda_3^{(2)} + 0,25 \lambda_4^{(2)}$ ” (Maliyet, yardımcı amaç fonksiyonlarına göre 4 kat, kalitatif faktör amacına göre 2 kat daha önemli)” veya “Max $0,125 \lambda_1^{(2)} + 0,25 \lambda_2^{(2)} + 0,125 \lambda_3^{(2)} + 0,5 \lambda_4^{(2)}$ ” (Kalitatif faktörler, maliyet amaç fonksiyonuna göre 2 kat, onun yardımcı amaç fonksiyonlarına göre 4 kat daha önemli)” durumlarında da Çizelge 6.17'deki sonuçlar elde edilmiştir. Yani 2. fazdaki problemin amaç fonksiyonundaki katsayı değişiklikleri sonucu etkilememektedir. Bunun nedeni tatmin seviyelerinin katsayılardan bağımsız olarak belirli değerlerin üzerine çıkması için tatmin seviyesi kısıtlarının belli değerlerin üzerinde olmaları için zorlanmalarıdır. Bir sonraki adımda ise tatmin seviyesi kısıtları çok düşük tutularak, problemin 2. fazın amaç fonksiyonundaki katsayı değişikliklerine nasıl yanıt verdiği araştırılmıştır.

Çizelge 6.17 Tatmin olma kısıtları zorlandığındaki değişik senaryoların sonuçları

1.SENARYO Max $0,25 \lambda_1^{(2)} + 0,25 \lambda_2^{(2)} + 0,25 \lambda_3^{(2)} + 0,25 \lambda_4^{(2)}$ (Bütün amaçlar aynı önem derecesine sahip)								
	$\lambda_1^{(2)}$	$\lambda_2^{(2)}$	$\lambda_3^{(2)}$	$\lambda_4^{(2)}$	Z_2-Z_1	Z_2	$Z_2 + Z_3$	Z_4
Çözüm 1 $\lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,7$	0,595 orta	0,7 iyi	0,7338 iyi	0,70 iyi	24378	33555	41890	647
Çözüm 2 $\lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,8$	0,333 zayıf	0,80 çokiyi	0,80 çokiyi	0,801 çokiyi	24131	32144	40164	681
Çözüm 3 $\lambda_1^{(2)} \geq 0,01$ $\lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,9$	FİZİBİL ÇÖZÜM YOK							
Çözüm 4 $\lambda_1^{(2)} \geq 0,01$ $\lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,833 \text{ max}$	0,219 zayıf	0,833 çokiyi	0,833 çokiyi	0,833 çokiyi	24167	31678	39542	693
Çözüm 5 $\lambda_1^{(2)} \geq 0,01$ $\lambda_3^{(2)} \geq 0,75$ $\lambda_2^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,85$	0,07 çok zayıf	0,85 çok iyi	0,75 iyi	0,99 Mükemmel	24568	31439	39697	758
Çözüm 6 $\lambda_1^{(2)}, \lambda_3^{(2)} \geq 0,01$ $\lambda_2^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,9$	FİZİBİL ÇÖZÜM YOK							
Çözüm 7 $\lambda_1^{(2)}, \lambda_3^{(2)} \geq 0,01$ $\lambda_2^{(2)} = 0,893,$ $\lambda_4^{(2)} = 0,90$	0,16 çok çok zayıf	0,893 ~ Mükemmel	0,573 orta	0,90 Mükemmel	23576	30832	39929	727

6.5.2 2. Fazdaki Amaç Fonksiyonundaki Tatmin Olma Kısıtlarının Rahatlatılması ve Farklı Katsayılara Verdiği Tepki

Tatmin olma seviyelerinin hepsinin çok küçük bir seviyede ($\geq 0,01$ gibi) tutularak katsayıların değiştirilerek problemin çözülmesi durumunda farklı sonuçlar ortaya çıkabilir. Yine yukardakine benzer önem dereceleri belirlenmiş ve problem bu şekilde çözüldüğünde oluşan tatmin olma seviyeleri Çizelge 6.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.18 Tatmin olma kısıtları çok düşük tutulduğunda değişik senaryoların sonuçları

1.SENARYO								
Max $0,25 \lambda_1^{(2)} + 0,25 \lambda_2^{(2)} + 0,25 \lambda_3^{(2)} + 0,25 \lambda_4^{(2)}$ (Bütün amaçlar aynı önem derecesine sahip)								
	$\lambda_1^{(2)}$	$\lambda_2^{(2)}$	$\lambda_3^{(2)}$	$\lambda_4^{(2)}$	$z_2 - z_1$	z_2	$z_2 + z_3$	z_4
Çözüm 8 $\lambda_1^{(2)}, \lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,01$	0,56 orta	0,56 orta	0,8843 ~mükemmel	0,9462 mükemmel	26485	35511	43130	739
2. SENARYO								
Max $0,125 \lambda_1^{(2)} + 0,5 \lambda_2^{(2)} + 0,125 \lambda_3^{(2)} + 0,25 \lambda_4^{(2)}$ (Maliyet yardımcı amaç fonksiyonlarına göre 4 kat, kalitatif faktör amacına göre 2 kat daha önemli)								
	$\lambda_1^{(2)}$	$\lambda_2^{(2)}$	$\lambda_3^{(2)}$	$\lambda_4^{(2)}$	$z_2 - z_1$	z_2	$z_2 + z_3$	z_4
Çözüm 9 $\lambda_1^{(2)}, \lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,01$	0,07 çok çok zayıf	0,8582 çok iyi	0,728 iyi	0,99 mükemmel	24455	31322	39681	758
3.SENARYO								
Max $0,125 \lambda_1^{(2)} + 0,25 \lambda_2^{(2)} + 0,125 \lambda_3^{(2)} + 0,5 \lambda_4^{(2)}$ (Kalitatif faktörler, maliyet amaç fonksiyonuna göre 2 kat, onun yardımcı amaç fonksiyonlarına göre 4 kat daha önemli)								
	$\lambda_1^{(2)}$	$\lambda_2^{(2)}$	$\lambda_3^{(2)}$	$\lambda_4^{(2)}$	$z_2 - z_1$	z_2	$z_2 + z_3$	z_4
Çözüm 10 $\lambda_1^{(2)}, \lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,01$	0,22 zayıf	0,76 iyi	0,8595 çok iyi	0,983 mükemmel	25133	32683	40420	752

6.6 Sayısal Uygulama Çözümlerinin Değerlendirilmesi

Çizelge 6.17 ve 6.18’de ortaya çıkan senaryo çözümleri incelenecek olursa, Çözüm 1’den Çözüm 10’a kadar $\lambda_2^{(2)}$ (minimum maliyet amacının tatmin olma seviyesi) ve $\lambda_4^{(2)}$ ’ün (kalitatif faktörlerin max faydası amacının tatmin seviyesi) 1. fazdan gelen $\lambda^{(1)} = 0,6546$ sonucundan daha fazla tatmin seviyelerine ulaşması amaçlanmıştır. Bunun için daha önceden de belirtildiği üzere problemin doğası gereği yardımcı çok amaçlı lineer programlamadan gelen ve nispeten diğer amaçlardan daha önemsiz olan $\lambda_1^{(2)}$ ve $\lambda_3^{(2)}$ ’den ödün verilmiştir. Çözüm 1’den Çözüm 7’ye kadar bütün amaç fonksiyonlarına eşit derecede önem verilmiş ve bütün tatmin olma seviyelerinin katsayısı 0,25 olarak atanmıştır.

Çözüm 1’de $\lambda_1^{(2)}$ ’den ödün verilmeye başlanmış ve $\lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,7$ şartı sağlanması için $\lambda_1^{(2)}$ ’den ne kadar ödün verilmesi gerektiğinin cevabı araştırılmıştır. Bu şartın sağlanması için $\lambda_1^{(2)}$ ’in maksimum 0,595 olması gerektiği görülmüştür. Bu değer aşıldığında globallik sınırları dışına çıkılmakta ve fizibil sonuç elde edilememektedir. Çözüm 1’deki sonuçlar amaç fonksiyonlarında yerlerine konduğunda oluşan (iyimser, en olası, kötümser) maliyet; (24378, 33555, 41890) ve kalitatif faktörlerin yarattığı birim fayda 647 olarak hesaplanmıştır.

Çözüm 2’de , $\lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,8$ şartı için $\lambda_1^{(2)}$ ’nin maksimum 0,333 olması gerektiği hesaplanmış, maliyet ve kalitatif faktörlerin faydası sonucu da iyileşmiştir; (24131, 32144, 40164) ve 681. $\lambda_1^{(2)}$ ’in tatmin seviyesinde 0,595’den 0,333’e bir düşme yaşansa da $\lambda_2^{(2)}$ ’de ki iyileşme bu açığı kapatmıştır.

Çözüm 3’de $\lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,9$ şartının sağlanıp sağlanmadığı araştırılmış, $\lambda_1^{(2)} \geq 0,01$ gibi çok küçük bir tatmin seviyesine çekilse bile bu şartın sağlanamadığı ve global çözümün olmadığı anlaşılmıştır.

Çözüm 4’de Çözüm 3’de sağlanamayan $\lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)} \geq 0,9$ kısıtının, 0,9 olamıyorsa maksimum kaç olacağı deneme yanılma yöntemi incelenmiş ve maksimum 0,833 olduğu saptanmıştır. 0,833 değerinde $\lambda_1^{(2)}$ de 0,219’a kadar çıkabilmiştir. 0,333’den 0,219 arasındaki düşüş çok gözüксе de $\lambda_2^{(2)}$ ’deki iyileşme $\lambda_1^{(2)}$ ’i de etkilediğinden dolayı $z_2 - z_1$ değeri 24131 iken Çözüm 4’de küçük bir artışla sadece 24167’ye çıkmıştır.

Çözüm 5'de $\lambda_1^{(2)}$ 'den verilen ödün bittiğinden dolayı, $\lambda_3^{(2)}$ 'den de ödün verilerek, bunlardan daha önemli olan $\lambda_2^{(2)}$ ve $\lambda_4^{(2)}$ 'ün tatmin seviyeleri, 0,85 ve ardından Çözüm 6'da 0,90'a çıkarılmaya çalışılmıştır. Yine deneme yanılma metodu ile $\lambda_2^{(2)}$, $\lambda_4^{(2)} \geq 0,85$ şartının sağlandığı bunun için $\lambda_3^{(2)}$ 'ün maksimum 0,75 olabileceği hesaplanmıştır. Bu çözümde kalitatif faktörleri temsil eden amacın tatmin seviyesi olan $\lambda_4^{(2)}$ radikal bir biçimde bir önceki çözümündeki değeri 0,83 den 0,99'a, neredeyse 1'e yükselmiştir. Bunu elde ederken $\lambda_2^{(2)}$ az geliştiğinden yani 0,83'den 0,85'e çıktığından $\lambda_1^{(2)}$ 'deki ileri dereceli bozulmayı fazla engelleyememiştir. Bunun sonucunda z_2-z_1 değeri 24167'den 24568'e artmıştır. z_2+z_3 39542'den 39697'ye çıkmıştır. Kalitatif faktörlerin temsil edildiği 4. amacın tatmin seviyesinin neredeyse 1 olduğu düşünülecek olursa, bu maliyet farkları çok önemli gözükmemektedir.

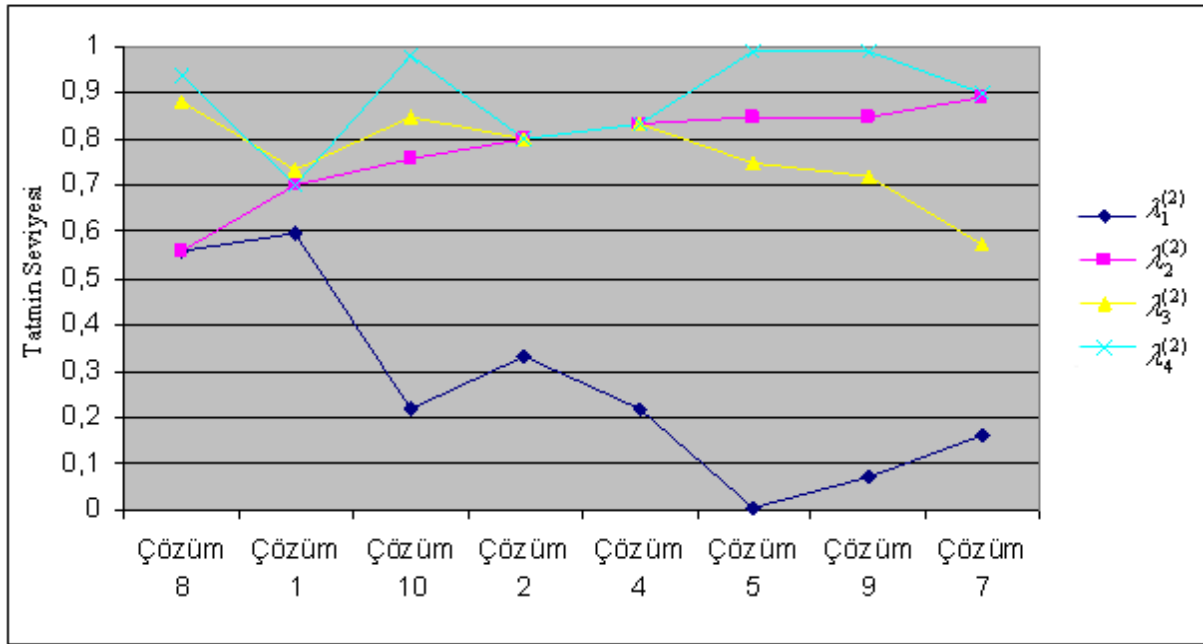
Çözüm 6'da $\lambda_2^{(2)}$, $\lambda_4^{(2)} \geq 0,9$ şartının sağlanıp sağlanamadığı araştırılmış, $\lambda_1^{(2)}, \lambda_3^{(2)}$ 'ün ikisinden de 0,01 gibi çok yüksek (0'a yakın) bir oranda ödün verilse bile bu şartın global çözümü vermediği anlaşılmıştır.

Çözüm 7'de daha önceden yapıldığı gibi $\lambda_1^{(2)}, \lambda_3^{(2)}$ 'in ikisinden de maksimum oranda vazgeçilirse ($\lambda_1^{(2)}, \lambda_3^{(2)} \geq 0,01$), $\lambda_2^{(2)}$ ve $\lambda_4^{(2)}$ 'ün kaç olabileceği araştırılmıştır. $\lambda_2^{(2)}$ 'den %0,7'lik bir vazgeçme ile (0,90'dan 0,893'e düşerek) hem $\lambda_2^{(2)}$ 'de hem de $\lambda_4^{(2)}$ 'de 0,9 – 1 aralığında tatmin olma seviyeleri yani mükemmel sonuçlar elde edilmiştir. Bu çözüm $\lambda_1^{(2)}$ 'in de tekrar yükselmesine yani z_2-z_1 değerinin düşmesine imkan vermiştir. z_2 'nin de en iyi sonucu bu çözümde 30832 hesaplanmıştır. Doğal olarak bu iki değerdeki düşüş diğer 2 değerden (z_2+z_3 ve z_4 'den) ödün istemiştir. z_2+z_3 39697'den 39929'a artmış, z_4 ise ~maksimum değeri olan 758'den 727'ye düşmüştür. Çözümlerin sonuçları ve tatmin seviyelerinin sözel ifadeleri Çizelge 6.17'de gösterilmektedir.

Çözüm 8, 9, 10'da ise $\lambda_1^{(2)}, \lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_4^{(2)}$ kısıtları tamamıyla rahat bırakıldığında yani $\geq 0,01$ gibi çok düşük bir değere çekilip, amaçlara değişik ağırlıklar verildiğinde 3 senaryo içinde (1- Her amaç eşit önemli, 2- Maliyet kalitatif faktörlerden iki, yardımcı amaç fonksiyonlarından dört kat önemli, 3- Kalitatif faktörler maliyetten iki, maliyetin yardımcı amaç fonksiyonlarından dört kat önemli) problemin vermiş olduğu çözümler incelenmiştir. Buna göre;

Çizelge 6.18'den de görüleceği üzere, Çözüm 8, 9, 10 arasında z_2-z_1 , z_2 , z_2+z_3 ve z_4 açısından en iyi sonuç (24455, 31322, 39681) ve 758 ile Çözüm 9'a aittir. Çözüm 9'da maliyet kalitatif faktörlerden 2 kat daha önemsenmesine rağmen, kalitatif faktörlerin tatmin olma seviyesi $\lambda_4^{(2)}$ 0,99'a ulaşarak neredeyse ~1'e ulaşmıştır. Çözüm 5 ile Çözüm 9'un sonuçları birbiri ile hemen hemen aynıdır. Çizelge 6.3'de çözümler $\lambda_2^{(2)}$ ve $\lambda_4^{(2)}$ tatmin seviyeleri küçükten büyüğe sıralanarak, birbirleri arasındaki ve diğer amaç fonksiyonlarının tatmin olma seviyeleri arasındaki ödünleşmeler gösterilmiştir.

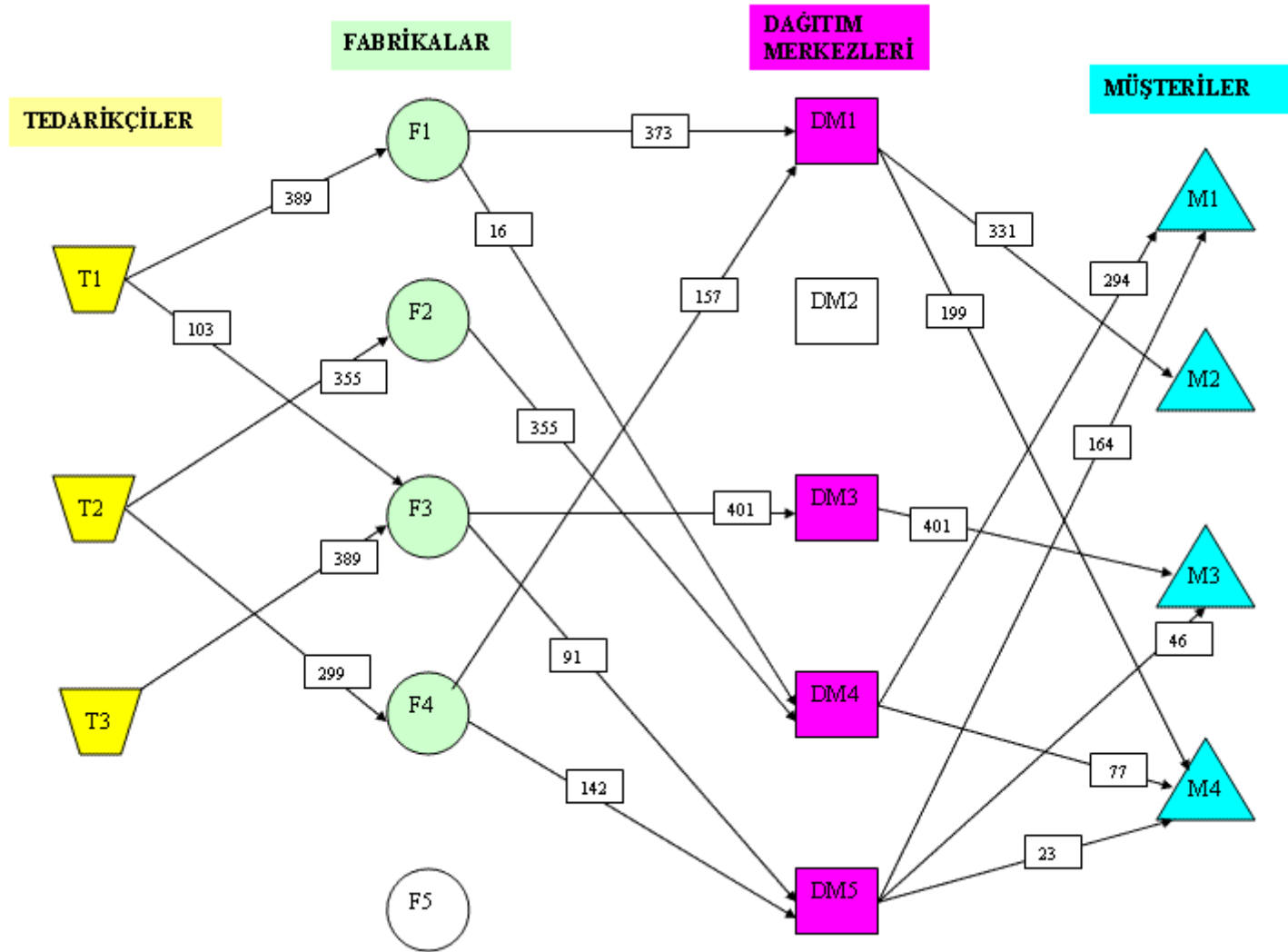
Karar verici büyük ihtimalle en iyi performans gösteren son 3 çözüm; “çözüm 5, çözüm 9 ve çözüm 7” arasında tercih yapacaktır veya yapmalıdır. Son 3 çözümde ortaya çıkan fabrika ve depo yeri açma kararları ve ağ üzerinde akacak ürün miktarları, Çizelge 6.19, Çizelge 6.20, Çizelge 6.21'de listelenmiş daha sonra Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da ağ üzerinde gösterilmişlerdir.



Şekil 6.3 $\lambda_1^{(2)}$, $\lambda_2^{(2)}$, $\lambda_3^{(2)}$, $\lambda_4^{(2)}$ tatmin olma seviyelerinin arasındaki ödünleşme

Çizelge 6.19 Çözüm 5'in sonuçları

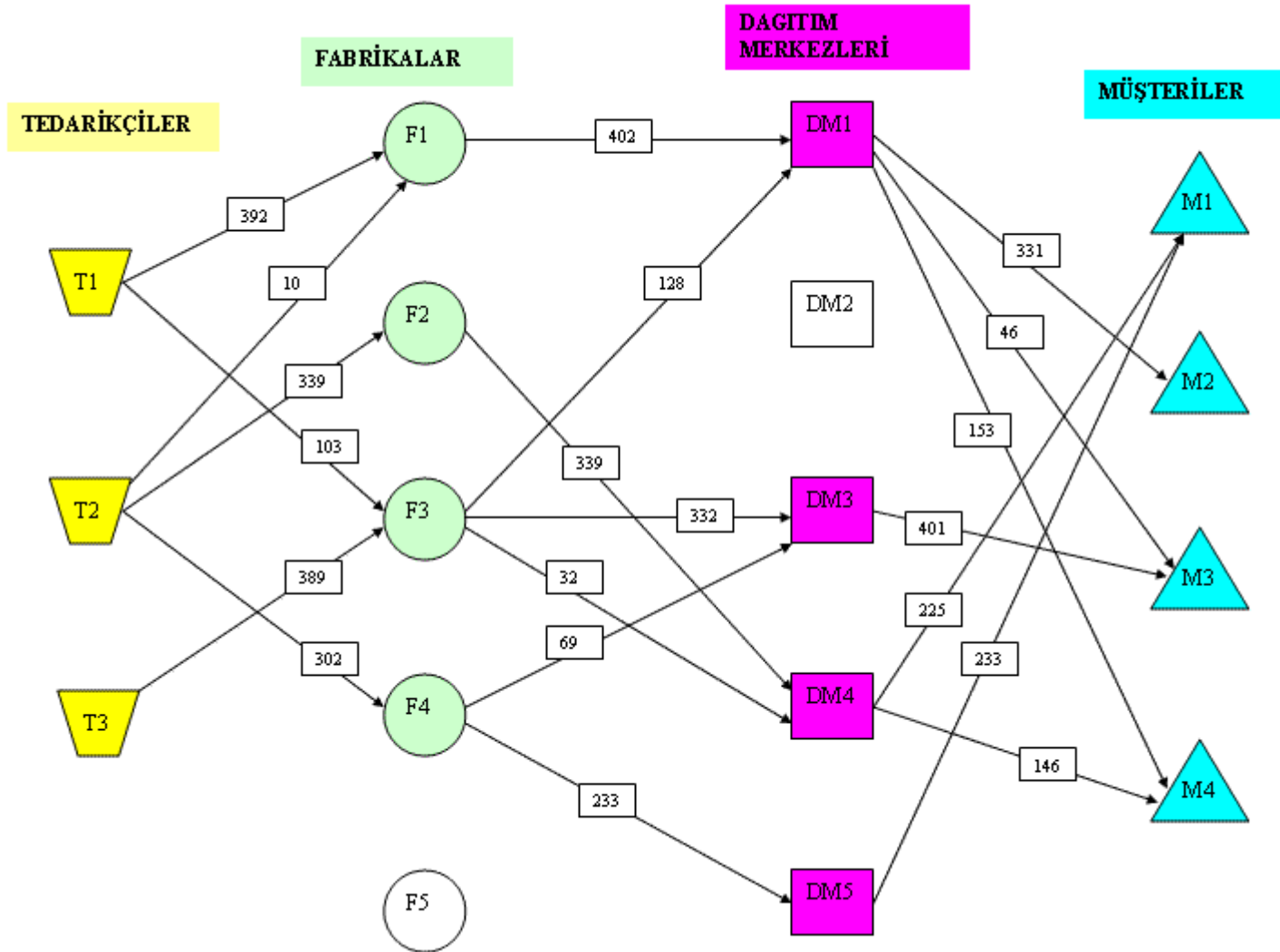
Tedarikçilerden Fabrikalara		Fabrikalardan- Dağıtım Merkezlerine		Dağıtım Merkezlerinden- Müşterilere	
X11	389.0000	Y11	372.9500	Z11	0.000000
X12	0.000000	Y12	0.000000	Z12	331.0000
X13	103.0000	Y13	0.000000	Z13	0.000000
X14	0.000000	Y14	16.05000	Z14	199.0000
X15	0.000000	Y15	0.000000	Z21	0.000000
X21	0.000000	Y21	0.000000	Z22	0.000000
X22	354.9500	Y22	0.000000	Z23	0.000000
X23	0.000000	Y23	0.000000	Z24	0.000000
X24	299.0500	Y24	354.9500	Z31	0.000000
X25	0.000000	Y25	0.000000	Z32	0.000000
X31	0.000000	Y31	0.000000	Z33	401.0000
X32	0.000000	Y32	0.000000	Z34	0.000000
X33	389.0000	Y33	401.0000	Z41	294.0000
X34	0.000000	Y34	0.000000	Z42	0.000000
X35	0.000000	Y35	91.00000	Z43	0.000000
		Y41	157.0500	Z44	77.00000
		Y42	0.000000	Z51	164.0000
		Y43	0.000000	Z52	0.000000
		Y44	0.000000	Z53	46.00000
		Y45	142.0000	Z54	23.00000
		Y51	0.000000		
		Y52	0.000000		
		Y53	0.000000		
		Y54	0.000000		
		Y55	0.000000		
		AÇILAN FABRİKALAR		AÇILAN DAĞITIM MERKEZLERİ	
		V1	1	R1	1
		V2	1	R2	0
		V3	1	R3	1
		V4	1	R4	1
		V5	0	R5	1



Şekil 6.4 Çözüm 5'in ağ üzerindeki gösterimi

Çizelge 6.20 Çözüm 9'un sonuçları

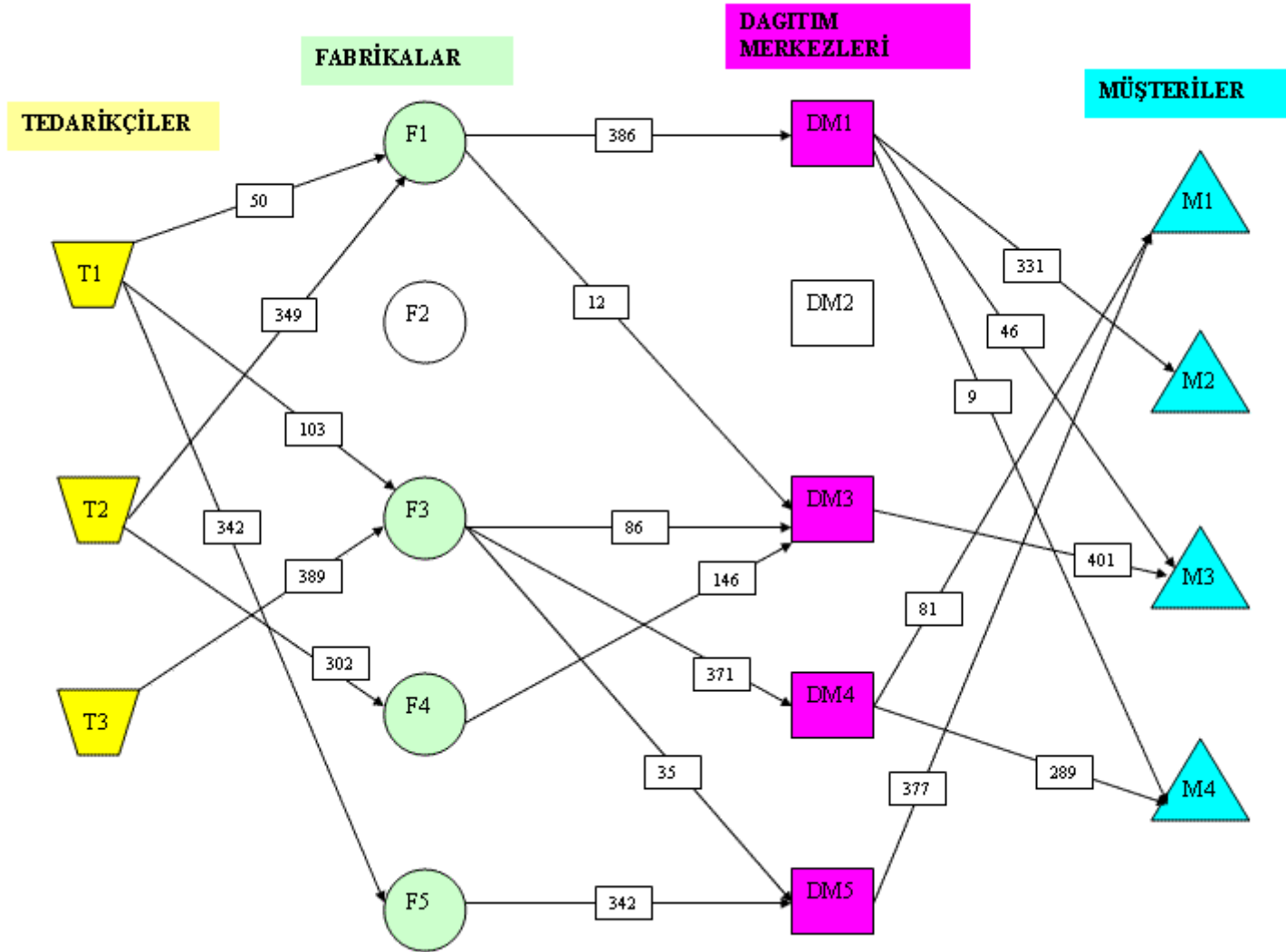
Tedarikçilerden Fabrikalara		Fabrikalardan- Dağıtım Merkezlerine		Dağıtım Merkezlerinden- Müşterilere	
X11	392.0000	Y11	402.0000	Z11	0.000000
X12	0.000000	Y12	0.000000	Z12	331.0000
X13	103.0000	Y13	0.000000	Z13	46.00000
X14	0.000000	Y14	0.000000	Z14	153.0000
X15	0.000000	Y15	0.000000	Z21	0.000000
X21	10.00000	Y21	0.000000	Z22	0.000000
X22	339.0000	Y22	0.000000	Z23	0.000000
X23	0.000000	Y23	0.000000	Z24	0.000000
X24	302.0000	Y24	339.0000	Z31	0.000000
X25	0.000000	Y25	0.000000	Z32	0.000000
X31	0.000000	Y31	128.0000	Z33	401.0000
X32	0.000000	Y32	0.000000	Z34	0.000000
X33	389.0000	Y33	332.0000	Z41	225.0000
X34	0.000000	Y34	32.00000	Z42	0.000000
X35	0.000000	Y35	0.000000	Z43	0.000000
		Y41	0.000000	Z44	146.0000
		Y42	0.000000	Z51	233.0000
		Y43	69.00000	Z52	0.000000
		Y44	0.000000	Z53	0.000000
		Y45	233.0000	Z54	0.000000
		Y51	0.000000		
		Y52	0.000000		
		Y53	0.000000		
		Y54	0.000000		
		Y55	0.000000		
		AÇILAN FABRİKALAR		AÇILAN DAĞITIM MERKEZLERİ	
		V1	1	R1	1
		V2	1	R2	0
		V3	1	R3	1
		V4	1	R4	1
		V5	0	R5	1



Şekil 6.5 Çözüm 9'un ağ üzerindeki gösterimi

Çizelge 6.21 Çözüm 7'nin sonuçları

Tedarikçilerden Fabrikalara		Fabrikalardan- Dağıtım Merkezlerine		Dağıtım Merkezlerinden- Müşterilere	
X11	49.65786	Y11	386.1333	Z11	0.000000
X12	0.000000	Y12	0.000000	Z12	331.0000
X13	103.0000	Y13	12.52458	Z13	46.00000
X14	0.000000	Y14	0.000000	Z14	9.133277
X15	342.3421	Y15	0.000000	Z21	0.000000
X21	349.0000	Y21	0.000000	Z22	0.000000
X22	0.000000	Y22	0.000000	Z23	0.000000
X23	0.000000	Y23	0.000000	Z24	0.000000
X24	302.0000	Y24	0.000000	Z31	0.000000
X25	0.000000	Y25	0.000000	Z32	0.000000
X31	0.000000	Y31	0.000000	Z33	401.0000
X32	0.000000	Y32	0.000000	Z34	0.000000
X33	389.0000	Y33	86.47542	Z41	81.13328
X34	0.000000	Y34	371.0000	Z42	0.000000
X35	0.000000	Y35	34.52458	Z43	0.000000
		Y41	0.000000	Z44	289.8667
		Y42	0.000000	Z51	376.8667
		Y43	302.0000	Z52	0.000000
		Y44	0.000000	Z53	0.000000
		Y45	0.000000	Z54	0.000000
		Y51	0.000000		
		Y52	0.000000		
		Y53	0.000000		
		Y54	0.000000		
		Y55	342.3421		
		AÇILAN FABRİKALAR		AÇILAN DAĞITIM MERKEZLERİ	
		V1	1	R1	1
		V2	0	R2	0
		V3	1	R3	1
		V4	1	R4	1
		V5	1	R5	1



Şekil 6.6 Çözüm 7'nin ağ üzerinde gösterimi

Sonuç olarak olasılıklı lineer programlama ile elde edilen çözüm deterministik olarak elde edilen sonuçlardan daha esnektir. Örneğin Syarif vd. (2002)'nin çalışmasında deterministik modelin çözümünde elde edilen sonuç 28870 birim maliyettir. Ancak bu sonuç deterministik olduğundan dolayı, planlanan ile gerçekleşen değerler arasındaki farkları modelin içine dahil edemez ve gerçek yaşamdaki problemlerde karar vericiyi tam olarak bilgilendiremez. Bu çalışmada iki fazlı OLP uygulandıktan sonra bulunan en optimum maliyet sonuçlarından biri ise (23576, 30872, 39929) birim maliyettir. Bu sonuç karar vericiye en büyük ihtimalle 30872 birim maliyetle karşılaşacağını ama en iyi ihtimalle 23576 ve en kötü ihtimalle de 39929 birim maliyetlerle karşılaşmasının olasılık içinde olduğunu söylemektedir. Bu sonuçlar, iki fazlı OLP'de deneme-yanılma yöntemi ile amaç fonksiyonlarının tatmin seviyeleri arasında ödünleşmeler yapılarak bulunmuştur. Aynı zamanda model çok amaçlı tasarlanmış ve yeni amaçların modele dahil edilebilmesinin alt yapısı kurulmuştur.

Sonuç olarak model başta OLP yöntemi kullanılarak çözüldüğünden deterministik modellere göre daha avantajlıdır ve aynı zamanda da iki fazlı OLP kullanıldığından dolayı amaç fonksiyonlarının tatmin olma seviyeleri arasında ödünleşmeler mümkün hale getirilmiş ve Zimmermann (1978) max-min yönteminin dezavantajlı durumu ortadan kaldırılmıştır. Çizelge 6.22'de deterministik, tek fazlı OLP ve iki fazlı OLP'lerin maliyet açısından verdiği sonuçlar gösterilmektedir.

Çizelge 6.22. Deterministik çözüm ile OLP çözümlerinin karşılaştırılması

<u>Yöntem</u>	<u>Sonuç (birim maliyet)</u>
Deterministik (Syarif vd., 2002)	28870
Tek fazlı OLP	(24754, 34195, 42859)
İki Fazlı OLP (Çözüm 5)	(23576, 30872, 39929)

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, çok kademeli tedarik zincirinde alternatif fabrika ve dağıtım merkezlerinden en uygun olanlarını açmak ve zincirde optimum ürün gönderilerini belirleyebilmek için kantitatif ve kalitatif faktörleri de göz önüne alan çok amaçlı tesis yeri seçimi problemi ele alınmıştır.

Tedarik zincirinde belirsizlik içeren durumları temsil edebilmek için birinci amaç olan maliyetin minimizasyonunda, olasılıklı lineer programlama yöntemi ve ikinci amaç olan kalitatif faktörlerden sağlanacak faydanın maksimizasyonunda ise bulanık AHP yöntemi, bu iki amacın aynı anda çözümü için, aynı yapı içerisinde birlikte kullanılmışlardır.

Birinci amaçta belirsizlik içeren unsurlar; tedarikçilerden fabrikalara, fabrikalardan dağıtım merkezlerine, dağıtım merkezlerinden müşterilere yapılacak taşıma maliyetleri, açılacak olan fabrika ve dağıtım merkezlerinin kapasiteleri, sabit maliyetler ve müşteri talepleridir. İkinci amaçtaki belirsizlik içeren unsurlar ise; fabrika ve dağıtım merkezleri yerleşimleri için karar vericilerin etki faktörlerini birbirleri arasında karşılaştırmaları, sonra da her bir etki faktörü açısından yerleşim alternatifleri için yapmış oldukları oylamalardır.

Gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin matematiksel model veya bulanık model olarak formüle edilmesi kolay değildir. Bulanık matematiksel programlama, olasılıklı lineer programlama gibi metodolojiler bu problemlerin formülasyonu için son yıllarda sık kullanılan yaklaşımlar olmuştur.

Olasılıklı lineer programlama kullanılan birinci amaçta, en olası toplam maliyet minimize edilmeye, daha düşük toplam maliyet elde etme olasılığı maksimize edilmeye ve yüksek toplam maliyet riskleri eş zamanlı olarak minimize edilmeye çalışılmıştır.

İkinci amaç fonksiyonunda, bulanık AHP yaklaşımı ile karar vericilerin verdikleri oylar sonucunda belirlenen ağırlıklar ile oluşturulan amaç fonksiyonu ve ilk amaçtan gelen üç yardımcı amaç fonksiyonunda, çözüm için Zimmermann'ın bulanık programlama yönteminde kullandığı üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Bu sayede çok amaçlı program tek amaçlı hale dönüştürülmüştür ($\text{Max } \lambda^1$). Ancak 1. faz olarak kabul edilen bu çözüm farklı amaç fonksiyonlarının ödünleşme derecelerinin ölçülmesine ve geliştirme yapılmasına mücadele etmediğinden 2. fazdaki çözüme geçilmiştir. 2. fazda λ^1 tatmin olma seviyesi toplam amaç fonksiyonu adedine bölünerek her amaç için farklı tatmin olma seviyelerine ayrılmış ($\lambda_1^2, \lambda_2^2, \lambda_3^2, \lambda_4^2$) ve bu 2. fazda amaçların farklı senaryolara verdiği tepkiler ölçülmüştür.

Ortaya çıkan sonuçlar gösterdikleri performans derecelerine göre en kötünden en iyiye doğru sıralanmıştır.

Önerilen yaklaşım gerçek yaşamdaki belirsiz veri içeren tesis yeri seçimi problemlerini etkileşimli bir karar verme süreci ile çözebilir. Önerilen model hem kalitatif hem de kantitatif faktörleri içerdiğinden karar vericinin daha gerçekçi kararlar vermesini sağlar.

Burada, karar vericinin insiyatifine sunulan çözümler esnektir. Tatmin olma seviyelerinin ödünleşme derecelerine göre farklı seviyelerdeki çözümler bir bilgisayar programı sayesinde hızlı ve kolay elde edilebilmektedir. Ayrıca modelin çözümünde elde edilen maliyet sonucu özellikle deterministik çözüm veren modellerden çok daha avantajlıdır, çünkü elde edilen sonuç da belirsizlik içermektedir. Problemin yapısı gereği girdiler belirsizlik içerdiğinden, çıktılarında da belirsizlik içermesi çözümü daha doğal kılmakta, gerçek uygulamalarda elde edilebilecek çözüm aralığından haberdar etmektedir.

Maliyet açısından çözüm, karar verme pozisyonunda olan yöneticiyi en olası, en iyimser ve en kötümser sonuçlardan haberdar etmektedir. Aynı zamanda model, maliyetteki değişime bağlı olarak kalitatif faktörlerdeki değişimi de yansıtmaktadır. Karar verici iki amaç arasındaki ödünleşmeyi çözüm tablolarında rahatça görebilmektedir. Ayrıca optimum çözüm için tedarik zinciri ağı üzerindeki hangi fabrika ve dağıtım merkezlerinin açılması gerektiği ve zincirdeki kademeler arası taşınacak ürün miktarları da problemin çözümünde ortaya çıkan sunulan diğer sonuçlardır.

İleride yapılacak çalışmalarda uygulamanın geliştirilmesi için, modele yeni amaçlar eklemek, kalitatif faktörlerin kapsamını genişletmek, zincirde dolaşan ürün miktarını artırmak, fabrika ve dağıtım merkezlerine ek olarak alternatif tedarikçilerin seçimini probleme dahil etmek gibi çeşitli farklı seçenekler düşünülebilir. Probleme eklenecek her yeni unsur problemin derinleşmesi ve gelişmesi, aynı zamanda gerçek yaşamda karşılaşılan durumların teorik olarak temsil edilmesi açısından oldukça faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ali Amiri, A., (2006), "Designing a Distribution Network in a Supply Chain System: Formulation and Efficient Solution Procedure", *European Journal of Operational Research*, 171 (2): 567-576.
- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Paksoy, T., (2006), "A Genetic Algorithm Approach For Multi-Objective Optimization Of Supply Chain Networks", *Computers and Industrial Engineering* 51:197-216.
- Amid A., Ghodsypour S.H., O'Brien C. (2006), "Fuzzy Multiobjective Linear Model For Supplier Selection in a Supply Chain", *International Journal of Production Economics*, 104(2) :394-407.
- Ayağ, Z. ve Özdemir,R.G. (2006), "A Fuzzy AHP Approach To Evaluating Machine Tool Alternatives", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17:179-190.
- Beamon, B. M., (1998), "Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods", *International Journal of Production Economics*, 55 (3): 281-294.
- Braun, M. W., Rivera, D. E., Flores, M. E., Carlyle, W. M., Kempf, K. G., (2003), "A Model Predictive Control Framework for Robust Management of Multi-Product, Multi-Echelon Demand Networks", *Annual Reviews in Control*, 27(2): 229-245.
- Buckley, J.J. (1989), "Solving Possibilistic Programming Problem", *Fuzzy Sets and System* 31 : 329-341.
- Cakravastia, A., Toha, I. S., Nakamura, N., (2002), "A Two-Stage Model for the Design of Supply Chain Networks", *International Journal of Production Economics*, 80 (3): 231-248.
- Che, Z.H., Wang, H.S., Sha, D.Y., (2007), "A Multi-Criterion Interaction-Oriented Model with Proportional Rule for Designing Supply Chain Networks", *Expert Systems with Applications*, 33 (4): 1042-1053.
- Chen, C. L. Ve Lee, W. C., (2004), "Multi-Objective Optimization of Multi-Echelon Supply Chain Networks with Uncertain Product Demands and Prices", *Computers & Chemical Engineering*, 28 (6-7) 1131-1144.
- Chopra, S., (2003), "Designing the Distribution Network in a Supply Chain", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39(2): 123-140.
- Debois, D. (1987), "Linear Programming With Fuzzy Data", in: Bezdek J.C.(Ed.), *Analysis of Fuzzy Information*, vol III: Applications in Engineering and Sciences, CRC Press, Boca Raton, 1987, pp. 241-263.
- Erengüç, S., Simpson N. C., Vakharia, A. J., (1999), "Integrated Production/Distribution Planning in Supply Chains: An Invited Review", *European Journal of Operational Research*, 115 (2):219-236.

- Frota Neto, J. Q., Bloemhof-Ruwaard, J. M., van Nunen, J. A. E. E., van Heck, E., (2008), "Designing and Evaluating Sustainable Logistics Networks", *International Journal of Production Economics*, 111 (2): 195-208.
- Goetschalckx, M., Vidal, C. J., Dogan, K., (2002), "Modeling and Design of Global Logistics Systems: A Review of Integrated Strategic and Tactical Models and Design Algorithms", *European Journal of Operational Research*, 143 (1): 1-18.
- Guillén, G., Mele, F.D., Bagajewicz, M. J., Espuña, A., Puigjaner, L., (2005), "Multiobjective Supply Chain Design Under Uncertainty", *Chemical Engineering Science*, 60 (6): 1535-1553.
- Guu M. ve Wu Y. (1999), "Two-Phase Approach For Solving The Fuzzy Linear Programming Problems", *Fuzzy Sets and Systems*, 107:191-195.
- Heikkilä, J., (2002), "From Supply to Demand Chain Management: Efficiency and Customer Satisfaction", *Journal of Operations Management*, 20 (6): 747-767.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making –Methods and Applications*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Inuiguchi, M. ve Ramik J. (2000), "Possibilistic Linear Programming: A Brief Review of Fuzzy Mathematical Programming and A Comparaison with Stochastic Programming in Portfolio Selection Problem", *Fuzzy Sets and Systems* 111: 3-28.
- Jang, Y. J., Jang, S. Y., Chang, B. M., Park, J., (2002), "A Combined Model of Network Design and Production/Distribution Planning for a Supply Network", *Computers & Industrial Engineering*, 43 (1-2): 263-281.
- Jayaraman, V. ve Pirkul, H., (2001), "Planning and Coordination of Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities", *European Journal of Operational Research*, 133 (2): 394-408.
- Karkowski, I. (1995), "Architectural Synthesis with Possibilistic Programming", *Proceedings of the 28th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Kaufmann, A., ve Gupta, M. M. (1985). *Introduction To Fuzzy Arithmetic: Theory And Applications*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Korhonen, P., Huttunen, K., Eloranta, E., (1998), "Demand Chain Management in a Global Enterprise-Information Management View", *Production Planning & Control*, 9(6): 526 – 531.
- Kovács, G. L. ve Paganelli, P., (2003), "A Planning and Management Infrastructure for Large, Complex, Distributed Projects—Beyond ERP and SCM", *Computers in Industry*, 51(2): 165-183.
- Lai, Y-J. ve Hwang, C-L. (1992), " A New Approach to Some Possibilistic Linear Programming Problems", *Fuzzy Sets and Systems*, 49:121-133.
- Lee, A. R. (1999). "Application Of Modified Fuzzy AHP Method To Analyze Bolting Sequence Of Structural Joints". *UMI Dissertation Services*, A Bell & Howell Company.

- Lee, S. ve Li R.J. (1993), "Fuzzy Multiple Objective Programming and Compromise Programming with Pareto Optimum", *Fuzzy Sets and Systems*, 53: 275-288.
- Li X. ve Li B. (2006), "Computing Efficient Solutions To Fuzzy Multiple Objective Linear Programming Problems", *Fuzzy Sets and Systems*, 157:1328-1332.
- Melo, M.T., Nickel, S., Saldanha da Gama, F., (2006), "Dynamic Multi-Commodity Capacitated Facility Location: A Mathematical Modeling Framework for Strategic Supply Chain Planning", *Computers & Operations Research*, 33(1) 181-208.
- Perea-López, E., Ydstie, B. E., Grossmann, I. E., "A Model Predictive Control Strategy for Supply Chain Optimization", *Computers & Chemical Engineering*, 27(8-9): 1201-1218.
- Petrovic, D., Roy, R., Petrovic, R., (1999), "Supply Chain Modelling Using Fuzzy Sets", *International Journal of Production Economics*, 59 (1-3): 443-453.
- Pirkul, H. ve Jayaraman, V. (1997). "A Multi-Commodity, Multi-Plant, Capacitated Facility Location Problem: Formulation And Efficient Heuristic Solution", *Computers and Operation Research* 25 (10): 869-878
- Pirkul, H. ve Jayaraman, V., (1998), "A Multi-Commodity, Multi-Plant, Capacitated Facility Location Problem: Formulation and Efficient Heuristic Solution", 25 (10): 869-878.
- Pokharel, S., (2008), "A Two Objective Model for Decision Making in a Supply Chain", *International Journal of Production Economics*, 111(2): 378-388.
- Ramik, J. ve Rimanek, J. (1985), "Inequality Relation Between Fuzzy Numbers and Its Use in Fuzzy Optimization", *Fuzzy Sets and Systems*, 16:123-138.
- ReVelle, C. S. ve Eiselt, H. A., (2005), "Location Analysis: A Synthesis and Survey", *European Journal of Operational Research*, 165(1): 1-19.
- Roghanian, E., Sadjadi, S.J., Aryanezhad, M.B., (2007), "A Probabilistic Bi-Level Linear Multi-Objective Programming Problem to Supply Chain Planning", *Applied Mathematics and Computation*, 188(1): 786-800.
- Romeijn, H. E., Shu, J., Teo, C. P., (2007), "Designing Two-Echelon Supply Networks", *European Journal of Operational Research*, 178 (2): 449-462.
- Rudberg, M. Ve Olhager, J., (2003), "Manufacturing Networks and Supply Chains: An Operations Strategy Perspective", *Omega*, 31(1): 29-39.
- Saaty, T. L. (1981). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill: New York.
- Saaty, T. L. (1989). "Decision Making, Scaling, And Number Crunching". *Decision Science*, 20: 404-409.
- Saaty, T.L. (1988). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill Inc.

- Saaty, T.L. (1994). "Highlights And Critical Point In The Theory And Application Of The Analytic Hierarchy Process". *European Journal of Operational Research*, 74: 426-447.
- Sabri, E. H. ve Beamon, B. M., (2000), "A Multi-Objective Approach to Simultaneous Strategic and Operational Planning in Supply Chain Design", *Omega*, 28 (5): 581-598.
- Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M., Shapiro, A., (2005), "A Stochastic Programming Approach for Supply Chain Network Design Under Uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 167 (1): 96-115.
- Syam, S. S., (2002), "A Model and Methodologies for the Location Problem with Logistical Components", *Computers & Operations Research*, 29 (9): 1173-1193.
- Syarif, A., Yun, Y. S., Gen, M., (2002), "Study on Multi-Stage Logistic Chain Network: A Spanning Tree-Based Genetic Algorithm Approach", *Computers & Industrial Engineering*, 43(1-2): 299-314.
- Şahin, G. ve Sürat, H., (2007), "A Review of Hierarchical Facility Location Models", *Computers & Operations Research*, 34 (8): 2310-2331.
- Tanaka, H. ve Asia K. (1984), "Fuzzy Solution in Fuzzy Linear Programming, *IEEE Trans.SMC* 14(2) 325-328.
- Tanaka, H., Ichihashi, H., Asai, K. (1984), "A Formulation of Fuzzy Linear Programming Problem Based on Comparaison of Fuzzy Numbers", *Control and Cybernetics* 13: 185-194.
- Tang, J., Wang D., Fung, R. Y. K., (2001), "Formulation of General Possibilistic Linear Programming Problems for Complex Industrial Systems", *Fuzzy Sets and Systems*, 119 (1): 41-48.
- Tsiakis, P. ve Papageorgiou, L. G., (2008), "Optimal Production Allocation and Distribution Supply Chain Networks", *International Journal of Production Economics*, 111 (2): 468-483.
- Vercellis, C., (1999), "Multi-Plant Production Planning in Capacitated Self-Configuring Two-Stage Serial Systems", *European Journal of Operational Research*, 119 (2): 451-460.
- Vidal, C. J. ve Goetschalckx, M., (1997), "Strategic Production-Distribution Models: A Critical Review with Emphasis on Global Supply Chain Models", *European Journal of Operational Research* 98 (1): 1-18.
- Vila, D., Martel, A., Beauregard, Robert., 2006), "Designing Logistics Networks in Divergent Process Industries: A Methodology and Its Application to the Lumber Industry", *International Journal of Production Economics*, 102 (2): 358-378.
- Wang, R.C. ve Liang T.F. (2005), "Applying Possibilistic Linear Programming to Aggregate Production Planning", *Internation Production of Economics* 98:328-341.
- Xu, Z.(2000), " On consistency of the weighted geometric mean complex judgement matrix in AHP", *European Journal of Operational Research* 126: 683-687.

Yan, H., Yu, Z., Cheng, T. C. E., (2003), "A Strategic Model for Supply Chain Design with Logical Constraints: Formulation and Solution", *Computers & Operations Research*, 30(14): 2135-2155.

Yılmaz, P. Ve Çatay, B., (2006), "Strategic Level Three-Stage Production Distribution Planning with Capacity Expansion, *Computers & Industrial Engineering*, 51(4): 609-620.

Zadeh, L.A. (1978), " Fuzzy Sets as a Basis For A Theory of Possibility", *Fuzzy Sets and Systems* 1: 3-28.

Zhang, D., (2006), "A Network Economic Model for Supply Chain Versus Supply Chain Competition", *Omega*, 34 (3): 283-295.

Zhou, G., Min, H., Gen, M., (2003), "A Genetic Algorithm Approach to the Bi-Criteria Allocation of Customers to Warehouses", *International Journal of Production Economics*, 86 (1): 35-45.

Zimmermann, H.J. (1978), "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions", *Fuzzy Sets and Systems* 1: 45-55.

EK 1- 1.Amacın çözülmesinde kullanılan LINGO programlama kodları

$z_2 = \text{Max} (z_1^m - z_1^o) = 10.974$ ve $z_2 = \text{Min} (z_1^m - z_1^o) = 6.535$
hesaplaması için LINGO 9.0 programı

max=

(s11*x11+s12*x12+s13*x13+s14*x14+s15*x15+s21*x21+s22*x22+s23*x23+s24*x24+s25*x25+s31*x31+s32*x32+s33*x33+s34*x34+s35*x35)

+(t11*y11+t12*y12+t13*y13+t14*y14+t15*y15+t21*y21+t22*y22+t23*y23+t24*y24+t25*y25+t31*y31+t32*y32+t33*y33+t34*y34+t35*y35+t41*y41+t42*y42+t43*y43+t44*y44+t45*y45+t51*y51+t52*y52+t53*y53+t54*y54+t55*y55)+

(u11*z11+u12*z12+u13*z13+u14*z14+u21*z21+u22*z22+u23*z23+u24*z24+u31*z31+u32*z32+u33*z33+u34*z34+u41*z41+u42*z42+u43*z43+u44*z44+u51*z51+u52*z52+u53*z53+u54*z54)+

(f1*v1+f2*v2+f3*v3+f4*v4+f5*v5)+

(g1*r1+g2*r2+g3*r3+g4*r4+g5*r5);

x11+x12+x13+x14+x15<=a1;

x21+x22+x23+x24+x25<=a2;

x31+x32+x33+x34+x35<=a3;

y11+y12+y13+y14+y15<=b1*v1;

y21+y22+y23+y24+y25<=b2*v2;

y31+y32+y33+y34+y35<=b3*v3;

y41+y42+y43+y44+y45<=b4*v4;

y51+y52+y53+y54+y55<=b5*v5;

z11+z12+z13+z14<=c1*r1;

z21+z22+z23+z24<=c2*r2;

z31+z32+z33+z34<=c3*r3;

z41+z42+z43+z44<=c4*r4;

z51+z52+z53+z54<=c5*r5;

z11+z21+z31+z41+z51>= d1;

z12+z22+z32+z42+z52>= d2;

z13+z23+z33+z43+z53>= d3;

z14+z24+z34+z44+z54>= d4;

x11+x21+x31>=y11+y12+y13+y14+y15;

x12+x22+x32>=y21+y22+y23+y24+y25;

x13+x23+x33>=y31+y32+y33+y34+y35;

x14+x24+x34>=y41+y42+y43+y44+y45;

x15+x25+x35>=y51+y52+y53+y54+y55;

x11+x21+x31+x12+x22+x32+x13+x23+x33+x14+x24+x34+x15+x25+x35>=y11+y12+y13+y14+y15+y21+y22+y23+y24+y25+y31+y32+y33+y34+y35+y41+y42+y43+y44+y45+y51+y52+y53+y54+y55;

y11+y21+y31+y41+y51+y12+y22+y32+y42+y52+y13+y23+y33+y43+y53+y14+y24+y34+y44+y54+y15+y25+y35+y45+y55>=z11+z12+z13+z14+z21+z22+z23+z24+z31+z32+z33+z34+z41+z42+z43+z44+z51+z52+z53+z54;

y11+y21+y31+y41+y51>=z11+z12+z13+z14;

y12+y22+y32+y42+y52>=z21+z22+z23+z24;

y13+y23+y33+y43+y53>=z31+z32+z33+z34;

y14+y24+y34+y44+y54>=z41+z42+z43+z44;

y15+y25+y35+y45+y55>=z51+z52+z53+z54;

$v_1+v_2+v_3+v_4+v_5 \leq 5;$
 $r_1+r_2+r_3+r_4+r_5 \leq 5;$

$s_{11}=1;$
 $s_{12}=2;$
 $s_{13}=1;$
 $s_{14}=2;$
 $s_{15}=1;$

$s_{21}=2;$
 $s_{22}=1;$
 $s_{23}=2;$
 $s_{24}=2;$
 $s_{25}=3;$

$s_{31}=2;$
 $s_{32}=1;$
 $s_{33}=1;$
 $s_{34}=2;$
 $s_{35}=1;$

$t_{11}=1;$
 $t_{12}=2;$
 $t_{13}=1;$
 $t_{14}=2;$
 $t_{15}=1;$

$t_{21}=2;$
 $t_{22}=2;$
 $t_{23}=2;$
 $t_{24}=1;$
 $t_{25}=2;$

$t_{31}=1;$
 $t_{32}=2;$
 $t_{33}=1;$
 $t_{34}=1;$
 $t_{35}=1;$

$t_{41}=1;$
 $t_{42}=1;$
 $t_{43}=1;$
 $t_{44}=1;$
 $t_{45}=1;$

$t_{51}=2;$
 $t_{52}=2;$
 $t_{53}=2;$
 $t_{54}=1;$
 $t_{55}=1;$

$u_{11}=1;$
 $u_{12}=1;$
 $u_{13}=1;$
 $u_{14}=1;$

$u_{21}=1;$
 $u_{22}=1;$
 $u_{23}=2;$
 $u_{24}=2;$

u31=2;
u32=1;
u33=1;
u34=1;

u41=1;
u42=1;
u43=1;
u44=1;

u51=1;
u52=1;
u53=1;
u54=1;

a1=495;
a2=654;
a3=389;

b1=402;
b2=545;
b3=492;
b4=302;
b5=496;

c1=530;
c2=587;
c3=401;
c4=371;
c5=579;

d1=458;
d2=331;
d3=447;
d4=299;

f1=300;
f2=100;
f3=400;
f4=250;
f5=150;

g1=200;
g2=150;
g3=200;
g4=200;
g5=300;

x11>=0;
x12>=0;
x13>=0;
x14>=0;
x15>=0;

x21>=0;
x22>=0;
x23>=0;
x24>=0;
x25>=0;

x31>=0;
x32>=0;
x33>=0;
x34>=0;
x35>=0;

y11>=0;
y12>=0;
y13>=0;
y14>=0;
y15>=0;

y21>=0;
y22>=0;
y23>=0;
y24>=0;
y25>=0;

y31>=0;
y32>=0;
y33>=0;
y34>=0;
y35>=0;

y41>=0;
y42>=0;
y43>=0;
y44>=0;
y45>=0;

y51>=0;
y52>=0;
y53>=0;
y54>=0;
y55>=0;

z11>=0;
z12>=0;
z13>=0;
z14>=0;

z21>=0;
z22>=0;
z23>=0;
z24>=0;

z31>=0;
z32>=0;
z33>=0;
z34>=0;

z41>=0;
z42>=0;
z43>=0;
z44>=0;

z51>=0;
z52>=0;
z53>=0;
z54>=0;

@BIN(w1);
 @BIN(w2);
 @BIN(w3);
 @BIN(w4);
 @BIN(w5);

@BIN(z1);
 @BIN(z2);
 @BIN(z3);
 @BIN(z4);
 @BIN(z5);

$$z_3 = \text{Min } (z_1^P - z_1^M) = 7.069 \text{ ve } z_3 = \text{Max } (z_1^P - z_1^M) = 11.825$$

hesaplaması için LINGO 9.0 programı

min=

(s11*x11+s12*x12+s13*x13+s14*x14+s15*x15+s21*x21+s22*x22+s23*x23+s24*x24+s25*x25+s31*x31+s32*x32+s33*x33+s34*x34+s35*x35)

+(t11*y11+t12*y12+t13*y13+t14*y14+t15*y15+t21*y21+t22*y22+t23*y23+t24*y24+t25*y25+t31*y31+t32*y32+t33*y33+t34*y34+t35*y35+t41*y41+t42*y42+t43*y43+t44*y44+t45*y45+t51*y51+t52*y52+t53*y53+t54*y54+t55*y55)+

(u11*z11+u12*z12+u13*z13+u14*z14+u21*z21+u22*z22+u23*z23+u24*z24+u31*z31+u32*z32+u33*z33+u34*z34+u41*z41+u42*z42+u43*z43+u44*z44+u51*z51+u52*z52+u53*z53+u54*z54)+

(f1*v1+f2*v2+f3*v3+f4*v4+f5*v5)+

(g1*r1+g2*r2+g3*r3+g4*r4+g5*r5);

x11+x12+x13+x14+x15<=a1;
 x21+x22+x23+x24+x25<=a2;
 x31+x32+x33+x34+x35<=a3;

y11+y12+y13+y14+y15<=b1*v1;
 y21+y22+y23+y24+y25<=b2*v2;
 y31+y32+y33+y34+y35<=b3*v3;
 y41+y42+y43+y44+y45<=b4*v4;
 y51+y52+y53+y54+y55<=b5*v5;

z11+z12+z13+z14<=c1*r1;
 z21+z22+z23+z24<=c2*r2;
 z31+z32+z33+z34<=c3*r3;
 z41+z42+z43+z44<=c4*r4;
 z51+z52+z53+z54<=c5*r5;

z11+z21+z31+z41+z51>= d1;
 z12+z22+z32+z42+z52>= d2;
 z13+z23+z33+z43+z53>= d3;
 z14+z24+z34+z44+z54>= d4;

x11+x21+x31>=y11+y12+y13+y14+y15;
 x12+x22+x32>=y21+y22+y23+y24+y25;
 x13+x23+x33>=y31+y32+y33+y34+y35;
 x14+x24+x34>=y41+y42+y43+y44+y45;
 x15+x25+x35>=y51+y52+y53+y54+y55;

x11+x21+x31+x12+x22+x32+x13+x23+x33+x14+x24+x34+x15+x25+x35>=y11+y12+y13+y14+y15+y21+y22+y23+y24+y25+y31+y32+y33+y34+y35+y41+y42+y43+y44+y45+y51+y52+y53+y54+y55;

$$y_{11}+y_{21}+y_{31}+y_{41}+y_{51}+y_{12}+y_{22}+y_{32}+y_{42}+y_{52}+y_{13}+y_{23}+y_{33}+y_{43}+y_{53}+y_{14}+y_{24}+y_{34}+y_{44}+y_{54}+y_{15}+y_{25}+y_{35}+y_{45}+y_{55} \geq z_{11}+z_{12}+z_{13}+z_{14}+z_{21}+z_{22}+z_{23}+z_{24}+z_{31}+z_{32}+z_{33}+z_{34}+z_{41}+z_{42}+z_{43}+z_{44}+z_{51}+z_{52}+z_{53}+z_{54};$$

$$\begin{aligned} y_{11}+y_{21}+y_{31}+y_{41}+y_{51} &\geq z_{11}+z_{12}+z_{13}+z_{14}; \\ y_{12}+y_{22}+y_{32}+y_{42}+y_{52} &\geq z_{21}+z_{22}+z_{23}+z_{24}; \\ y_{13}+y_{23}+y_{33}+y_{43}+y_{53} &\geq z_{31}+z_{32}+z_{33}+z_{34}; \\ y_{14}+y_{24}+y_{34}+y_{44}+y_{54} &\geq z_{41}+z_{42}+z_{43}+z_{44}; \\ y_{15}+y_{25}+y_{35}+y_{45}+y_{55} &\geq z_{51}+z_{52}+z_{53}+z_{54}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_1+v_2+v_3+v_4+v_5 &\leq 5; \\ r_1+r_2+r_3+r_4+r_5 &\leq 5; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{11} &= 2; \\ s_{12} &= 2; \\ s_{13} &= 1; \\ s_{14} &= 2; \\ s_{15} &= 2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{21} &= 2; \\ s_{22} &= 1; \\ s_{23} &= 2; \\ s_{24} &= 2; \\ s_{25} &= 2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{31} &= 2; \\ s_{32} &= 2; \\ s_{33} &= 1; \\ s_{34} &= 3; \\ s_{35} &= 2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{11} &= 1; \\ t_{12} &= 2; \\ t_{13} &= 2; \\ t_{14} &= 1; \\ t_{15} &= 2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{21} &= 2; \\ t_{22} &= 1; \\ t_{23} &= 2; \\ t_{24} &= 2; \\ t_{25} &= 3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{31} &= 1; \\ t_{32} &= 2; \\ t_{33} &= 1; \\ t_{34} &= 2; \\ t_{35} &= 1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{41} &= 1; \\ t_{42} &= 2; \\ t_{43} &= 1; \\ t_{44} &= 2; \\ t_{45} &= 1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{51} &= 1; \\ t_{52} &= 1; \\ t_{53} &= 2; \\ t_{54} &= 1; \\ t_{55} &= 2; \end{aligned}$$

u11=2;
u12=1;
u13=2;
u14=2;

u21=2;
u22=2;
u23=1;
u24=2;

u31=1;
u32=1;
u33=2;
u34=2;

u41=1;
u42=1;
u43=2;
u44=2;

u51=2;
u52=2;
u53=2;
u54=2;

a1=495;
a2=654;
a3=389;

b1=402;
b2=545;
b3=492;
b4=302;
b5=496;

c1=530;
c2=587;
c3=401;
c4=371;
c5=579;

d1=458;
d2=331;
d3=447;
d4=299;

f1=200;
f2=300;
f3=200;
f4=200;
f5=200;

g1=250;
g2=200;
g3=200;
g4=150;
g5=200;

x11>=0;
x12>=0;
x13>=0;
x14>=0;

x15>=0;

x21>=0;

x22>=0;

x23>=0;

x24>=0;

x25>=0;

x31>=0;

x32>=0;

x33>=0;

x34>=0;

x35>=0;

y11>=0;

y12>=0;

y13>=0;

y14>=0;

y15>=0;

y21>=0;

y22>=0;

y23>=0;

y24>=0;

y25>=0;

y31>=0;

y32>=0;

y33>=0;

y34>=0;

y35>=0;

y41>=0;

y42>=0;

y43>=0;

y44>=0;

y45>=0;

y51>=0;

y52>=0;

y53>=0;

y54>=0;

y55>=0;

z11>=0;

z12>=0;

z13>=0;

z14>=0;

z21>=0;

z22>=0;

z23>=0;

z24>=0;

z31>=0;

z32>=0;

z33>=0;

z34>=0;

z41>=0;

z42>=0;

z43>=0;

z44>=0;

z51>=0;

z52>=0;

z53>=0;

z54>=0;

@BIN(w1);

@BIN(w2);

@BIN(w3);

@BIN(w4);

@BIN(w5);

@BIN(z1);

@BIN(z2);

@BIN(z3);

@BIN(z4);

@BIN(z5);

$z_4 = \text{Max } z_4 = 763$ ve $z_4 = \text{Min } z_4 = 381$

hesaplaması için LINGO 9.0 programı

max=

(t11*y11+t12*y12+t13*y13+t14*y14+t15*y15+t21*y21+t22*y22+t23*y23+t24*y24+t25*y25+t31*y31+t32*y32+t33*y33+t34*y34+t35*y35+t41*y41+t42*y42+t43*y43+t44*y44+t45*y45+t51*y51+t52*y52+t53*y53+t54*y54+t55*y55)+(u11*z11+u12*z12+u13*z13+u14*z14+u21*z21+u22*z22+u23*z23+u24*z24+u31*z31+u32*z32+u33*z33+u34*z34+u41*z41+u42*z42+u43*z43+u44*z44+u51*z51+u52*z52+u53*z53+u54*z54);

x11+x12+x13+x14+x15<=a1;

x21+x22+x23+x24+x25<=a2;

x31+x32+x33+x34+x35<=a3;

y11+y12+y13+y14+y15<=b1*v1;

y21+y22+y23+y24+y25<=b2*v2;

y31+y32+y33+y34+y35<=b3*v3;

y41+y42+y43+y44+y45<=b4*v4;

y51+y52+y53+y54+y55<=b5*v5;

z11+z12+z13+z14<=c1*r1;

z21+z22+z23+z24<=c2*r2;

z31+z32+z33+z34<=c3*r3;

z41+z42+z43+z44<=c4*r4;

z51+z52+z53+z54<=c5*r5;

z11+z21+z31+z41+z51>= d1;

z12+z22+z32+z42+z52>= d2;

z13+z23+z33+z43+z53>= d3;

z14+z24+z34+z44+z54>= d4;

x11+x21+x31>=y11+y12+y13+y14+y15;

x12+x22+x32>=y21+y22+y23+y24+y25;

x13+x23+x33>=y31+y32+y33+y34+y35;

x14+x24+x34>=y41+y42+y43+y44+y45;

x15+x25+x35>=y51+y52+y53+y54+y55;

$x_{11}+x_{21}+x_{31}+x_{12}+x_{22}+x_{32}+x_{13}+x_{23}+x_{33}+x_{14}+x_{24}+x_{34}+x_{15}+x_{25}+x_{35} \geq y_{11}+y_{12}+y_{13}+y_{14}+y_{15}+y_{21}+y_{22}+y_{23}+y_{24}+y_{25}+y_{31}+y_{32}+y_{33}+y_{34}+y_{35}+y_{41}+y_{42}+y_{43}+y_{44}+y_{45}+y_{51}+y_{52}+y_{53}+y_{54}+y_{55};$

$y_{11}+y_{21}+y_{31}+y_{41}+y_{51}+y_{12}+y_{22}+y_{32}+y_{42}+y_{52}+y_{13}+y_{23}+y_{33}+y_{43}+y_{53}+y_{14}+y_{24}+y_{34}+y_{44}+y_{54}+y_{15}+y_{25}+y_{35}+y_{45}+y_{55} \geq z_{11}+z_{12}+z_{13}+z_{14}+z_{21}+z_{22}+z_{23}+z_{24}+z_{31}+z_{32}+z_{33}+z_{34}+z_{41}+z_{42}+z_{43}+z_{44}+z_{51}+z_{52}+z_{53}+z_{54};$

$y_{11}+y_{21}+y_{31}+y_{41}+y_{51} \geq z_{11}+z_{12}+z_{13}+z_{14};$

$y_{12}+y_{22}+y_{32}+y_{42}+y_{52} \geq z_{21}+z_{22}+z_{23}+z_{24};$

$y_{13}+y_{23}+y_{33}+y_{43}+y_{53} \geq z_{31}+z_{32}+z_{33}+z_{34};$

$y_{14}+y_{24}+y_{34}+y_{44}+y_{54} \geq z_{41}+z_{42}+z_{43}+z_{44};$

$y_{15}+y_{25}+y_{35}+y_{45}+y_{55} \geq z_{51}+z_{52}+z_{53}+z_{54};$

$v_1+v_2+v_3+v_4+v_5 \leq 5;$

$r_1+r_2+r_3+r_4+r_5 \leq 5;$

$s_{11}=5;$

$s_{12}=6;$

$s_{13}=4;$

$s_{14}=7;$

$s_{15}=5;$

$s_{21}=6;$

$s_{22}=5;$

$s_{23}=6;$

$s_{24}=6;$

$s_{25}=8;$

$s_{31}=7;$

$s_{32}=6;$

$s_{33}=3;$

$s_{34}=9;$

$s_{35}=6;$

$t_{11}=0.2254;$

$t_{12}=0.2254;$

$t_{13}=0.2254;$

$t_{14}=0.2254;$

$t_{15}=0.2254;$

$t_{21}=0.1225;$

$t_{22}=0.1225;$

$t_{23}=0.1225;$

$t_{24}=0.1225;$

$t_{25}=0.1225;$

$t_{31}=0.4970;$

$t_{32}=0.4970;$

$t_{33}=0.4970;$

$t_{34}=0.4970;$

$t_{35}=0.4970;$

$t_{41}=0.1130;$

$t_{42}=0.1130;$

$t_{43}=0.1130;$

$t_{44}=0.1130;$

$t_{45}=0.1130;$

$t_{51}=0.0419;$

$t_{52}=0.0419;$

$t_{53}=0.0419;$

$t_{54}=0.0419;$

t55=0.0419;

u11=0.1892;
u12=0.1892;
u13=0.1892;
u14=0.1892;

u21=0.1163;
u22=0.1163;
u23=0.1163;
u24=0.1163;

u31=0.3618;
u32=0.3618;
u33=0.3618;
u34=0.3618;

u41=0.1964;
u42=0.1964;
u43=0.1964;
u44=0.1964;

u51=0.1360;
u52=0.1360;
u53=0.1360;
u54=0.1360;

a1=495;
a2=654;
a3=389;

b1=402;
b2=545;
b3=492;
b4=302;
b5=496;

c1=530;
c2=587;
c3=401;
c4=371;
c5=579;

d1=458;
d2=331;
d3=447;
d4=299;

f1=1800;
f2=900;
f3=2100;
f4=1100;
f5=900;

g1=1000;
g2=900;
g3=1600;
g4=1500;
g5=1400;

x11>=0;

x12>=0;
x13>=0;
x14>=0;
x15>=0;

x21>=0;
x22>=0;
x23>=0;
x24>=0;
x25>=0;

x31>=0;
x32>=0;
x33>=0;
x34>=0;
x35>=0;

y11>=0;
y12>=0;
y13>=0;
y14>=0;
y15>=0;

y21>=0;
y22>=0;
y23>=0;
y24>=0;
y25>=0;

y31>=0;
y32>=0;
y33>=0;
y34>=0;
y35>=0;

y41>=0;
y42>=0;
y43>=0;
y44>=0;
y45>=0;

y51>=0;
y52>=0;
y53>=0;
y54>=0;
y55>=0;

z11>=0;
z12>=0;
z13>=0;
z14>=0;

z21>=0;
z22>=0;
z23>=0;
z24>=0;

z31>=0;
z32>=0;
z33>=0;
z34>=0;

```
z41>=0;  
z42>=0;  
z43>=0;  
z44>=0;
```

```
z51>=0;  
z52>=0;  
z53>=0;  
z54>=0;
```

```
@BIN(w1);  
@BIN(w2);  
@BIN(w3);  
@BIN(w4);  
@BIN(w5);
```

```
@BIN(z1);  
@BIN(z2);  
@BIN(z3);  
@BIN(z4);  
@BIN(z5);
```

EK 2- Fabrika ve Dağıtım Merkezleri etki faktörleri için AHP tabloları

Çizelge Ek 2.1 Fabrikalar etki faktörü 2 açısından fabrika yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF2	FYB1	FYB2	FYB3	FYB4	FYB5	Öncelik Vektörü	
FYB1	1	1,500	0,190	2,610	4,740	0,186	
FYB2	0,670	1	0,320	1,840	3,260	0,148	
FYB3	5,260	3,130	1	5,720	7,480	0,520	
FYB4	0,380	0,540	0,170	1	3,800	0,101	
FYB5	0,210	0,310	0,130	0,260	1	0,044	
					$\lambda_{\max}$	5,226	
					TE	0,051	
					RE	1,110	
					TO	0,051	< 0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.2 Fabrikalar etki faktörü 3 açısından fabrika yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF3	FYB1	FYB2	FYB3	FYB4	FYB5	Öncelik Vektörü	
FYB1	1	0,980	0,190	1,720	3,150	0,143	
FYB2	1,020	1	0,320	1,720	4,430	0,172	
FYB3	5,263	3,125	1	5,720	7,740	0,532	
FYB4	0,581	0,581	0,175	1	3,490	0,108	
FYB5	0,317	0,226	0,129	0,287	1	0,045	
					$\lambda_{\max}$	5,119	
					TE	0,029	
					RE	1,11	
					TO	0,027	< 0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.3 Fabrikalar etki faktörü 4 açısından fabrika yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF4	FYB1	FYB2	FYB3	FYB4	FYB5	Öncelik Vektörü	
FYB1	1	4,070	0,290	1,500	5,250	0,201	
FYB2	0,246	1	0,180	0,200	3,800	0,080	
FYB3	3,449	5,556	1	5,720	8,340	0,514	
FYB4	0,667	5	0,174	1	4,140	0,167	
FYB5	0,190	0,263	0,119	0,242	1	0,038	
					$\lambda_{\max}$	5,442	
					TE	0,111	
					RE	1,110	
					TO	0,1	<=0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.4 Fabrikalar etki faktörü 4 açısından fabrika yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF4	FYB1	FYB2	FYB3	FYB4	FYB5	Öncelik Vektörü	
FYB1	1	4,070	0,290	1,500	5,250	0,201	
FYB2	0,245	1	0,180	0,200	3,800	0,080	
FYB3	3,448	5,556	1	5,720	8,340	0,514	
FYB4	0,666	5	0,174	1	4,140	0,167	
FYB5	0,190	0,263	0,119	0,242	1	0,038	
					$\lambda_{\max}$	5,442	
					TE	0,111	
					RE	1,110	
					TO	0,1	<=0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.5 Fabrikalar etki faktörü 5 açısından fabrika yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF5	FYB1	FYB2	FYB3	FYB4	FYB5	Öncelik Vektörü	
FYB1	1	2,270	0,280	2,230	4,650	0,206	
FYB2	0,441	1	0,160	1,720	2,940	0,119	
FYB3	3,571	6,250	1	5,530	5,910	0,529	
FYB4	0,448	0,581	0,180	1	2,270	0,093	
FYB5	0,215	0,340	0,169	0,441	1	0,053	
					$\lambda_{\max}$	5,168	
					TE	0,042	
					RE	1,110	
					TO	0,0379	<=0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.6 Fabrikalar etki faktörü 6 açısından fabrika yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF6	FYB1	FYB2	FYB3	FYB4	FYB5	Öncelik Vektörü	
FYB1	1	1,500	0,270	1,470	3,240	0,170	
FYB2	0,667	1	0,180	1,720	2,940	0,140	
FYB3	3,704	5,555	1	4,740	5,340	0,523	
FYB4	0,680	0,581	0,211	1	1,970	0,106	
FYB5	0,309	0,340	0,187	0,508	1	0,062	
					$\lambda_{\max}$	5,129	
					TE	0,032	
					RE	1,110	
					TO	0,029	<=0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.7 Dağıtım Merkezi etki faktörleri için özvektör matrisi

	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	Öncelik Vektörü	
EF1	1	1,720	2,690	3,870	4,910	6,820	0,339	
EF2	0,581	1	2,120	4,910	3,680	7,480	0,270	
EF3	0,371	0,472	1	4,280	5,720	6,430	0,209	
EF4	0,258	0,204	0,233	1	2,430	5,000	0,094	
EF5	0,203	0,272	0,174	0,411	1	1,050	0,049	
EF6	0,146	0,134	0,155	0,200	0,952	1	0,036	
						$\lambda_{\max}$	6,4	
						TE	0,08	
						RE	1,25	
						TO	0,06	$\leq 0,1$; Ok

Çizelge Ek 2.8 Dağıtım Merkezleri etki faktörü 1 açısından dağıtım merkezleri yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF1	DMYB1	DMYB2	DMYB3	DMYB4	DMYB5	Öncelik Vektörü	
DMYB1	1	2,740	0,180	0,190	0,340	0,077	
DMYB2	0,365	1	0,140	0,200	0,320	0,046	
DMYB3	5,555	7,142	1	3,870	4,430	0,506	
DMYB4	5,263	5,000	0,258	1	1,630	0,227	
DMYB5	2,941	3,125	0,225	0,613	1	0,144	
					$\lambda_{\max}$	5,278	
					TE	0,069	
					RE	1,25	
					TO	0,056	$\leq 0,1$; Ok

Çizelge Ek 2.9 Dağıtım Merkezleri etki faktörü 2 açısından dağıtım merkezleri yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF2	DMYB1	DMYB2	DMYB3	DMYB4	DMYB5	Öncelik Vektörü	
DMYB1	1	1,840	0,220	0,400	1,130	0,101	
DMYB2	0,543	1	0,145	0,190	0,360	0,052	
DMYB3	4,545	6,896	1	3,260	4,280	0,484	
DMYB4	2,500	5,263	0,306	1	4,280	0,261	
DMYB5	0,885	2,777	0,233	0,233	1	0,102	
					$\lambda_{\max}$	5,169	
					TE	0,042	
					RE	1,250	
					TO	0,034	< =0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.10 Dağıtım Merkezleri etki faktörü 3 açısından dağıtım merkezleri yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF3	DMYB1	DMYB2	DMYB3	DMYB4	DMYB5	Öncelik Vektörü	
DMYB1	1	1,600	5,530	4,430	3,870	0,409	
DMYB2	0,625	1	3,540	4,350	1,600	0,257	
DMYB3	0,181	0,282	1	0,270	0,180	0,051	
DMYB4	0,226	0,229	3,703	1	0,330	0,095	
DMYB5	0,258	0,625	5,555	3,030	1	0,188	
					$\lambda_{\max}$	5,340	
					TE	0,085	
					RE	1,25	
					TO	0,068	< =0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.11 Dağıtım Merkezleri etki faktörü 4 açısından dağıtım merkezleri yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF4	DMYB1	DMYB2	DMYB3	DMYB4	DMYB5	Öncelik Vektörü	
DMYB1	1	1,840	0,260	1,970	2,120	0,217	
DMYB2	0,543	1	0,360	1,130	1,840	0,151	
DMYB3	3,846	2,778	1	1,500	1,210	0,343	
DMYB4	0,507	0,885	0,666	1	1,970	0,165	
DMYB5	0,471	0,543	0,826	0,508	1	0,125	
					$\lambda_{\max}$	5,470	
					TE	0,118	
					RE	1,25	
					TO	0,094	< =0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.12 Dağıtım Merkezleri etki faktörü 5 açısından dağıtım merkezleri yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF5	DMYB1	DMYB2	DMYB3	DMYB4	DMYB5	Öncelik Vektörü	
DMYB1	1	3,870	7,740	4,070	5,250	0,516	
DMYB2	0,258	1	4,660	2,650	3,260	0,233	
DMYB3	0,129	0,215	1	0,800	0,410	0,058	
DMYB4	0,246	0,377	1,250	1	0,980	0,094	
DMYB5	0,190	0,307	2,439	1,020	1	0,100	
					$\lambda_{\max}$	5,152	
					TE	0,038	
					RE	1,25	
					TO	0,030	< =0,1 ; Ok

Çizelge Ek 2.13 Dağıtım Merkezleri etki faktörü 6 açısından dağıtım merkezleri yerleşim bölgeleri matrisinin özvektörü

EF6	DMYB1	DMYB2	DMYB3	DMYB4	DMYB5	Öncelik Vektörü	
DMYB1	1	0,860	0,290	0,270	1,060	0,109	
DMYB2	1,163	1	0,690	0,920	1,970	0,193	
DMYB3	3,448	1,449	1	1,970	3,870	0,362	
DMYB4	3,704	1,087	0,508	1	1,970	0,236	
DMYB5	0,943	0,507	0,258	0,508	1	0,100	
					$\lambda_{\max}$	5,131	
					TE	0,033	
					RE	1,25	
					TO	0,026	$\leq 0,1$; Ok

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 24.03.1976

Doğum yeri İstanbul

Lise 1987–1994 Saint Michel Fransız Lisesi

Lisans 1994–1998 Yıldız Üniversitesi
Makine Mühendisliği Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1998–2001 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora 2001–2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

1998-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Öğrenci Asistan

1999-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Mühendisliği Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi