

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK AŞAMALI ÇOK AMAÇLI TEDARİK ZİNCİRİ SİSTEMİNE
BULANIK BİR YAKLAŞIM**

SİNAN ERCAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MATEMATİK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. BEYZA AHLATCIOĞLU ÖZKÖK**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK AŞAMALI ÇOK AMAÇLI TEDARİK ZİNCİRİ SİSTEMİNE
BULANIK BİR YAKLAŞIM

Sinan ERCAN tarafından hazırlanan tez çalışması 09/08/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Erhan ÖZDEMİR
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübesi ile beni yönlendiren değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yardım ve katkılarıyla programlama konusunda bilgisinden istifade ettiğim Yrd. Doç. Dr. Hale GONCE KÖKÇEN'e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Birlikte yaptığımız çalışmalarda bana destek olan ve yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım Arş. Gör. Elif BUDAK'a teşekkür ederim.

Son olarakta her zaman maddi ve manevi destekleri ile yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2012

Sinan ERCAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	5
1.3 Hipotez.....	5
BÖLÜM 2	6
TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ	6
2.1 Tedarik Zinciri Kavramı	6
2.2 Tedarik Zincirinin Yapısı.....	8
2.3 Tedarik Zinciri Yönetimi	9
2.4 Tedarik Zincirinin Karar Problemleri	11
2.4.1 Yer Seçimi Karar Problemi	11
2.4.2 Üretim Karar Problemi	12
2.4.3 Stok Karar Problemi	12
2.4.4 Taşıma Karar Problemi.....	12
BÖLÜM 3	13
BULANIK MATEMATİK	13

3.1	Bulanık Mantık	13
3.2	Bulanık Kümeler	14
3.2.1	Bulanık Kümelerde Temel Tanımlar	14
3.2.2	Bulanık Kümelerde Temel İşlemler	16
3.3	Bulanık Sayılar	18
3.3.1	Üçgensel Bulanık Sayı	18
3.3.2	Yamuksal Bulanık Sayı	19
3.4	Bulanık Sayılarda Yaklaşık İşlemler	20
3.4.1	Üçgensel Bulanık Sayılarda Yaklaşık Aritmetik İşlemler.....	20
3.4.2	Üçgensel Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemlerin Özellikleri.....	21
3.4.3	Yamuksal Bulanık Sayılarda Yaklaşık Aritmetik İşlemler	21
3.4.4	Yamuksal Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemlerin Özellikleri	22
3.5	Bulanık Karar Verme	22
3.6	Bulanık Lineer Programlama.....	24
3.7	Bulanık Çok Kriterli Karar Verme	29
3.7.1	Çok Nitelikli Karar Verme	30
3.7.2	Çok Amaçlı Karar Verme.....	30
3.8	Çok Amaçlı Lineer Modele Bulanık Yaklaşım	31
BÖLÜM 4.....		37
ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ		37
4.1	Analitik Hiyerarşi Prosesi'ne Genel Bir Bakış	37
4.2	AHP Çözüm Aşamaları	37
4.3	AHP ile Örnek Bir Uygulama.....	41
4.4	AHP'nin Uygulama Alanları	45
BÖLÜM 5.....		46
ÇOK AŞAMALI ÇOK AMAÇLI TEDARİK ZİNCİRİNE BULANIK BİR YAKLAŞIM		46
5.1	Kabuller	47
5.2	Modelin Matematiksel Yapısı.....	47
5.3	Uygulama.....	52
BÖLÜM 6.....		65
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		65
KAYNAKLAR		66
EK-A.....		69
EK-B.....		70
EK-C.....		71
ÖZGEÇMİŞ.....		72

SİMGE LİSTESİ

$\tilde{A}$	Bulanık bir küme
A_i	Mümkün karar alternatifleri
A^α	$\tilde{A}$ kümesinin kuvvetli α -kesen kümesi
C_j	Karar kriteri
q_i	Amaç fonksiyonu ve kısıtların sapma miktarları
q	Hedeften pozitif yönde sapma
p	Hedeften negatif yönde sapma
p_i	Amaç fonksiyonu ve kısıtların sapma miktarları
U_i	A_i alternatifinin faydası
w_j	C_j kriterinin görelî ağırlığı
x_{ij}	Bir karar matrisinde A_i alternatifinin C_j kriterine göre performans puanı
X_d	Uygun çözümler bölgesi, karar uzayı, alternatifler uzayı
z	Amaç fonksiyonu
μ	Üyelik fonksiyonu

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BÇAKV	Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme
BÇNKV	Bulanık Çok Nitelikli Karar Verme
BÇKKV	Bulanık Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV	Çok Nitelikli Karar Verme
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇALP	Çok Amaçlı Lineer Programlama
ÇAÇATZ	Çok Amaçlı Çok Aşamalı Tedarik Zinciri
TZ	Tedarik Zinciri
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Deterjan Satılan Mağazanın Tedarik Zinciri Ağı	7
Şekil 2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi Genel Aşamaları	8
Şekil 2.3 Dell Firmasının Tedarik Zinciri Aşamaları	9
Şekil 2.4 Tedarik Zinciri Yönetimi Genel Akış Şeması	10
Şekil 3.1 Konveks Küme ve Konveks Olmayan Küme	15
Şekil 3.2 İki Bulanık Kümenin Kesişimi	16
Şekil 3.3 İki Bulanık Kümenin Birleşimi	17
Şekil 3.4 Bulanık Karar	18
Şekil 3.5 Üçgensel Bulanık Sayı	19
Şekil 3.6 Yamuksal Bulanık Sayı	20
Şekil 3.7 Tam Çözüm Uzayı	34
Şekil 4.1 AHP Genel Hiyerarşik Yapısı	38
Şekil 5.1 Gökkuşáğı Firmasının Tedarik Zinciri Ağı	52
Şekil 5.2 Firmanın Genel Tedarik Zinciri Ağı	53
Şekil 5.3 Toplam Maliyet Minimizasyonu Durumunda Elde Edilen ÇAÇATZ Ağı ...	62
Şekil 5.4 Reyting Maksimizasyonu Durumunda Elde Edilen ÇAÇATZ Ağı	63
Şekil 5.5 İki Amacın Minimum Ortak Tatmininin Maksimum Yapıldığı ÇAÇATZ Ağı	64

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Tedarik Zincirinde İstenen Amaçlar	10
Çizelge 4.1 AHP’de kullanılan temel ölçek ve tanımları[1-9 Skalası].....	39
Çizelge 4.2 Rassal İndeks	40
Çizelge 5.1 Depoların Reyting Değerleri	56
Çizelge 5.2 Dağıtım Merkezlerinin Reyting Değerleri.....	57
Çizelge 5.3 Fabrikaların Üretim Kapasitesi.....	57
Çizelge 5.4 Depoların Kurulum Maliyetleri	58
Çizelge 5.5 Dağıtım Merkezleri Kurulum Maliyetleri	58
Çizelge 5.6 Depoların[D] Birim Ürün Elleçleme Maliyetleri	58
Çizelge 5.7 Dağıtım Merkezleri[DM] Birim Ürün Elleçleme Maliyetleri	58
Çizelge 5.8 Talep Miktarları	59
Çizelge 5.9 Birim Ürün Üretim Maliyeti	59
Çizelge 5.10 Amaçların Maksimum ve Minimum Değerleri	60
Çizelge 5.11 Sayısal Örneğe Ait Dengeleyici Modelin Sonuçları.....	60

ÇOK AŞAMALI ÇOK AMAÇLI TEDARİK ZİNCİRİ SİSTEMİNE BULANIK BİR YAKLAŞIM

Sinan ERCAN

Matematik Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK

Tedarik zinciri yönetimi (TZY), günümüz pazar koşullarında firmalar için önemi gün geçtikçe artan konulardan birisidir. Etkin bir TZY ile firmalar rekabet üstünlüğü kazanmakta ve değişken pazar koşullarına hızlı bir şekilde uyum sağlamaktadırlar.

Tedarik Zinciri (TZ) ağının farklı alanlarında çeşitli karar verme problemleri ile karşılaşmakta ve bu problemlere yönelik çözümleri içeren çalışmalar literatürde giderek artmaktadır. Karar verme problemleri yapısı gereği birçok belirsizlik barındırmakta ve bu belirsizliklere matematiksel çözümler üretmenin zorluğu bilinmektedir. Bulanık küme teorisi bu belirsizliklerin üstesinden gelmek için son yıllarda araştırmacılar tarafından çok sık başvurulan bir araçtır.

TZ ağında hammadde temininden, ürünün tesislerde üretilip uygun araçlar vasıtası ile müşteriye teslimine kadar geçen sürecin optimize edilmesi önemli bir problem olarak

ele alınmaktadır. Maliyetlerin optimum tutulması, doğru yatırım kararlarının verilmesi, müşteri taleplerinin eksiksiz karşılanması gibi problemler TZ ağında en sık karşılaşılan problemlerdir.

Bu çalışmada çok amaçlı karma tam sayılı lineer bir model sunulmuş ve bu model yardımıyla çok aşamalı tedarik zinciri ağında depo ve dağıtım merkezlerinin konumlarının kararları ve müşteri merkezlerinin taleplerini karşılayacak şekilde ürün dağıtım miktarlarının kararları verilmiştir.

Çok amaçlı lineer matematiksel modelimizin çözümü Zimmerman'ın min operatörü yaklaşımı ile amaçların ortak tatminini maksimum yapacak şekilde, bulanık bir yaklaşım ile elde edilmiştir. Model aday konumlar arasından tesisler için kurulum yerlerini ve ağ üzerindeki dağıtım miktarlarını belirlemektedir. Uygulama bölümünde, modelimizin işlerliğini göstermek amacıyla temizlik malzemesi üreten bir firmanın tedarik zinciri ağına ilişkin verileri kullanılarak çok amaçlı lineer programlama (ÇALP) modeli geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tedarik Zinciri Yönetimi, Çok Amaçlı Lineer Programlama, Bulanık Karar Verme

**A FUZZY APPROACH TO MULTI ECHELON MULTI OBJECTIVE SUPPLY
CHAIN SYSTEM**

Sinan ERCAN

Department of Mathematic

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Yrd. Doç. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK

In today's marketing conditions, the importance of supply chain management has been improving gradually. An effective supply chain management provides to companies competitive superiority and adaptation capability against unstable marketing conditions.

In literature, the decision making problems which are dealing with the various areas of supply chain are encountered and solution methodologies of these problems are increasing gradually.

The nature of decision making problems includes uncertainty and the difficulties of finding solution for decision making problems are known. Fuzzy set theory which is heavily used by researchers, a very effective tool to overcome these uncertainties.

In supply chain (SC) network, optimizing the process which starts with the supply of raw materials, production in facilities and delivering to the customers by appropriate delivery agents is a very important problem. The problems such as optimizing the costs, taking the right investment decisions, meeting customer demands etc. are the most common problems in supply chain networks.

In this study we proposed a mixed integer linear programming (MILP) model, took decisions for warehouse and distribution centers' locations and the distribution of product quantities in a multi echelon supply chain network.

The solution for multi-objective linear modelling is obtained by utilizing Zimmerman's min operator with a fuzzy approach in which the minimum satisfactions of objectives are maximized. The model is to determine the locations of warehouses, distribution centers and distribution quantity on the network. In implementation section, in order to demonstrate applicability of our proposed multi-objective linear model, we used supply chain network data of a company which produces cleaning materials.

Key words: Supply chain management, Multi-objective linear programming, Fuzzy decision making.

1.1 Literatür Özeti

Tedarik zinciri (TZ), müşteri ihtiyaçlarının doğru zamanda, doğru yerde tespit edilmesi, ürünün en uygun fiyatla müşteriye sunulması, hammadde satın alma, ürün satma, müşteri eğilimlerini belirleme, ürünün üretimi ve ürünün teslimi gibi tüm işlemleri içeren ağa verilen addır. Günlük hayatımızın her aşamasında karşımıza çıkan karar verme problemi, tedarik zincirinde de yerleşim, üretim, dağıtım vs. gibi kararlarda karşımıza çıkmaktadır.

1960’larda ortaya çıkan tedarik zinciri kavramı, 1980’lerden itibaren gerek akademisyenler ve gerekse uygulamacılar tarafından araştırma alanı olarak ilgi görmeye başlamıştır. Literatürde tedarik zinciri sürecinin içerdiği karar verme problemleri üzerine çok sayıda çalışma vardır.

Tedarik zinciri yapısının çok farklı nitelikleri bir arada barındırmasından dolayı tedarik zinciri problemlerini ve modellerini belirli kriterlere göre sınıflandırmak oldukça zordur. Buna rağmen araştırmacılar tedarik zinciri problemlerini uygulama alanlarına ve modellerinin türüne göre kategorilere ve alt kategorilere ayıran çeşitli literatür araştırmaları yapmışlardır.

Beamon [1]’de, çok seviyeli (Multi-stage) tedarik zinciri modellerinin literatür taraması üzerine odaklanmış ve bu modelleri (1) *deterministik analitik modeller*, (2) *stokastik analitik modeller*, (3) *ekonomik modeller* ve (4) *simülasyon modelleri* olmak üzere dört başlık altında sınıflandırmıştır.

Min ve Zhou [2]’de tedarik zinciri problemlerini (1) entegre problem yapılarına, (2) model yapılarına göre olmak üzere iki ayrı sınıfa ayırmaktadırlar. *Entegre problem yapılarına* göre yapılan sınıflandırmada; literatür, tedarikçi seçimi-stok kontrolü, üretim-dağıtım, yer seçimi-stok kontrol, stok kontrol-taşıma ve yer seçimi-rotalama problemleri başlıkları altında incelenmiştir. *Model yapılarına* göre ise deterministik, stokastik, hibrit ve bilgi teknolojisi

süreci başlıkları altında incelenmiştir. Min ve Zhou [2]'de *Deterministik modelleri*; tek amaçlı ve çok amaçlı modeller, *Stokastik modelleri*; optimal kontrol teori ve dinamik programlama, *Melez modelleri*; stok tabanlı ve simülasyon, *Bilgi teknolojisi süreçli modelleri* ise depo yönetim sistemi, kurumsal kaynak planlanması ve coğrafi bilgi sistemleri alt başlıkları ile sınıflandırmaktadırlar.

Çapar vd. [3]'te tedarik zinciri yönetimi alanında yapılan çalışmaları; (1) *çalışmanın türü*; teorik, teorinin uygulanması, örnek uygulama, gerçek hayat uygulaması ve literatür taraması, (2) *tedarik zincirinin çevresi*, (3) *tedarik zincirinin faaliyetleri*; üretim, taşıma, fiyatlama vb. (4) *karar verme ve bilgi paylaşımının derecesi*; karar verme süreçleri, bilgi paylaşımı ve son olarak (5) *ürün özellikleri*; ürün sınıflandırması, talep yapısı, ürün sayısı, ürün ömrü, üretim stratejisi, ürün durumu, ulaşım önceliği ve paketleme-elleçleme, başlıkları ile beş ana sınıfa ayırmakta ve bu beş ana sınıfı detaylı olarak alt kategorilere ayırmaktadırlar.

Mula vd. [4]'te tedarik zinciri üretim ve taşıma planlamasını ele alan matematiksel programlama modelleri üzerine bir literatür araştırması sunmaktadırlar. Bu çalışmada Mula vd. tedarik zincirinin matematiksel modelleri için (1) *tedarik zincirinin yapısı*, (2) *karar seviyesi*, (3) *modelleme yaklaşımı*, (4) *amaç*, (5) *bilgi paylaşımı*, (6) *kısıtlamalar*, (7) *yenilik*, (8) *pratik uygulamalar* olmak üzere sekiz ana sınıf içeren bir taksonomi sunmuşlardır. Bu sınıfları kendi içerisinde detaylı olarak alt kategorilere ayırmaktadırlar.

Literatürde tedarik zinciri ağının optimizasyonu için önerilmiş, depo ve dağıtım merkezleri kurulum, üretim ve dağıtım, tedarikçi seçimi vb. karar problemlerini içeren çok sayıda çalışma mevcuttur. Biz burada çalışmamızın kapsamı nedeniyle literatür özetimizi tedarik zinciri ağının planlanması için önerilmiş çok amaçlı matematiksel programlama ve bulanık matematiksel programlama modelleri ile sınırlandırdık.

Ghodsypour ve O'Brien [5]'te tedarikçi seçimi problemini ele almışlar ve iki temel soruya - (1) *hangi tedarikçiyi seçmeliyim?*, (2) *hangi tedarikçiden ne kadar ürün siparişi vermeliyim?* - yanıt aramışlardır. Somut ve soyut faktörlerin rol oynadığı tedarikçi seçimi ve tedarikçilerden sipariş edilecek optimum ürün miktarını belirleme problemleri için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve lineer programlamanın (LP) entegre edildiği matematiksel bir model sunmuşlar ve sayısal bir örnek ile modelin işlerliğini göstermişlerdir.

Tsiakis vd. [6]'da yerleri sabit fabrikaların, yerleri ve sayıları müşteri talepleri doğrultusunda belirlenen depoların ve dağıtım merkezlerinin bulunduğu çok ürünlü çok aşamalı tedarik

zinciri için lineer karma tamsayılı bir model vermişlerdir. Modelin amacı depoların ve dağıtım merkezlerinin kurulum, üretim ve taşıma maliyetlerinin minimize edilmesidir.

Chen ve Lee [7]'de çok aşamalı bir tedarik zinciri için kurulan modelde bilinmeyen pazar taleplerini bilinen olasılıklar ile ayrık senaryolar kurarak değerlendirmeye almışlardır. Katılımcılar arasındaki adil kar dağılımı, güvenilir stok seviyeleri, maksimum müşteri hizmeti vs. gibi birbiri ile çelişen amaçlar içeren lineer olmayan karma tamsayılı bir model sunmuşlardır. Chen ve Lee modelin çözümü için iki fazlı bulanık karar verme metodu önermişler ve sayısal bir örnek ile çözüm yöntemini açıklamışlardır.

Şenyiğit [8]'de aşamalar arasında fire bulunan çok aşamalı tedarik zincirinde dağıtım ağlarının optimizasyonunu ele almıştır. Malzeme kısıtı altında çok aşamalı lineer karma tamsayılı matematiksel bir model sunmuştur. Farklı müşteri talepleri doğrultusunda gerçekleşen maliyetler ve dağıtım merkezlerinin yerleri ve sayılarını analiz etmiştir. Kayseri'de faaliyet gösteren bir mobilya firmasının ürettiği ürünün hammaddesinin alınmasından, bitmiş ürünün dağıtımına kadar tedarik zinciri ağı optimize edilmiştir.

Kokangül ve Susuz [9]'da miktar indirimi, kapasite ve bütçe kısıtları altında en iyi tedarikçiyi ve optimal sipariş miktarını belirleyen çok amaçlı lineer olmayan ve AHP ile entegre edilmiş bir model geliştirmişlerdir. Nicel ve nitel faktörler bir arada değerlendirilmiş, amaç fonksiyonları toplam satışı maksimize etmek ve aynı anda toplam maliyeti minimize etmek şeklinde kurulmuştur.

Paksoy [10]'da tedarik zinciri yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu problemini ele almıştır. Malzeme ihtiyaç kısıtı altında stratejik üretim-dağıtım problemi için çok aşamalı karma tamsayılı bir model önermiştir.

Paksoy vd. [11]'de çok aşamalı tedarik zinciri için çok amaçlı karma tamsayılı lineer bir model önermişlerdir. Modelin amaçları sırasıyla, tedarikçiler, depolar ve dağıtım merkezleri arasındaki taşıma maliyetlerinin minimizasyonu, elleçleme ve sipariş maliyetlerinin minimizasyonu ve son olarak gereksiz kullanılan kapasitelerin minimizasyonudur.

Kumar vd. [12]'de toplam maliyetin minimizasyonu, ürün kalitesinin ve ürünün müşteriye zamanında teslim seviyesinin maksimizasyonu amaçları altında, müşteri talepleri, tedarikçi kapasitesi, tedarikçi esnekliği gibi kısıtları bulunan bulanık çok amaçlı tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Modelde çeşitli parametrelerdeki belirsizlik bulanık küme teorisi yaklaşımı ile ele alınmıştır.

Wang ve Shu [13]'te geliştirdikleri modelde kullanılacak verilerdeki belirsizliklerin üstesinden gelmek ve stok stratejileri belirlemek için bulanık küme teorisinden yararlanmışlardır.

Amid vd. [14]'te tedarik zincirinde doğru tedarikçi seçiminin hayati öneme sahip olduğunu belirterek hedefler, kısıtlar ve parametrelerdeki belirsizliklerin karar verme problemini güçleştirdiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmada çok amaçlı lineer bir model verilmiş ve modelin çözümü için asimetrik bulanık karar verme tekniğı kullanılmıştır.

Chen vd. [15]'te konumları belirli ve sayıları sabit fabrikalar ve müşteri merkezleri ile konumları belirli olmayan dağıtım merkezleri ve depolardan oluşan çok ürünlü, çok periyotlu ve çok aşamalı bir tedarik zinciri için karma tamsayılı lineer bir model önermişlerdir. Bilinmeyen talepler, olasılıkları bilinen ayrık senaryolar ile değerlendirilmiştir. Modelin amaçları; toplam maliyetin minimizasyonu, ürün teslim süresinin minimizasyonu ve karar vericinin kararlarının farklı senaryolar için tutarlılığının maksimizasyonu olarak belirlenmiştir. Dengeli bir çözüm üretmek üzere iki aşamalı bir bulanık karar verme metodu önerilmiş ve metod sayısal bir örnek ile açıklanmıştır.

Wang ve Yang [16]'da miktar indirimi durumlarında kriterler ile birlikte tedarikçi seçimi probleminin daha karmaşık bir hal aldığını belirtip, AHP ve uzlaşık bulanık programlama yaklaşımı vermişler ve sayısal bir örnekle modeli açıklamışlardır.

Amid vd. [17]'de tedarikçi seçimi problemi için ağırlıklı toplamsal bulanık çok amaçlı bir model önermişlerdir. Modelin amaçları; net maliyetin minimizasyonu, red edilen ürün miktarının minimizasyonu ve geç teslim süresinin minimizasyonudur. Her bir amacın önem ağırlıkları farklı olmasından dolayı model amaçların ağırlıklandırılmış üyelik fonksiyonlarını birleştirip ilgili karar fonksiyonlarını oluşturmaktadır.

Amid vd. [18]'de tedarikçi seçimi problemlerinde birçok parametrenin belirsiz olduğunu vurgulayarak bulanık küme teorisinin bu bilgi belirsizliğini ve tutarsızlığını ortadan kaldırmak için faydalı olduğunu belirtmişler, bilgi ve kriter ağırlıklarının belirsizliğini ele almak için ağırlıklandırılmış bulanık maks-min modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada AHP ile kriter ağırlıkları belirlenmiş ve önerilen model yardımıyla karar vericilere tedarikçilerin bir tercih sırası sunulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

“Çok Aşamalı Çok Amaçlı Tedarik Zinciri Sistemine Bulanık Bir Yaklaşım” isimli tezimizde tedarik zinciri ağında tesis kurulum kararları veren ve optimum miktarda ürün dağıtımını belirleyen bir model sunulmuştur. Modelin çözümü için bulanık bir yaklaşım önerilmiş ve hedeflerin ortak tatminini maksimum yapan bir çözüm elde edilmiştir.

Çalışmamızın ikinci bölümünde genel olarak; tedarik zinciri kavramı, tedarik zinciri karar alanları, tedarik zincirinin yapısı ve etkinliği konuları açıklanmıştır. Üçüncü bölümünde bulanık küme teorisi ve bulanık lineer programlama (BLP) incelenmiştir. Dördüncü bölümde modelimizde faydalandığımız AHP yönteminin temel adımları anlatılmış, uygulama alanlarına değinilmiş ve AHP’ye sayısal bir örnek verilmiştir. Son bölümde, sunduğumuz modele sayısal bir örnek verilip sonuçları değerlendirilmiştir.

1.3 Hipotez

Çalışmamızda çok amaçlı karma tam sayılı lineer bir model sunulmuş ve bu model yardımıyla çok aşamalı tedarik zinciri ağımızda depo ve dağıtım merkezlerinin konumlarının kararlarını ve müşteri merkezlerinin taleplerini karşılayacak şekilde ürün dağıtım miktarlarının kararları verilmiştir.

Çok amaçlı lineer matematiksel modelimizin çözümü Zimmermanın minimum operatörü yaklaşımı ile amaçların ortak tatminini maksimum yapacak şekilde, bulanık bir yaklaşım ile elde edilmiştir. Model aday konumlar arasından tesisler için kurulum yerlerini ve ağ üzerindeki dağıtım miktarlarını belirlemektedir.

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

2.1 Tedarik Zinciri Kavramı

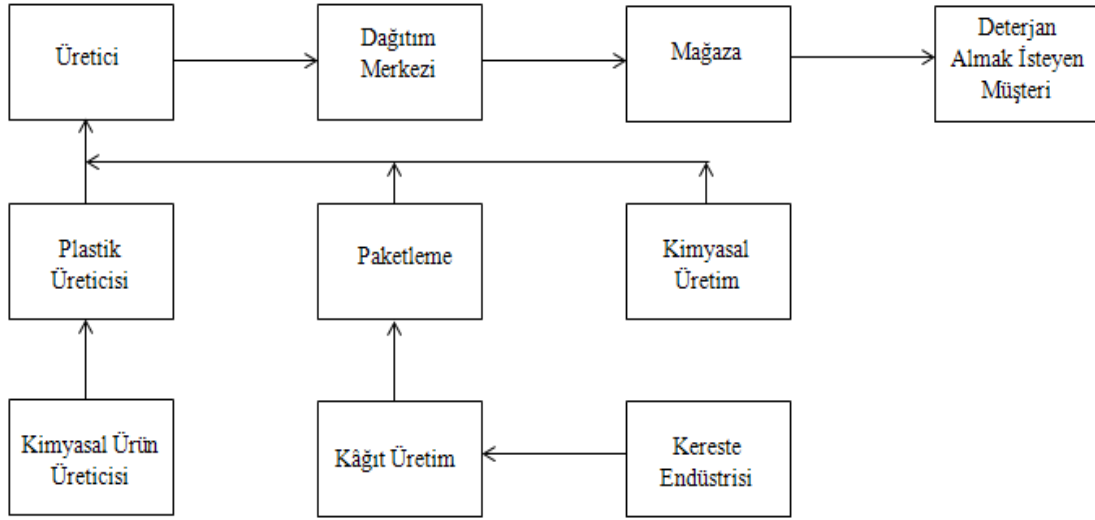
Tedarik Zinciri hammadde tedarikçilerinden başlayarak, hammaddenin son ürün oluncaya kadar üreticiler, dağıtıcılar, perakendeciler gibi aşamaları geçerek müşterilere ulaşmasına kadar geçen sürecin bütünü olarak tanımlanabilir. TZ, işletmelerin verimliliğinin, karının artmasına, faaliyetlerini sistematik ve güvenli bir şekilde sürdürmesine katkıda bulunur. Üretim, depolama, dağıtım gibi temel işletme faaliyetlerini bünyesinde barındıran bir firma için bu birimler hem kendi içlerinde hem de bütünün birer parçası olarak işlevlerini yerine getirmektedirler. Bu bütünün ahenkli bir şekilde işleyebilmesi bu birimler arasındaki ilişkilerin iyi bir şekilde belirlenmesi ve analiz edilmesi ile mümkündür. Gelişen ve zorlaşan piyasa koşulları da dikkate alındığında firmaların faaliyetlerini hammadde aşamasından başlayarak son ürün aşamasına kadar iyi bir tedarik zinciri ile planlaması kritik önem taşımaktadır.

Literatürde TZ için yapılmış çok sayıda tanım mevcuttur. TZ, malzemelerin ve tamamlanmış malların, satıcıdan müşteriye kadar olan akışının potansiyel ara duraklar olarak üretim vasıtaları ve depolar kullanılarak etkili yönetimidir [10].

Direkt ya da dolaylı olarak müşteri tatmininin sağlanması için gerekli tüm aşamaları içeren TZ, sadece tedarikçilerden ve üreticilerden oluşmaz, taşıyıcılar, depolar, perakendeciler, dağıtım merkezleri ve müşteriler de bu ağa dâhildirler [19].

TZ'ne bir örnek olarak büyük bir süpermarket ve buraya deterjan almak için gelen bir müşteriyi düşünelim. Burada TZ, müşterinin deterjan ihtiyacı ile başlar. Bundan sonraki aşama müşterinin markete deterjan almak için gelmesidir. Marketin raflarında bulunan

tüketime hazır deterjanların tedarik edildiği birim süpermarketin deposu ya da dağıtım merkezidir. Ürünlerin bu depoya taşıyıcılar ile taşındığı birim ise üretim merkezleridir. Üretim merkezi, ürünü üretmek için hammaddeleri çeşitli kaynaklardan tedarik etmektedir. Ürünün paketlenmesi için gerekli materyal ise paketlenme firmasından sağlanmaktadır. Paketleme firması da paketlenmede kullandığı ürün için başka tedarikçiler ile çalışmaktadır. Bu örneğin TZ ağı Şekil 2.1’de gösterilmiştir [19].



Şekil 2.1 Deterjan Satılan Mağazanın Tedarik Zinciri Ağı [19]

Kârını artırmak isteyen işletmeler, müşterilerinin istek ve ihtiyaçlarını karşılayacak ürünleri daha iyi kalitede üretmek, zamanında teslim etmek için etkin bir TZ uygulaması içerisinde olmaları gerekliliğini keşfetmişlerdir [20]. Gelişen teknoloji ve beraberinde gelen küreselleşme, rekabet koşullarını daha da güçleştirmektedir [8]. Firmaların başarılarının TZ'nin performansı ile doğrudan ilgili olduğu düşünüldüğünde, etkin bir TZ'nin firmalara rekabet açısından birçok getirisi olacaktır. Zincirdeki tüm halkaları etkin ve verimli yönetmek, düşen maliyetler, artan verimlilik, açığa çıkan insan gücü ve finans kaynakları ile kendini gösterecektir. Bunun yanında zamanında gerçekleşen üretim, uygun miktarda depolama ve nakliye sayesinde firmaların rekabet gücü artacaktır.

TZ'nin etkin yönetimi işletmeye genel olarak şu faydaları sağlar [21].

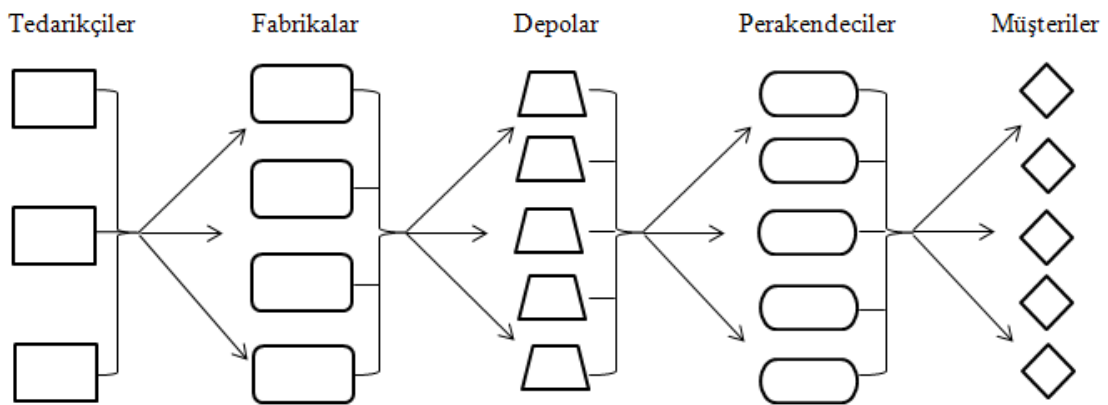
- Girdilerin teminini garantileyerek, üretimin devamlılığını sağlar.
- Tedarik süresini azaltarak, parçadaki değişikliklere kısa sürede yanıt vermesini sağlar.
- Tüketici taleplerini en iyi şekilde karşılayarak kaliteyi artırır.
- Teknolojiyi kullanarak, yeniliği teşvik eder.
- Toplam maliyetleri azaltır.
- İşletmenin tüm bilgi, malzeme ve para akışının yönetilebilir duruma gelmesini sağlar.

TZ kendi içerisinde koordinasyonunu ve entegrasyonunu etkin ve verimli sağlayan şirketler, pazardan da pay olarak karşılıklarını almaktadırlar.

2.2 Tedarik Zincirinin Yapısı

Her firmanın TZ yapısı çeşitlilik gösterebileceği gibi tipik bir TZ Şekil 2.2 'de görüleceği gibi aşağıdaki bileşenleri içerir:

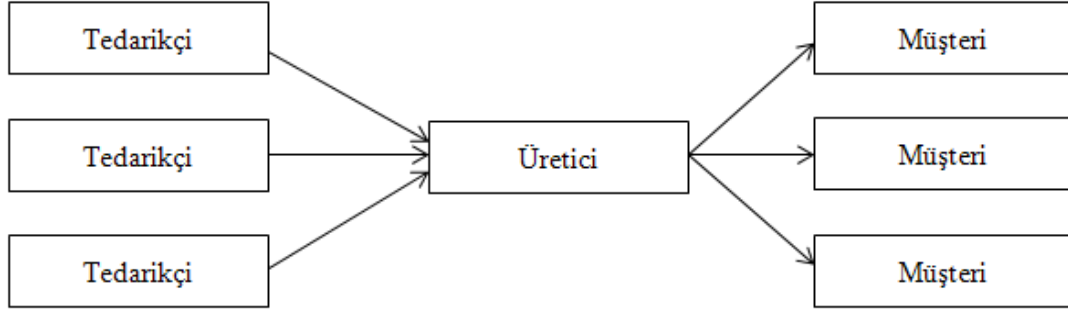
- Tedarikçiler
- Üreticiler/Fabrikalar
- Depolar
- Dağıtım Merkezleri/Perakendeciler
- Müşteriler



Şekil 2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi Genel Aşamaları

Daha öncede belirtildiği gibi firmaların TZ'leri farklılıklar göstermektedir. TZ'nin yapısı müşterinin ihtiyaçları ve aşamaların rollerine bağlıdır. Örneğin; Dell firması müşteri

taleplerine aracısız cevap veren bir firmadır. Müşterilerin talepleri doğrudan toplanır ve üretim gerçekleştirilip aracısız müşterilere ulaştırılır. Dolayısıyla Dell firmasının tedarik zincirinin yapısında dağıtım merkezleri ve perakendeciler bulunmaz [19]. Şekil 2.3’de Dell firmasının TZ aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Dell Firmasının Tedarik Zinciri Aşamaları [19]

TZ’nin yapısında bulunan birimlerin her biri, diğerleri ile bilgi paylaşmak ve uyumlu çalışmak durumundadır. Günümüzde firmaların başarılarında tedarik zincirlerinin performansının da büyük rol oynadığı göz önünde bulundurulursa, bu uyumun önemi de belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

TZ’nin yapısı, zincirde bulunan işletmelerin tek bir işletme gibi davranarak kaynaklarının ortak kullanımı sayesinde, mal ve hizmetlerin kalitesinin istenen düzeyde olmasını, maliyetlerin düşürülmesini, ürünün müşteriye beklenen zaman içerisinde ulaştırılmasını ve müşteri memnuniyetinin artmasını sağlayacak şekilde olmalıdır.

2.3 Tedarik Zinciri Yönetimi

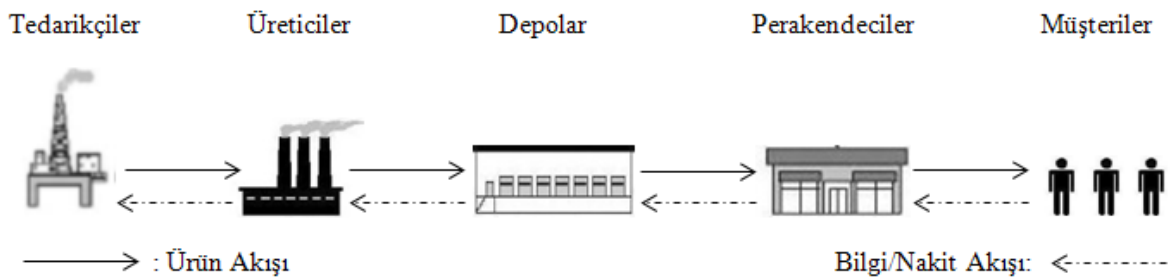
TZY, tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar, müşteriler vb. birimlerden oluşan ağda ürün, hizmet, para ve bilgi akışının yönetimidir. TZY’nin amacı, tedarikçiler-üreticiler-müşteriler arasında malzeme, ürün, bilgi ve parasal akışın etkin bir şekilde kontrol edilmesi olarak özetlenebilir. Bu amaç doğrultusunda, TZY; firmanın üretim kapasitesinin artırılması, değişen piyasa koşullarına rahat ayak uydurabilmesi, müşterileri ve tedarikçileri arasındaki iletişimin iyileştirilmesi, rekabetçi bir yapının geliştirilmesi, müşterilerinin beklentilerine uygun kalitede ürünün sunulması ve zamanında ürün teslimi gibi hedeflere odaklanır.

TZY’de tüm bunlar hedeflenirken bu hedeflere bağlı olarak maliyet artmaktadır. Etkin bir TZY tüm bu amaçlar gerçekleştirilirken bunlardan kaynaklanan maliyeti azaltmayı hedefler.

Genel olarak tedarik zinciri yönetimi dört aşamadan oluşmaktadır [19].

- Hammadde temini
- Ürün Üretimi
- Ürün Dağıtımı
- Ürünlerin müşteriye teslimi

Şekil 2.4’de tedarik zinciri yönetiminin genel ürün/bilgi akış şeması görülmektedir.



Şekil 2.4 Tedarik Zinciri Yönetimi Genel Akış Şeması[19]

Çizelge 2.1 Tedarik Zincirinde İstenen Amaçlar [10]

Fonksiyonel Amaçlar	Amaçların Üzerindeki Etkisi		
	Stok	Müşteri Talepleri	Toplam Maliyet
Yüksek Müşteri Hizmeti	↑	↑	↑
Düşük Ulaştırma Maliyeti	↑	↓	↓
Düşük Depolama Maliyeti	↓	↓	↓
Stokların Azaltılması	↓	↓	↓
Yüksek Dağıtım Hızı	↑	↑	↑
Düşük İş Gücü Maliyeti	↑	↓	↓
İstenen Sonuçlar	↓	↑	↓

Çizelge 2.1’de fonksiyonel amaçlar ve bunların stok, müşteri hizmetleri ve toplam maliyet olmak üzere üç farklı tedarik zinciri parametresi üzerinde yarattıkları etkiler gösterilmiştir.

Koyu renkli oklar fonksiyonel amaçların istenen sonuçlarla örtüştüğünü göstermektedir. Tedarik zinciri parametreleri için istenen sonuçlar tablonun altında gösterildiği üzere; stok seviyeleri için düşüş (aşağı yönlü ok) müşteri hizmetleri için artış (yukarı yönlü ok) toplam maliyet için ise düşüş (aşağı yönlü ok) şeklindedir.

Tedarik zincirinde yüksek müşteri hizmetleri hedeflendiğinde stok seviyeleri, müşteri hizmetleri ve toplam maliyet artmaktadır. Müşteri hizmetlerinde istenen sonuç artış olduğu için yukarı yönlü koyu bir okla gösterilmiştir. Ancak stok ve toplam maliyet üzerinde bu amacın etkisi istenen sonuçlar doğrultusunda gerçekleşmemektedir. Bu nedenle açık renkli oklarla gösterilmiştir.

Benzer şekilde düşük ulaştırma maliyeti hedefi, toplam maliyet ile; düşük depolama maliyeti hedefi, stok ve toplam maliyet ile; stokların azaltılması hedefi, stok ve toplam maliyet ile; stokların azaltılması hedefi, stok ve toplam maliyet ile; yüksek dağıtım hızı hedefi, müşteri hizmetleri ile; düşük iş gücü maliyeti hedefi, toplam maliyet ile aynı doğrultuda gerçekleştiği için bu parametreler koyu renkle gösterilmiştir [10].

2.4 Tedarik Zincirinin Karar Problemleri

TZY yapısında aynı anda ele alınması zor olan, kalitatif-kantitatif çok sayıda kriteri barındıran karar problemlerini içermektedir. Bu da TZY'nin karmaşık bir hal almasına neden olmaktadır. Bu nedenle TZY'de farklı aşamalarda ortaya çıkan karar verme problemlerini ayrı ayrı ele almak uygun olmaktadır. Biz burada TZ'nin karar problemlerini (1) yer seçimi karar problemi, (2) üretim karar problemi, (3) stok karar problemi (4) taşıma karar problemi olmak üzere dört alt başlık altında vereceğiz. TZY literatüründe bu karar problemleri için çok sayıda çalışma mevcuttur.

2.4.1 Yer Seçimi Karar Problemi

Üretim yapılacak tesislerin, ürünün taşınacağı ve saklanacağı depoların, müşteriye ulaştırılacağı dağıtım merkezlerinin konumları TZY'de ilk karar adımlarından birisidir. Burada yer seçimi; tesis sayısı, taşıma maliyeti, müşteriye yakınlık, vergi, işçilik maliyeti ve elleçleme maliyeti gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Kurulacak tesislerin sayısı ve konumları müşteri talepleri ve hedeflenen satış miktarı ile ilişkilidir. Bu kriterler altında tesis yerlerinin firma amaçlarına en iyi hizmet edecek şekilde belirlenmesi esastır.

2.4.2 Üretim Karar Problemi

Bu başlık altında değerlendirilecek kararlar hangi ürünün hangi üretim tesisinde hangi miktarda üretilmesi gerektiği ve dolaylı olarak üretim tesislerinin, depoların, dağıtım merkezlerinin kapasitelerinin belirlenmesi gibi kararları içerir. Firmaların üretim kararları, müşteri memnuniyeti ve toplam maliyet üzerinde kritik öneme sahiptir.

2.4.3 Stok Karar Problemi

Stok kararları TZY’de talep belirsizliklerinden doğacak zararın en aza indirgenmesi açısından en önemli karar alanlarından birisidir. Hammaddelerin, yarı ürünlerin, son ürünlerin hangi tesislerde hangi seviyelerde tutulacağının belirlenmesi oldukça önemlidir. Stok kararları müşteri memnuniyeti ile doğrudan ilişkili olduğundan firmalar için büyük önem taşımaktadır.

2.4.4 Taşıma Karar Problemi

TZ ağında ürünlerin ilgili birimler arasında hangi miktarda, hangi zaman aralığında, hangi taşıma yolu ile taşınması gerektiği sorusu uzun yıllardır araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Müşteriler açısından bakıldığında talep ettikleri ürünleri güvenilir ve hızlı bir şekilde almaları çok önemlidir. Örneğin hızlı ve güvenilir bir tercih olan hava yolu ile taşımacılık müşteriler tarafından tercih edilirken firma açısından bu taşıma yolunun maliyeti diğer alternatiflerden daha yüksektir. TZ’nin içerdiği diğer karar problemleri ile de ilgili olan taşıma problemi son derece büyük öneme sahiptir.

BULANIK MATEMATİK

Klasik bir küme; bazı özelliklere sahip nesnelerin bir topluluğudur. Bu tanıma ek olarak, bir kümenin tanımlanması için o kümenin elemanlarının belirlenmesine yarayan karakteristik özelliklerinin verilmesi gerekir. Diğer bir ifade ile bir nesnenin kümeye ait olup olmadığını ayırmaya yarayan kesin bir kural verilmelidir.

Çoğu kez, günlük hayatta karşılaşılan bazı nesnelerin kümesi için karakteristik bir kriter kesin olarak belirlenemeyebilir. Örneğin, bir sınıftaki öğrencilerden, uzun boylu olanların kümesinin oluşturulması istense, bu küme farklı kişiler tarafından farklı şekilde oluşturulabilir. Çünkü uzun boylu öğrencilerin kümesi oluşturulurken ne kadar boy uzunluğundan sonrakilerin bu kümeye dâhil edileceği hususunda kesin bir kriter yoktur. Bir kişinin uzun boylular kümesine koyduğu bir öğrenciyi başka bir kişi orta boyludur diyerek kümeye dâhil etmeyebilir. Dolayısıyla uzun boylu öğrencilerin kümesi bildiğimiz klasik kümeyi oluşturmaz. Bu nedenle bazı nesnelerin bazı kümelere ait olması veya olmaması kavramında ortaya çıkan belirsizlikler, nesnelerin kümelere ait olması kavramının derecelendirilmesi gereğini ortaya koymuştur [22].

3.1 Bulanık Mantık

1965'te Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan makale modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir nokta olarak kabul edilir. Zadeh, bu makalede, kesin olmayan sınırlara sahip nesnelerin oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koymuştur.

Bir bulanık küme, çalışma yapılan alana ait her bir elemana matematiksel olarak kümedeki üyelik derecesini temsil eden bir değer atayarak tanımlanır. Bu değer, elemanın bulanık küme tarafından ifade edilen kavrama uygunluk derecesini gösterir. Bundan dolayı elemanların kümeye ait olması farklılaşır. Üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındaki reel sayılarla temsil edilir. Tam üye olma ve üye olmama durumu, bulanık kümede sırasıyla 1 ve 0 değerleriyle kar anır.

Klasik küme kavramı bulanık küme kavramının bu iki üyelik değerine kısıtlanmış özel bir şekli olarak görülebilir.

3.2 Bulanık Kümeler

3.2.1 Bulanık Kümelerde Temel Tanımlar

Bulanık kümeler kuramının amacı, belirsizlik ifade eden, tanımlanması güç veya anlamı güç kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirme istemidir. Modern mantıktaki bir kümenin elemanları, kesin elemanlardır. Bu elemanlar, kümenin elemanıdır ya da değildir. Bu tür elemanlardan oluşan kümeye kesin (crisp) kümeler denir. Bulanık kümeler belirlilik derecesi ya hep, ya hiç kavramının ötesinde bir görüşten ortaya çıkar.

Klasik küme teorisine göre $x \in X$ ve $A \subseteq X$ olmak üzere klasik bir A kümesinin üyelik fonksiyonu şu şekilde ifade edilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & , \quad x \in X \\ 0 & , \quad x \notin A \end{cases}$$

Yani klasik küme teorisinde bir elemanın bir kümeye ait olması durumunda üyelik fonksiyonu 1 değerini, aksi durumda 0 değerini alır [23].

Tanım 3.1 $x \in X$ olmak üzere $\tilde{A}$ bulanık kümesi X 'de sıralı ikililer ile şu şekilde ifade edilir [24].

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\} \text{ veya } \tilde{A} = \sum \frac{x}{\mu_{\tilde{A}}(x)}$$

Burada $\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonları $[0,1]$ aralığında değerler alacaktır. Yani elemanların üyelik fonksiyon dereceleri sadece 0 ve 1 olmayacaktır. Bu tanımı daha iyi açıklamak amacıyla bir örnek verelim.

Örnek 3.1:

Bir sınıftaki erkekler

$X = \{\text{Özcan}, \text{Emrah}, \text{Mehmet}, \text{Fikret}\}$ olsun.

Kızlar tarafından yapılan "uzun boylu erkekler" değerlendirmesi sonuçları şu şekilde karakterize edilmiştir.

$$A = \{(\text{Özcan}, 1), (\text{Emrah}, 0.8), (\text{Mehmet}, 0.5), (\text{Fikret}, 0)\}$$

Bu gösterimden Özcan kesin uzun boylu olduğu, Fikret'in ise kesin uzun boylu olmadığı anlaşılmaktadır [23].

Tanım 3.2 Bulanık Kümenin Desteği

$\tilde{A}$ bulanık kümesinin desteği, üyelik derecesi sıfır olmayan bütün noktaların kümesidir ve $S(\tilde{A}) = \{x \in X : \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}$ şeklinde tanımlanır [24].

Tanım 3.3 Bulanık Kümenin α -keseni

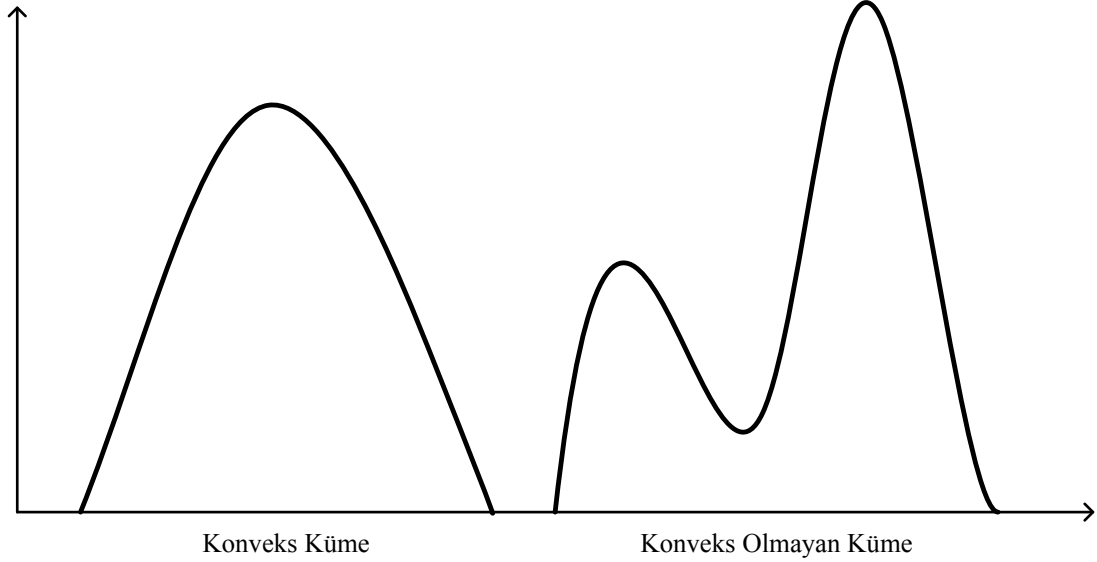
$\tilde{A}$ bir bulanık küme olsun. $\tilde{A}$ bulanık kümesinin α -kesimi A^α ile gösterilir ve $A^\alpha = \{x \in X : \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$ şeklinde tanımlanır [24].

Tanım 3.4 Bulanık Kümenin Konveksliği

$\tilde{A}$ bulanık kümesi $\forall x_1, x_2 \in X$ ve $\lambda \in [0,1]$ için

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2))$$

koşulunu sağlıyorsa konvektir denir [24]. Şekil 2.3'de konveks ve konveks olmayan küme gösterilmektedir [23].



Şekil 3.1 Konveks Küme ve Konveks Olmayan Küme

Tanım 3.5 Bulanık Kümenin Normalliği

Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin normal olması için gerek ve yeter şart $\mu_{\tilde{A}}(x_0) = 1$ olacak şekilde en az bir $x_0 \in \tilde{A}$ olmasıdır [25].

Tanım 3.6 Bulanık Kümenin Kardinalitesi

Bulanık $\tilde{A}$ kümesinin kardinalitesi;

X sonlu küme olmak üzere;

$$|\tilde{A}| = \sum \mu_{\tilde{A}}(x), \quad x \in X \text{ olarak tanımlanmıştır.}$$

X sonsuz bir küme ise;

$$|\tilde{A}| = \int_x \mu_{\tilde{A}}(x) dx \text{ 'dir.}$$

Göreceli kardinalite ise;

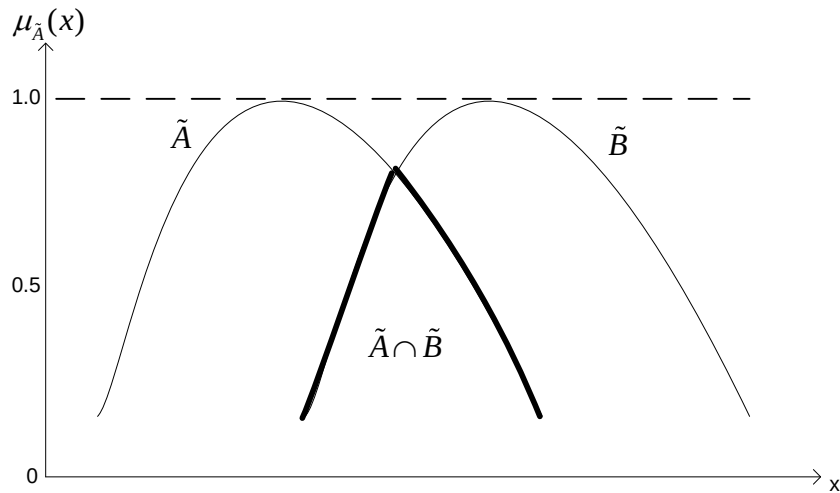
$$\|\tilde{A}\| = \frac{|\tilde{A}|}{|X|} \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

3.2.2 Bulanık Kümelerde Temel İşlemler

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ iki bulanık küme olsun.

Tanım 3.7 $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ işleminin üyelik fonksiyonu

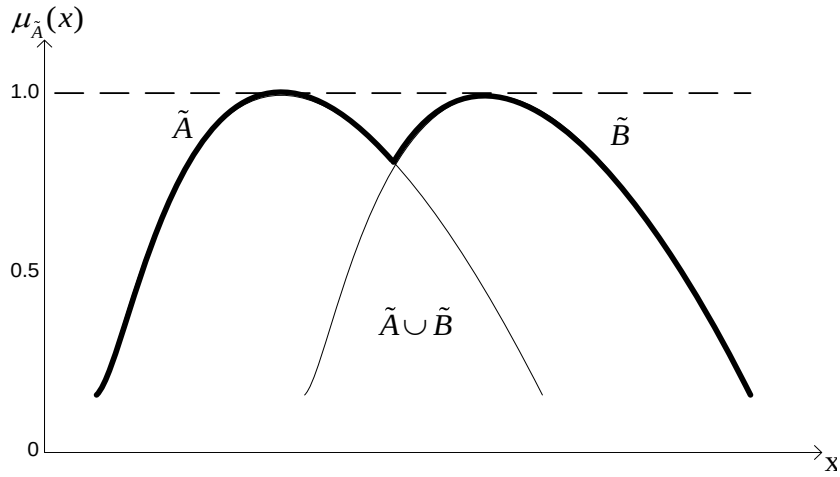
$\mu_{\tilde{C}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$, $x \in X$ olur ve grafik Şekil 3.2’de verilmiştir [24].



Şekil 3.2 İki Bulanık Kümenin Kesişimi

Tanım 3.8 $\tilde{D} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ birleşim işleminin üyelik fonksiyonu

$\mu_{\tilde{D}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$, $x \in X$ olur ve grafik Şekil 3.3’te verilmiştir [24].



Şekil 3.3 İki Bulanık Kümenin Birleşimi

Tanım 3.9 $\tilde{A}$ bulanık kümesinin tümleyenini $\bar{\tilde{A}}$ ile gösterecek olursak $\forall x \in X$ için $\mu_{\bar{\tilde{A}}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonu ile tanımlayabiliriz [24].

Örnek 3.2:

$A = \text{"10'dan çok büyük reel sayılar"}$

$B = \text{"11'e yaklaşık sayılar"}$

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 10 \\ (1 + (x - 10)^{-2})^{-1} & , \quad x > 10 \end{cases}$$

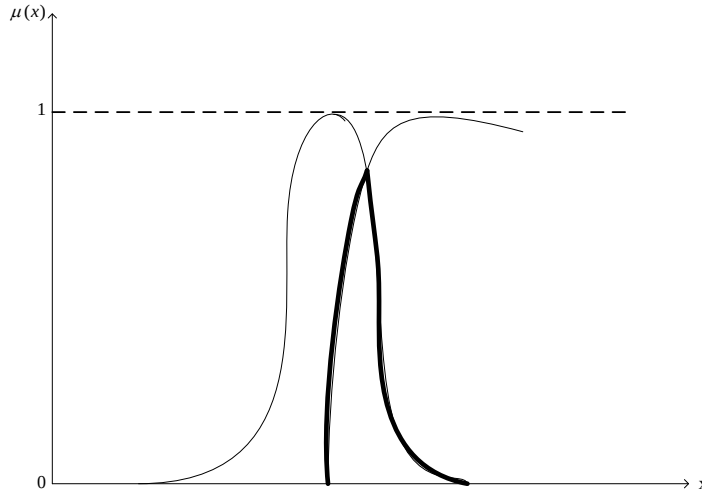
$$\mu_{\tilde{B}}(x) = (1 + (x - 11)^4)^{-1}$$

üyelik fonksiyonlarıyla verilmiş olsun. Bu durumda iki bulanık kümenin kesişim ve birleşim kümelerinin üyelik fonksiyonları;

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \begin{cases} \min[(1 + (x - 10)^{-2})^{-1}, (1 + (x - 11)^4)^{-1}] & , \quad x > 10 \\ 0 & , \quad x \leq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max[(1 + (x - 10)^{-2})^{-1}, (1 + (x - 11)^4)^{-1}] , \quad x \in X$$

şeklinde tanımlanır. Bu iki bulanık kümenin kesişiminin üyelik fonksiyonu Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Bulanık Karar

$A \cap \tilde{A} \neq \emptyset$ ve $A \cup \tilde{A} \neq E$, E burada evrensel uzay olmak üzere, bu iki özellik hariç bulanık kümelerin klasik kümeler ile cebirsel özellikleri aynıdır [23].

3.3 Bulanık Sayılar

Bulanık Sayı terimi 10'a yakın, 7 civarında gibi sayısal niceliklerin belirsizliğini ele almak için kullanılır. Bulanık sayı büyüklüğü kesin olarak göstermediğinden, kümeye aitlik derecesini ifade eden üyelik fonksiyonu ile verilir.

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ ile gösterilen bu fonksiyon $[0,1]$ aralığında değerler alır. $\mu_{\tilde{A}}(x)=0$ ise x sayısı kümenin elemanı değildir. $\mu_{\tilde{A}}(x)=1$ ise x kümenin elemanıdır. Diğer durumlarda x ' in kümede olması bulanık olarak tanımlanmıştır [23]. $\mu_{\tilde{A}}(x)$ değeri 1'e ne kadar yakınsa x sayısının kümenin üyesi olma dereceside o kadar güçlüdür.

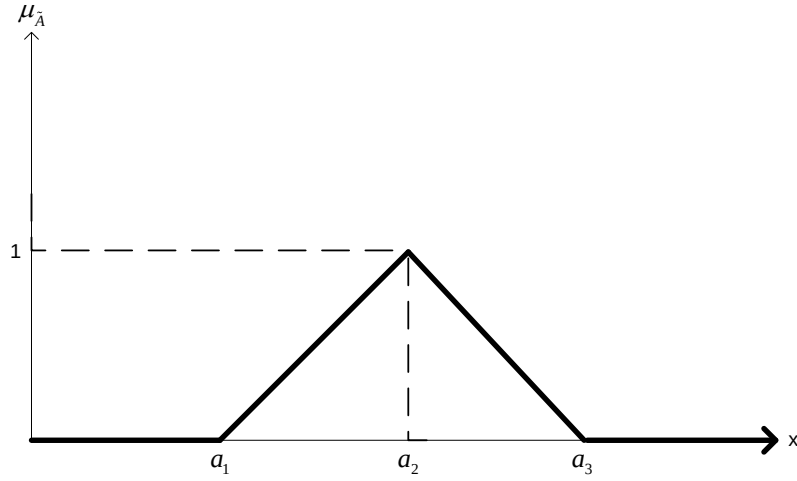
3.3.1 Üçgensel Bulanık Sayı

Üçgensel bulanık sayılar (a_1, a_2, a_3) gibi üçlüler ile gösterilirler. Burada a_2 büyüklüğü kesin değeri a_1 ve a_3 ise büyüklüğün alt ve üst sınırlarının kabul edilebilir değerlerini göstermektedir.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ şeklindeki bir üçgensel bulanık sayı için üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & a_3 < x \end{cases}$$

şeklinde ifade edilir [23].



Şekil 3.5 Üçgensel Bulanık Sayı

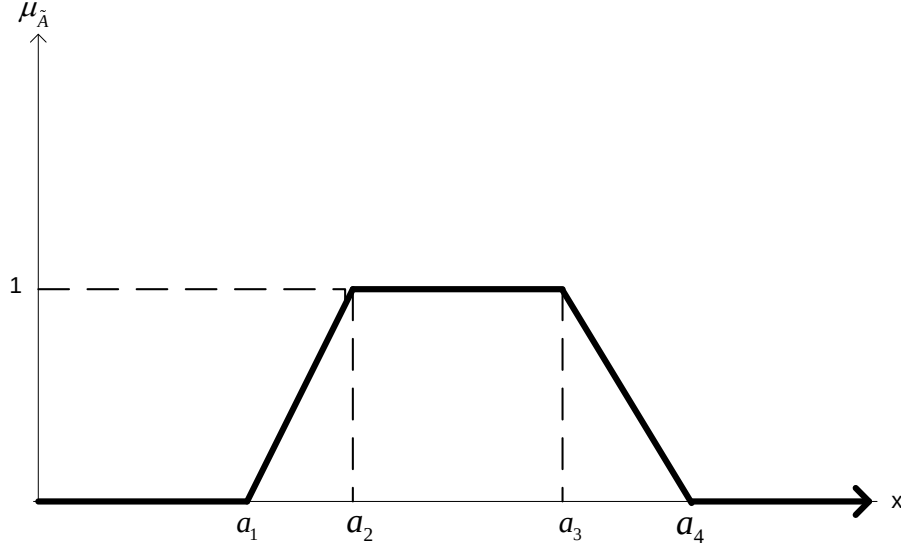
3.3.2 Yamuksal Bulanık Sayı

Yamuksal bulanık sayılar (a_1, a_2, a_3, a_4) şeklindeki dörtlü ile ifade edilir. Burada $[a_2, a_3]$ aralığı büyüklüğün kesinlikle gösterilebildiği sayıları ifade eder. a_1 ve a_4 sırasıyla büyüklüğün kabul edilebilir alt ve üst sınırlarıdır.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ şeklindeki bir yamuksal bulanık sayı için üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 < x < a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & x > a_4 \end{cases}$$

şeklinde ifade edilir [23].



Şekil 3.6 Yamuksal Bulanık Sayı

3.4 Bulanık Sayılarda Yaklaşık İşlemler

Yaklaşık aritmetik işlemler, bulanık üçgensel ve bulanık yamuksal sayılar üzerinde gösterilmiştir.

3.4.1 Üçgensel Bulanık Sayılarda Yaklaşık Aritmetik İşlemler

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ şeklinde iki üçgensel bulanık sayı olsun.

Eşitlik;

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık sayıların eşitliği karşılıklı bütün elemanlarının (üyelik fonksiyonlarının) eşitliği anlamına gelir. Matematiksel olarak;

$$\tilde{A} = \tilde{B} \Leftrightarrow (a_1, a_2, a_3) = (b_1, b_2, b_3) \Leftrightarrow a_1 = b_1, a_2 = b_2, a_3 = b_3 \text{ 'dir.}$$

Toplama;

$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$ şeklinde ifade edilir. Sonuç yine bir bulanık sayıdır.

Çıkarma;

$\tilde{A}(-) \tilde{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1)$ şeklinde ifade edilir. Sonuç üçgensel bulanık sayıdır.

Üçgensel Bulanık Sayının Simetriği;

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ üçgensel bulanık sayı olmak üzere simetriği $-(\tilde{A}) = (-a_3, -a_2, -a_1)$ olacaktır.

Çarpma ve Bölme işlemleri, sadece pozitif bulanık sayılar üzerinde tanımlanacaktır. Pozitif bulanık sayı, alt sınır değeri pozitif olan sayıdır.

Çarpma;

$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1.b_1, a_2.b_2, a_3.b_3)$ şeklinde ifade edilir ve sonuç bir üçgensel bulanık sayıdır.

Bölme;

$\tilde{A} : \tilde{B} = (\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1})$ 'dir. Sonuç bir üçgensel sayıdır.

3.4.2 Üçgensel Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemlerin Özellikleri

1. İki üçgensel bulanık sayının toplanması ve çıkarılması yine bir üçgensel bulanık sayıdır.
2. Çarpma, ters alma ve bölme işlemleri sonucu üçgensel bulanık sayı vermeyebilir.
3. Maksimum ve minimum işlemleri sonucu da bir bulanık üçgensel sayı olmak zorunda değildir. Buna rağmen bu işlemlerin sonucu üçgensel bulanık sayı olacak şekilde gösterilir.

3.4.3 Yamuksal Bulanık Sayılarda Yaklaşık Aritmetik İşlemler

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ şeklinde iki yamuksal bulanık sayı olsun.

Eşitlik;

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık sayıların eşitliği karşılıklı bütün elemanlarının (üyelik fonksiyonlarının) eşitliği anlamına gelir. Matematiksel olarak;

$\tilde{A} = \tilde{B} \Leftrightarrow (a_1, a_2, a_3, a_4) = (b_1, b_2, b_3, b_4) \Leftrightarrow a_1 = b_1, a_2 = b_2, a_3 = b_3, a_4 = b_4$ 'dir.

Toplama;

$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4)$ şeklinde ifade edilir ve sonuç yine bir yamuksal bulanık sayıdır.

Çıkarma;

$\tilde{A}(-) \tilde{B} = (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1)$ şeklinde ifade edilir ve sonuç yine bir yamuksal bulanık sayıdır.

Yamuksal Bulanık Sayının Simetriği;

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ yamuksal bulanık sayı olmak üzere simetriği $-(A) = (-a_4, -a_3, -a_2, -a_1)$ olacaktır.

Yamuksal bulanık sayılarda da çarpma ve bölme işlemleri, pozitif sayılar üzerinde tanımlanacaktır.

Çarpma;

$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1.b_1, a_2.b_2, a_3.b_3, a_4.b_4)$ şeklinde ifade edilir. Bu işlemin sonucu yamuksal bulanık sayıdır.

Bölme;

$\tilde{A} : \tilde{B} = (\frac{a_1}{b_4}, \frac{a_2}{b_3}, \frac{a_3}{b_2}, \frac{a_4}{b_1})$ 'dir. Sonuç bir bulanık yamuksal sayıdır.

3.4.4 Yamuksal Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemlerin Özellikleri

1. İki yamuksal bulanık sayının toplanması ve çıkarılması yine bir yamuksal bulanık sayıdır.
2. Çarpma, ters alma ve bölme işlemleri sonucu yamuksal bulanık sayı vermek zorunda değildir.
3. Maksimum ve minimum işlemleri de bir yamuksal bulanık sayı sonucu vermek zorunda değildir. Ancak üçgensel bulanık sayılarda olduğu gibi, yamuksal bulanık sayılarda da sonuç yaklaşıktır.

3.5 Bulanık Karar Verme

Gerek iş hayatında gerekse kişisel hayatımızda çoğu zaman bir konu hakkında karar vermek zorunda kalırız. Karar verme kavramı tanımlı yapan kişinin anlayışına bağlı olarak değişebilir. Örneğin bir avukat için hukuki bir anlamı varken, bir matematikçi için matematiksel bir modele dayanabilir [23].

Genel bir tanım verecek olursak karar verme, eldeki tüm bilgilerin ve verilerin dikkate alınarak, alternatif eylem biçimleri arasından en uygun tercihin yapılmasıdır. Klasik karar teorisinde karar, alternatiflerin bir kümesi (karar uzayı), durumların kümesi, her ikiliye kararı ve sonucu atayan bir bağıntı ve son olarak kararları istenebilirliklerine göre sıralayan bir fayda fonksiyonu ile karakterize edilebilir [23].

Bir konuda karar verme, sadece kişiler için değil kuruluşlar için de çok önemlidir. Birçok masraflar yapılarak toplanan bilgilerin ardından bunların değerlendirilmesi ve bir karara bağlanması, özellikle karmaşık ve hayati kararların verilmesinde modern tekniklere başvurulmasını gündeme getirmiştir. Son yıllarda üretim, yatırım, enerji, performans değerlendirme, ekonomi, spor gibi çeşitli konularda karar verme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Belirlilik altında karar verirken karar verici sonuçları bilir ve faydası kendince en yüksek alternatifi belirler. Risk altında karar verirken ise durum daha farklıdır. Çünkü karar verici hangi durumun gerçekleşeceğini bilmez ancak olasılık durumunu bilir ve sonuçtan emin değildir. Böyle durumlarda karar vermek oldukça zorlaşır.

1970’de Bellman ve Zadeh klasik karar modelleri üzerine bulanık durumlarda karar verme için klasik karar teorisinin üzerine bulanık karar verme modelini önermişlerdir. Bu model birçok yazarın bulanık karar teorisine bakışını önemli ölçüde etkilemiştir. Bellman ve Zadeh amaç fonksiyonu ve ayrıca kısıtlarında bulanık olduğu durumlarda belirlilik altında karar verme durumunu incelemişler, bulanık amaç fonksiyonunun ve bulanık kısıtların kendi üyelik fonksiyonları ile karakterize edilebileceğini ve kısıtlar altında amaç fonksiyonumuzu optimize etmek istediğimizde, bulanıklık içeren bir kararın, bulanıklık içermeyen bir karar gibi amaç fonksiyonu ve kısıtların aynı anda sağlandığı durumların seçimi şeklinde olacağını belirtmişlerdir. Yukarıdaki tanıma bağlı kalınır ve kısıtların etkileşimli olmadığı kabul edilirse, bulanık çerçevede karar, bulanık kısıtlar ile bulanık amaç fonksiyonunun kesişimi olarak düşünülebilir [24].

Tanım 3.10 X alternatifler uzayı, $\tilde{G}$ bir bulanık hedef, $\tilde{C}$ bir bulanık kısıt olmak üzere bulanık karar $\tilde{D} = \tilde{G} \cap \tilde{C}$ kümesidir.

Genelleştirilmiş hali;

n adet hedef; $\tilde{G}_1, \dots, \tilde{G}_n$

m adet kısıt; $\tilde{C}_1, \dots, \tilde{C}_m$ olmak üzere,

$\tilde{D} = \tilde{G}_1 \cap \tilde{G}_2 \cap \dots \cap \tilde{G}_n \cap \tilde{C}_1 \cap \tilde{C}_2 \cap \dots \cap \tilde{C}_m$ olur. Bu tanıma göre kararın üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{\tilde{D}} = \min\{\mu_{\tilde{G}_1}, \mu_{\tilde{G}_2}, \dots, \mu_{\tilde{G}_n}, \mu_{\tilde{C}_1}, \mu_{\tilde{C}_2}, \dots, \mu_{\tilde{C}_m}\}$$

$$= \min\{\mu_{\tilde{G}_i}, \mu_{\tilde{C}_j}\} = \min\{\mu_i\} \text{ olur.}$$

3.6 Bulanık Lineer Programlama

Klasik LP problemi,

$$\max f(\mathbf{x}) = \mathbf{c}^T \mathbf{x}$$

$$A\mathbf{x} \leq \mathbf{b}$$

$$\mathbf{x} \geq 0$$

$$\mathbf{c}, \mathbf{x} \in R^n, \mathbf{b} \in R^m, A \in R^{m \times n}$$

şeklinde ifade edilir.

Burada A , b ve c 'nin tüm bileşenleri kesin sayılardır " $\leq$ " ve " $\max$ " kesin kavramlarıdır.

Eğer LP kararı bulanık bir çerçevede verilirse, yukarıdaki modelde bazı değişiklikler olur. Bunlardan ilki amaç fonksiyonunun yapısı olabilir. Karar verici amacı maksimize ya da minimize etme yerine kabul edilebilir bir seviyeyi veren çözümleri bulmak isteyebilir.

İkincisi kısıtlar bulanık olabilir yani işareti kesin anlam taşımaz ve küçük sapmalar kabul edilebilir. Ayrıca b veya c vektörleri ile A matrisinin bileşenleri de bulanık sayı olabilir.

Son olarak kısıtlardaki bulanıklık uygun çözümler bölgesini de etkin şekilde değiştirir. BLP bütün bu belirsizlikleri içeren problemlerin çözümünde kullanılır. Literatürde değişik çözüm teknikleri vardır. Bunlardan en önemlisi Bellman ve Zadeh tarafından verilen karar modelidir [23].

Parametre veya sembollerde ki bulanıklık, üzerine konulan " $\sim$ " işareti ile gösterilir.

1. Amacın Bulanık Olması Halinde Bulanık Lineer Programlama Problemi;

Amaç fonksiyonunda veya kısıtta $\tilde{\geq}$ olması durumu:

Amaç:

$$\mathbf{c}\mathbf{x} \tilde{\geq} Z_0$$

Kısıtlar:

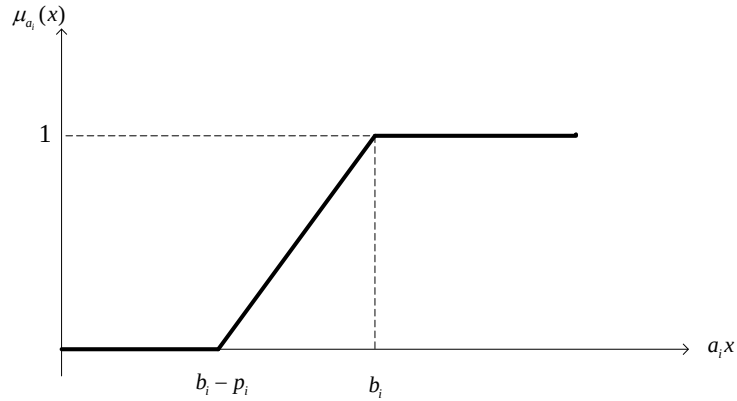
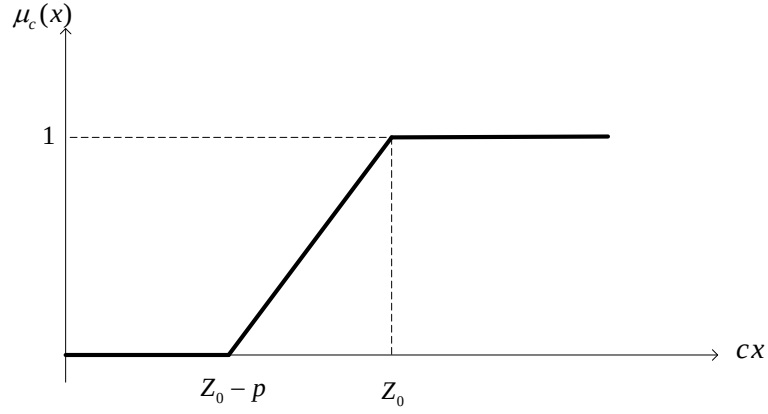
$$a_i x \tilde{\geq} \mathbf{b}_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$\mathbf{x} \geq 0$$

Şartlarını sağlayan x değişkeni bulunmak istensin. Burada $\mathbf{c}, a_i \in R^n$, $\mathbf{b}_i \in R^m$ ve $\mathbf{x} \in R^n$ 'dir.

Amaç fonksiyonu Z_0 değerinden, $a_i x$ kısıtıda sağ taraf sabiti $\mathbf{b}_i$ 'den büyük yapılmak

istenmektedir. Ancak bu şartları aynı anda sağlayan bir x noktası bulunmak zorunda değildir. Bu nedenle, belirlenen hedeflere olabildiğince yakın çözümlerin bulunması istenebilir. Amacın Z_0 hedef sınırından p , kısıtın b_i hedef sınırından p_i gibi kabul edilebilir birer sapma değeri karar vericiden alınır. Buna göre amaç ve kısıtların üyelik fonksiyonu grafikleri,



ve matematiksel gösterimleri,

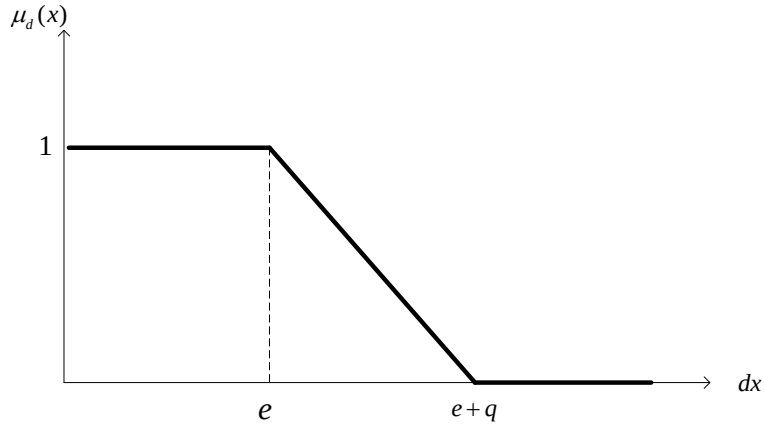
$$\mu_c(x) = \begin{cases} 0 & , cx < Z_0 - p \\ \frac{1}{p}[cx - (Z_0 - p)] & , Z_0 - p \leq cx \leq Z_0 \\ 1 & , Z_0 < cx \end{cases}$$

$$\mu_{a_i}(x) = \begin{cases} 0 & , a_i x < b_i - p_i \\ \frac{1}{p_i} [a_i x - (b_i - p_i)] & , b_i - p_i \leq a_i x \leq b_i \\ 1 & , b_i < a_i x \end{cases}$$

yapısındadır.

LP'nin yapısına uygun olarak ve kolaylık sağlaması açısından üyelik fonksiyonları lineer olarak seçilmiştir. Üstelik $\mu_c(x)$ fonksiyonu $[Z_0 - p, Z_0]$ aralığında ve $\mu_{a_i}(x)$ de $[b_i - p_i, b_i]$, $i = 1, \dots, m$ aralığında monoton artandır.

Benzer şekilde, amaç fonksiyonunun veya kısıtın bulanık yapısı $dx \lesseqgtr e$ olması halinde, hedeften kabul edilebilir sapma q olmak üzere üyelik fonksiyon grafiği,

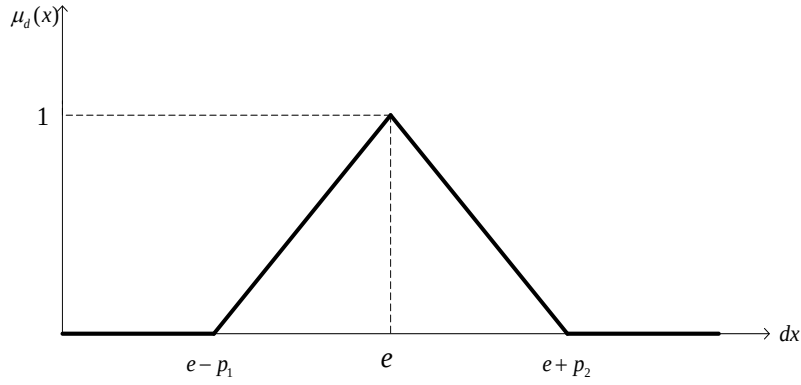


ve denklemini;

$$\mu_d(x) = \begin{cases} 1 & , dx < e \\ -\frac{1}{q} [dx - (e + q)] & , e \leq dx \leq e + p \\ 0 & , dx > e + p \end{cases}$$

olur.

Amaç fonksiyonu veya kısıtta " $\cong$ " olması halinde üyelik fonksiyonların $dx \cong e$ için elde edelim. $dx \cong e$ 'in e hedefinden negatif yönde p_1 , pozitif yönde p_2 sapmasının kabul edilebilir olduğu farz edilsin. Bu durumda, yine lineer üyelik fonksiyon grafiği,



ve denklemi,

$$\mu_d(x) = \begin{cases} 0 & , dx < e - p_1 \\ \frac{1}{p_1}[dx - (e - p_1)] & , e - p_1 \leq dx < e \\ -\frac{1}{p_2}[dx - (e + p_2)] & , e \leq dx \leq e + p_2 \\ 0 & , e + p_2 < dx \end{cases} ,$$

yapısındadır.

Karar verici, amaç ve kısıtlar olabildiğince büyük oranda tatmin etmek isteyecektir. Karar vericinin amacına Bellman ve Zadeh'in minimum operatörü uygundur. Yani;

$$\mu_{\bar{D}} = \min\{\mu_c(x), \mu_{a_i}(x); i = 1, \dots, m\}$$

karar fonksiyonunu maksimum yapan çözüm, minimum tatmini maksimum yapar.

Bu çözüm, kesin kısıtlar ve $x \geq 0$ non-negatiflik şartları altında

$$\mu_{\bar{D}} = \min\{\mu_c(x), \mu_{a_i}(x); i = 1, \dots, m\} = \lambda \text{ ise;}$$

$$\mu_c(x) \geq \lambda \text{ ve } \mu_{a_i}(x) \geq \lambda; i = 1, \dots, m \text{ şartlarının da sağlamalıdır.}$$

Böylece S kesin kısıtlar kümesi olmak üzere;

$$\max_{x \in S} \mu_{\bar{D}}(x)$$

problemine denk LP problemi:

Amaç: $\max \lambda$

Kısıtlar: $\mu_c(x) \geq \lambda$

$$\mu_{a_i}(x) \geq \lambda \quad , \quad i=1,2,\dots,m$$

$$x \in S$$

yapısında olur.

2. Bulanık Kısıtlar Üzerinde Amaç Fonksiyonunun Optimizasyonu;

BLP'nin yapısı;

$$\max Z = \mathbf{c}^T x$$

$$A\mathbf{x} \lesseqgtr \mathbf{b}$$

(1)

$$x \geq 0$$

veya

$$\min Z = \mathbf{c}^T x$$

$$A\mathbf{x} \gtrless \mathbf{b}$$

(2)

$$x \geq 0$$

olsun. Burada $\mathbf{c} \in R^n$, $A \in R^{m \times n}$, $\mathbf{b} \in R^m$ 'dir. Değişkenler vektörü $\mathbf{x}$ ise R^n 'nin elemanıdır.

(1) yapısındaki kısıtların üyelik fonksiyonları;

$$\mu_{a_i}(x) = \begin{cases} 1 & , a_i x < b_i \\ 1 - \frac{1}{p_i} [a_i x - b_i] & , b_i \leq a_i x \leq b_i + p_i \\ 0 & , a_i x > b_i + p_i \end{cases}$$

ve (2) yapısındaki kısıtların üyelik fonksiyonlarıda,

$$\mu_{a_i}(x) = \begin{cases} 1 & , a_i x > b_i \\ 1 + \frac{1}{p_i} [a_i x - b_i] & , b_i - p_i \leq a_i x \leq b_i \\ 0 & , a_i x < b_i - p_i \end{cases}$$

yapısındadır. Burada p_i hedeften kabul edilebilir sapmadır.

$a_i x = b_i$ için $\mu_{a_i}(x) = 1$ ya da $a_i x = b_i - p_i$ için $\mu_{a_i}(x) = 0$ olduğundan; üyelikler $[b_i - p_i, b_i]$ aralığında monoton artan, $[b_i, b_i + p_i]$ aralığında monoton azalandır. Şu halde $\max Z = \mathbf{c}^T x$ amaç fonksiyonunun $\mu_{a_i}(x) = 1$ 'e karşılık gelen kesin kısıtlar üzerindeki optimum Z' ve $\mu_{a_i}(x) = 0$ 'a karşılık gelen bulanık kısıtlar üzerinde ki optimum Z^0 olsun. O halde bulanık bölge üzerinde

$Z' \leq \max Z = \mathbf{c}^T x \leq Z^0$ olur. $\mathbf{c}^T x$ 'in üyelik fonksiyonunda

$$\mu_c(x) = \begin{cases} 1 & , Z^0 < \mathbf{c}^T x \\ \frac{\mathbf{c}^T x - Z'}{Z^0 - Z'} & , Z' \leq \mathbf{c}^T x \leq Z^0 \\ 0 & , \mathbf{c}^T x < Z' \end{cases}$$

yapısında olur.

Amaç ve bulanık kısıtların minimum üyeliğini maksimum yapan çözüm, BLP'nin aranan çözümüdür. Yani;

$\min\{\mu_c(x), \mu_{a_i}(x); i = 1, \dots, m\} = \lambda$ olmak üzere;

$\max \lambda$

$\mu_c(x) \geq \lambda$

$\mu_{a_i}(x) \geq \lambda \quad i = 1, \dots, m$

$x \in X$

probleminin çözümü, aranan çözümüdür. Burada $\max \lambda = \lambda^*$ amaç değeri ise tatmin düzeylerinin alt sınırını gösterir.

3.7 Bulanık Çok Kriterli Karar Verme

Faaliyetlerin arzu edilebilirliklerine göre karşılaştırılmaları, ürünlerin uygunluğuna karar verilmesi veya karar problemlerinde optimal çözümlerin belirlenmesi çoğu durumda tek kriter veya tek amaç fonksiyonu kullanılarak elde edilemez. Bu durum çok kriterli karar vermeyi (ÇKKV) gerekli kılar.

ÇKKV'de iki ana dal geliştirilmiştir. Bunlardan ilki çok amaçlı karar verme (ÇAKV), diğeri ise çok nitelikli karar vermedir (ÇNKV). Bu iki ana yaklaşım arasındaki temel fark karar

uzaylardan kaynaklanır. ÇAKV sürekli karar uzaylarına yoğunlaşırken, ÇNKV ise kesikli karar uzaylarına yoğunlaşır. Ancak bu ayrımında çok amaçlı tamsayı programlama gibi istisnalarda mevcuttur [24].

3.7.1 Çok Nitelikli Karar Verme

ÇNKV problemi, kısaca matris formunda

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$W = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n]$ olarak ifade edilebilir. Burada $A_i \ i=1, 2, \dots, m$ mümkün alternatifleri, $c_j \ (j=1, \dots, n)$ alternatiflerin performanslarının ölçüldüğü kriterleri, $x_{ij} \ (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n)$ A_i alternatifinin C_j kriterine göre puanını (reyting), $w_j \ (j=1, \dots, n)$ ise C_j kriterinin ağırlığını ifade etmektedir.

Klasik ÇNKV yöntemlerinde x_{ij} ve kriterlerin ağırlıklar kesin sayılar olarak bilinmektedir. Fayda fonksiyonu, dolaylı ya da dolaysız yoldan karar verici tarafından tanımlanır. Fayda fonksiyonu, A_i alternatifi için performans ağırlıkları olan x_{ij} 'leri birleştirerek final fayda ağırlığı U_i 'yi oluşturur.

Burada final fayda ağırlığı karar vericinin belirlediği amaç doğrultusunda hangi oranda tatmin olduğunu verir. Karar verici tarafından alternatiflerden yüksek faydayı verenler tercih edilirler. Gerçek hayat problemlerinde alternatiflerin performanslarını değerlendirirken elde ettiğimiz x_{ij} değerleri kesin, bulanık ya da dilsel olabilir [23].

3.7.2 Çok Amaçlı Karar Verme

Tanım 3.11 $Z(\mathbf{x}) = (z_1(\mathbf{x}), \dots, z_k(\mathbf{x}))$ $\mathbf{x} \in R^n$ 'den R^k 'ya vektör değerli bir fonksiyon ve X çözüm uzayı olmak üzere vektör maksimum problemi "*maksimum*" $\{Z(\mathbf{x}) : \mathbf{x} \in X\}$ şeklinde tanımlanır.

Tanım 3.12 $\max\{Z(\mathbf{x}) : \mathbf{x} \in X\}$ bir çok amaçlı karar verme (ÇAKV) problemi, $z_i(\hat{\mathbf{x}}) \geq z_i(\bar{\mathbf{x}})$ $i=1, 2, \dots, k$ ve en az bir $z_i(\hat{\mathbf{x}}) > z_i(\bar{\mathbf{x}})$ eşitsizliğini gerçekleyen hiçbir $\hat{\mathbf{x}} \in X$ bulunamıyorsa

$\bar{\mathbf{x}}$ bir etkin çözümdür denir. Tüm etkin çözümlerin kümesinde tam çözüm olarak isimlendirilir.

Tanım 3.13 Karar verici tarafından, vektör değerli amaç fonksiyonunun içerdiği bütün kriterler göz önüne alınarak tam çözüm uzayından diğer bütün çözümlere tercih edilen etkin çözüme uzlaşık optimal çözüm denir.

Verilen lineer kısıtlar altında birden fazla lineer amacı optimize etmeye çalışan problem şu şekildedir;

$$\text{Amaçlar: } \max z_1(\mathbf{x}) = c_1 x$$

$$\max z_2(\mathbf{x}) = c_2 x$$

...

$$\max z_K(\mathbf{x}) = c_K x$$

$$\text{Kısıtlar: } A\mathbf{x} \leq \mathbf{b}$$

$$x \geq 0$$

$$\text{Burada } \mathbf{c}_i = (c_{i1}, \dots, c_{in}), i = 1, \dots, K; \mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T; A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}; \mathbf{b} = (b_1, \dots, b_n)^T$$

yapısındadır. Verilen ÇALP problemi $\mathbf{z}(\mathbf{x}) = (z_1(\mathbf{x}), \dots, z_K(\mathbf{x}))^T$ K -boyutlu vektör ve $\mathbf{C} = (c_1, c_2, \dots, c_K)^T$ $K \times n$ lik bir matris olmak üzere vektör-maksimizasyon problemi olarak ifade edilebilir [26].

3.8 Çok Amaçlı Lineer Modele Bulanık Yaklaşım

Çok amaçlı lineer modele bulanık yaklaşımda literatürde iki tür yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşım ödemeler matrisi olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda her bir amaç, problemin orijinal kısıtları altında, tek amaçlı bir LP olarak çözülüp tüm amaçların bireysel minimum değerleri (L_k) elde edilir. Ardından elde edilen bireysel minimumu veren noktalar, diğer tüm amaçlarda yerine konulur. Elde edilen değerlerin maksimumu ilgili amacın üst sınır değerini (U_k) verir. Amaçların bireysel optimal noktaları sırasıyla $\mathbf{x}^{1*}, \mathbf{x}^{2*}, \dots, \mathbf{x}^{K*}$ olmak üzere, oluşturulan ödemeler matrisi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} f^1(\mathbf{x}^{1*}) & f^1(\mathbf{x}^{2*}) & \dots & f^1(\mathbf{x}^{K*}) \\ f^2(\mathbf{x}^{1*}) & f^2(\mathbf{x}^{2*}) & \dots & f^2(\mathbf{x}^{K*}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f^K(\mathbf{x}^{1*}) & f^K(\mathbf{x}^{2*}) & \dots & f^K(\mathbf{x}^{K*}) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

(3.1) matrisinin köşegen elemanları sırasıyla her bir amacın bireysel minimum değeri L_k 'yi, her bir satırının maksimum değeri ise U_k 'yi belirler.

İkinci yaklaşımda her bir amaç problemin orijinal kısıtları altında minimize ve maksimize edilerek alt ve üst sınır değerleri belirlenir. Diğer bir ifade ile amaçların bireysel minimum ve maksimum değerleri hesaplanır. Elde edilen sınır değerleri,

$$L_k = \min_{\mathbf{x} \in S} f^k(\mathbf{x}), \quad U_k = \max_{\mathbf{x} \in S} f^k(\mathbf{x}), \quad k=1,2,\dots,K \text{ şeklindedir.}$$

Ardından üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmamızda lineer üyelik fonksiyonları kurulmuştur. Buna göre $k. (k \in \{1,2,\dots,K\})$ amaç fonksiyonu için lineer üyelik fonksiyonu;

$$\mu_k(f^k(\mathbf{x})) = \begin{cases} 1 & , f^k(\mathbf{x}) < L_k, \\ \frac{U_k - f^k(\mathbf{x})}{U_k - L_k} & , L_k \leq f^k(\mathbf{x}) \leq U_k, \\ 0 & , f^k(\mathbf{x}) > U_k \end{cases}$$

şeklinde olur.

Burada tüm amaçlar için alt ve üst sınır değerlerin birbirinden farklı olduğu kabul edilmiştir ($L_k \neq U_k, k=1,2,\dots,K$) ve sınır değerler birbirine eşit ise ilgili amacın üyelik fonksiyonu 1 olacaktır. ($L_k = U_k \Rightarrow \mu_k(f^k(\mathbf{x})) = 1$)

$\mu_k(f^k(\mathbf{x}))$ üyelik fonksiyonları $[L_k, U_k]$ aralığında lineer ve monoton azalandır.

Zimmermann'ın minimum operatörü [27] kullanılarak ÇALP problemini;

$$\max_x \min_k \mu_k(f^k(\mathbf{x})) \quad (3.2)$$

$\mathbf{x} \in S$

yardımcı bir λ değişkeni kullanılırsa,

$\min_k \mu_k(f^k(\mathbf{x})) = \lambda \Rightarrow \mu_k(f^k(\mathbf{x})) \geq \lambda$ elde edilir. Böylece (3.2) problemine eşdeğer olarak aşağıdaki klasik LP problemi oluşturulabilir:

$$\begin{aligned} \max \quad & \lambda \\ \mu_k(f^k(\mathbf{x})) & \geq \lambda, \quad k = 1, 2, \dots, K \\ \mathbf{x} & \in S \\ \lambda & \in [0, 1]. \end{aligned} \tag{3.3}$$

Burada (3.3) problemi, ÇALP'nin minimum operatör modelidir. Bu problemin optimal değeri λ^* , problemin bütün amaçlarının en düşük tatmin seviyesinin maksimize edildiği değere karşılık gelir ve ÇALP'deki amaçların en temel tatmin düzeyi olarak yorumlanabilir [28].

Örnek 3.3:

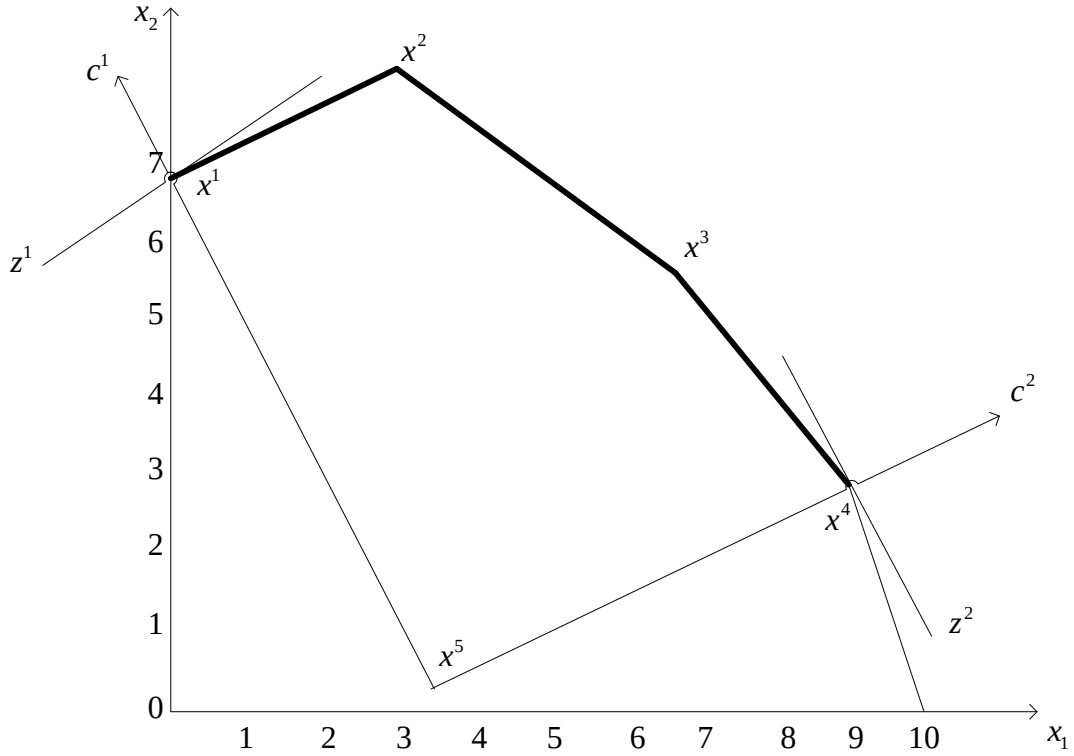
Amaçlar:

$$\begin{aligned} \max Z_1(\mathbf{x}) &= -x_1 + 2x_2 \\ \max Z_2(\mathbf{x}) &= 2x_1 + x_2 \end{aligned}$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} -x_1 + 3x_2 &\leq 21 \\ x_1 + 3x_2 &\leq 27 \\ 4x_1 + 3x_2 &\leq 45 \\ 3x_1 + x_2 &\leq 30 \\ x_1, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

ÇALP problemi verilmiş olsun. Problemin çözüm uzayı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Tam Çözüm Uzayı

Problemin tam çözümü, başka bir deyişle etkin çözümler kümesi $x^1 - x^2 - x^3 - x^4$ köşeleri birleştiren kenardır. $z_1(\mathbf{x})$ amacı $x^1 = (0,7)$ noktasında, $z_2(\mathbf{x})$ amacı ise $x^4 = (9,3)$ noktasında optimal değerini almaktadır. $x^5 = (3.4, 0.2)$ çözümü $z_1(x^5) = -3$ ve $z_2(x^5) = 7$ olarak amaçların kabul edilebilir en düşük değerlerini vermektedir. Bu durumda amaçların optimal noktaları şu şekilde olacaktır.

$$x^1 = (0,7) \text{ için } \max z_1(\mathbf{x}) = z_1(x^1) = z_1^* = 14 \text{ ve } z_2(x^1) = 7$$

$$x^4 = (9,3) \text{ için } \max z_2(\mathbf{x}) = z_2(x^4) = z_2^* = 21 \text{ ve } z_1(x^4) = -3 \text{ 'dir.}$$

Bu değerlere göre $z_1^L = -3$, $z_1^R = 14$, $z_2^L = 7$ ve $z_2^R = 21$ 'dir.

Amaçlar maksimizasyonun fonksiyonları olduğundan üyelik fonksiyonları,

$$\mu(z) = \begin{cases} 0 & , z < z^L \\ \frac{z - z^L}{z^R - z^L} & , z^L \leq z \leq z^R \\ 1 & , z^R < z \end{cases}$$

yapısındadır.

Buna göre amaçların üyelik fonksiyonları,

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 0 & , z_1(x) < -3 \\ \frac{z_1(x)+3}{17} & , -3 \leq z_1(x) \leq 14 \\ 1 & , z_1(x) > 14 \end{cases}$$

olarak bulunur.

Problem üyelik fonksiyonlarından yararlanarak;

Amaç : $\max \lambda$

$$\text{Kısıtlar : } \frac{z_1(\mathbf{x})+3}{17} \geq \lambda$$

$$\frac{z_2(\mathbf{x})-7}{14} \geq \lambda$$

$$-x_1 + 3x_2 \leq 21$$

$$x_1 + 3x_2 \leq 27$$

$$4x_1 + 3x_2 \leq 45$$

$$3x_1 + x_2 \leq 30$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

LP problemine dönüştürülür. Gerekli düzenlemeler yapıldığında modelin son hali,

Amaç: $\max \lambda$

Kısıtlar:

$$x_1 - 2x_2 + 17\lambda \leq 3$$

$$2x_1 + x_2 - 14\lambda \geq 7$$

$$-x_1 + 3x_2 \leq 21$$

$$x_1 + 3x_2 \leq 27$$

$$4x_1 + 3x_2 \leq 45$$

$$3x_1 + x_2 \leq 30$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

yapısında olur.

Probleminin çözümü $x_1 = 5.0323$, $x_2 = 7.3226$ ve $x_3 = 0.7419$ olarak bulunur.

$\mathbf{x}^0 = (5.03; 7.32)$ uzlaşık çözümüne karşılık gelen amaç fonksiyon değerleri $z_1(\mathbf{x}^0) = 9.6129$

ve $z_2(\mathbf{x}^0) = 17.3872$ 'dir. $\lambda = 0.7419$ olarak amaçlardaki en kötü tatmin oranıda belirlenmiş

olur. Gerçekten bu uzlaşık çözüm için amaçlar $\mu_{z_1}(\mathbf{x}^0) = 0.7419$ tatmin oranlarını almışlardır

[24].

ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi'ne Genel Bir Bakış

1970'li yıllarda Thomas Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), araştırmacılar tarafından çok sık kullanılan çok nitelikli karar verme yaklaşımlardan birisidir. AHP, alternatifleri ikili karşılaştırmalar ile çeşitli kriterler altında değerlendirerek, her birine bir tercih ağırlığı atayarak en iyi olanını seçmek için dizayn edilmiş matematiksel bir metottur. AHP'nin önemli özelliklerinden birisi karar vericinin hem objektif hem de subjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir. AHP metodu karar vericilerin çeşitli alanlardaki karar problemlerinin çözülmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

4.2 AHP Çözüm Aşamaları

AHP, bir karar problemini aşağıdaki temel adımlara böler:

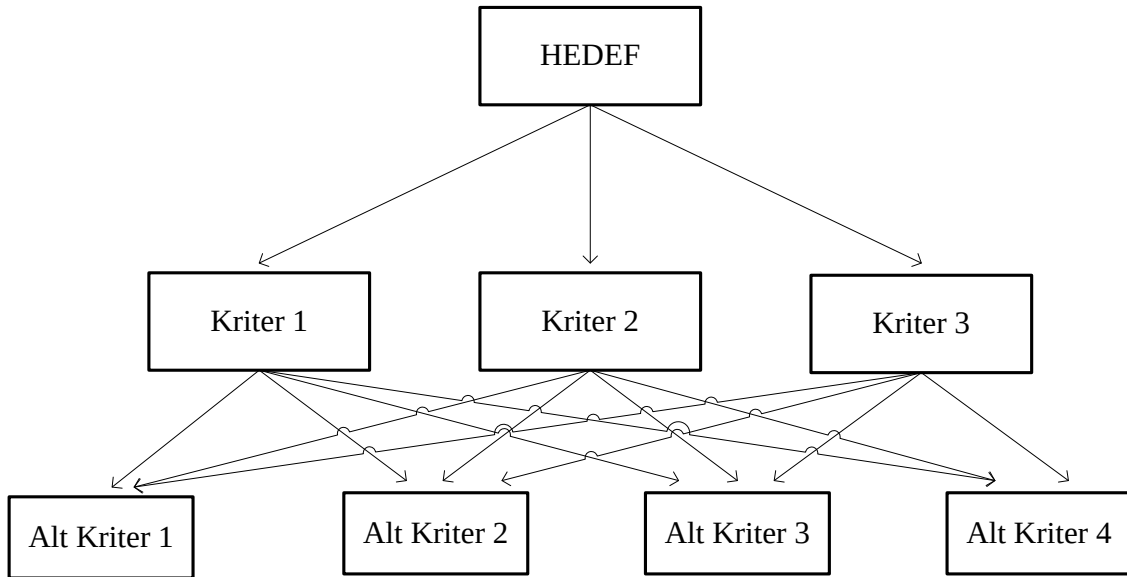
1. Problemin düzenlenmesi,
2. Yerel önceliklerin değerlendirilmesi,
3. Genel önceliklerin hesaplanması.

AHP karar problemi, her bir seviyenin sonlu sayıda karar elemanlarını içerdiği farklı seviyelerde hiyerarşik bir yapı olarak düzenlenir. Hiyerarşinin en üstü ana amacı, en alt kısmı ise tüm alternatifleri gösterir. Aradaki aşamalar ise alt kriterleri ifade eder [29].

Çalışmamızın bu bölümünde bir karar probleminin AHP ile ele alınırken uygulanması gereken aşamalar üç başlık altında incelenmektedir.

a. Hiyerarşik Yapının Kurulması

AHP’de karar vericinin amaç doğrultusunda kriterleri ve ona ait olan alt kriterleri belirleyip, hiyerarşik yapıyı oluşturması ilk adımdır. AHP’de öncelik amacın belirlenmesi ve bu amaç doğrultusunda seçimi etkileyen kriterlerin ortaya konulması gerekir. Ardından kriterler göz önünde bulundurularak alternatifler belirlenir. Sonuçta karar için hiyerarşik bir yapı oluşturulur [30]. Hiyerarşik bir yapılandırma çözülmek istenen problem alanında bilgi ve deneyim gerektirir. İki karar verici aynı problemin farklı iki hiyerarşisini kurabilir. Diğer taraftan, iki kişi aynı hiyerarşiyi kursa dahi, karar vericinin tercihleri farklı yönde olabilir. Bununla beraber, bir grup kişi, hem hiyerarşiyi kurmada; hem de kararlarda ve kararların sentezlenmesi hususunda uzlaşmak amacıyla birlikte de çalışabilirler. Aşağıdaki şekilde AHP’nin genel hiyerarşik yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.5 AHP genel hiyerarşik yapısı

b. Değerlendirme

Karar verici ya da karar vericiler amaç, kriterler ve alt kriterleri belirledikten sonra, kriterler ve alt kriterlerin kendi aralarındaki ağırlıklarının belirlenmesi için ikili karşılaştırma karar matrisleri oluştururlar. Bu matrislerin oluşturulmasında Saaty tarafından önerilen 1-9 önem skalası kullanılır [31]. Çizelge 4.1’de 1-9 skalası verilmiştir.

Çizelge 4.1 AHP’de kullanılan temel ölçek ve tanımları (1-9 Skalası) [31]

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit Önemli
3	Orta dereceli önemli
5	Kuvvetli Derecede Önemli
7	Çok Kuvvetli Derecede önemli
9	Kesin Önemli
2,4,6,8	Ara değerler

İkili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulması AHP’nin en önemli adımıdır. İkili karşılaştırma karar matrislerinden elde edilen bilgilere göre AHP’de değerlendirmeler bir matrise dönüştürülür. a_{ij} , i . özellik ile j . özelliğin ikili karşılaştırma değeri olarak gösterilecek olursa, a_{ij} değeri $1/a_{ij}$ oranından elde edilir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & \ddots & \cdot & \vdots \\ \vdots & \cdot & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & \dots & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \text{ olarak gösterilir. AHP yöntemi, } A_i$$

alternatifinin C_j niteliğine göre r_{ij} performans puanını hesaplamak amacıyla her bir nitelik için ikili karşılaştırma matrislerini kullanır. Nitelikler için ikili karşılaştırma matrisi niteliklerin ağırlıklarını hesaplamak için kullanılır. Performans puanları ve ağırlık kümesi ,

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ olarak düzenlenir. Burada r_{ij} ve w_j , $\forall i, j$ için reel sayı değerleri alır [30].

AHP’de bir diğer aşama normalleştirilmiş matrislerin oluşturulmasıdır. Normalleştirilmiş matris, her bir sütun değerinin ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile elde edilir.

Normalleştirilmiş matristen hareketle, her bir sıra değerlerinin ortalaması alınır. Elde edilen bu değerler, her bir kriter için yüzde önem ağırlıklarıdır.

Karar vericinin kriterler arasında kıyaslama yaparken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için Tutarlılık Oranını (T.O.) hesaplaması gerekir. Bu hesaplamada n kriter sayısına bağlı olarak rassal indeks sayıları kullanılır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değer 0.10'un altında ise, oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır. Aksi durumda karar matrisi tekrar düzenlenmelidir.

Tutarlılık oranı;

$Aw = \lambda_{\max} w$ özdeğer probleminin çözümü elde edildikten sonra

$T.I = (\lambda_{\max} - n) / n - 1$ tutarlılık göstergesi hesaplanıp ardından $T.O = (T.I) / (R.I)$ işleminin yapılması ile elde edilir [30]. Çizelge 4.2'de Rassal İndeks değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 Rassal İndeks (R.I)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Bir hiyerarsinin herhangi bir seviyesindeki $C_1, \dots, C_n$ kriterlerini dikkate alalım. Bu kriterlerin bir üst seviyede herhangi bir kriter üzerindeki $w_1, w_2, \dots, w_n$ ağırlıklarını bulmak isteyelim. İkili karşılaştırma kararlarımızı temsil eden A matrisinin a_{ij} elemanları, C_i kriterinin C_j ile karşılaştırıldığındaki önemini gösterir. Tutarlı bir matris durumunda bütün karşılaştırmalar kesin ölçümlere dayanır yani $w_1, w_2, \dots, w_n$ ağırlıkları bilinmektedir. O halde

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (4.1)$$

ve

$$a_{ij} a_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \cdot \frac{w_j}{w_k} = a_{ik}, \quad a_{ji} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{w_i/w_j} = \frac{1}{a_{ij}} \text{ 'dir. (4.1)'de verilen eşitlikten,}$$

$$a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = 1 \quad i, j = 1, \dots, n \text{ ve sonuç olarak}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \frac{1}{w_i} = n \quad i = 1, \dots, n \text{ ya da}$$

$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = w_i n \quad i = 1, \dots, n$ elde edilir. Bu da $Aw = nw$ demektir. Bu formül matris teorisinde w 'nin A matrisinin n 'ye karşılık gelen öz vektörünü ifade eder [32].

c. Önceliklerin Hesaplanması

AHP'nin son adımı kriterlerin ağırlıkları ile alternatiflerin ağırlıklarının çarpımı ve her bir alternatife ait öncelik değerinin elde edilmesidir. Alternatiflerin öncelik değerlerinin toplamı 1'e eşittir. En yüksek değere sahip alternatif, karar problemimiz için en iyi tercihtir.

4.3 AHP ile Örnek Bir Uygulama

Baltalar Mobilya firması, üretimini artırmak için yeni bir fabrika yeri belirlemek istemektedir [33].

Baltalar Mobilya'nın kararına etkileyecek 4 kriteri bulunmaktadır:

1. Emlâk fiyatı
2. Tedarikçilere uzaklığı
3. Seçilecek yerdeki işgücünün kalitesi
4. İşçilik maliyeti.

Firmanın bu kriterler altında değerlendirmeye aldığı A, B ve C alternatif konumları bulunmaktadır.

İlk olarak kriterlerin alternatiflere göre karşılaştırmaları yapılmış ardından aşağıdaki karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Örnek olarak elde edilen fiyat matrisini okuyalım: Emlâk fiyatı açısından A ve C yerleşimleri eşit önem verilerek tercih edilmiş, ancak B'ye göre daha üstün tutulmuştur.

	A	B	C
A	1	3	1
B	1/3	1	1/5
C	1	5	1

Emlak Fiyatı

	A	B	C
A	1	6	1/3
B	1/6	1	1/9
C	3	9	1

Tedarikçi Yakınlığı

	A	B	C
A	1	1/3	1
B	3	1	5
C	1	1/5	1

İş Gücü Rezervi

	A	B	C
A	1	1/3	1/2
B	3	1	3
C	2	1/3	1

İş Gücü Maliyeti

Firma için en iyi olan alternatif belirlenirken yukarıda elde edilen matrislerden sonra AHP yönteminin ikinci adımını uygulayalım ve emlak fiyatı için oluşturulan karşılaştırma matrisi ile başlayalım.

Emlak Fiyatı

	A	B	C
A	1	3	1
B	1/3	1	1/5
C	1	5	1

İlk olarak aşağıda gösterildiği gibi her bir sütunun toplamını aşağıdaki işlem ile elde ederiz.

$$[1 \ 1 \ 1] \times \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/5 \\ 1 & 5 & 1 \end{bmatrix} = [7/3 \ 9 \ 11/5]$$

Ardından sütunların her bir elemanını elde edilen sütun toplamına böleriz. Oluşan bu yeni matriste, her sütunun toplamı 1'e eşit olacaktır.

Emlak Fiyatı			
	A	B	C
A	$1 \div 7/3 = 3/7$	$3 \div 9 = 3/9$	$1 \div 11/5 = 5/11$
B	$1/3 \div 7/3 = 1/7$	$1 \div 9 = 1/9$	$1/5 \div 11/5 = 1/11$
C	$1 \div 7/3 = 3/7$	$5 \div 9 = 5/9$	$1 \div 11/5 = 5/11$
	1	1	1

Sonra kesirleri ondalıklara dönüştürüp her satırın toplamını üçe bölerek ortalamasını hesaplarız.

Emlak Fiyatı				
	A	B	C	Satır Ortalaması
A	0.4286	0.3333	0.4546	$1.2165 \div 3 = 0,4055$
B	0.1428	0.1111	0.0910	$0.3449 \div 3 = 0,1150$
C	0.4286	0.5555	0.4546	$1.4387 \div 3 = 0,4796$
	1			

Diğer 3 kriter için de ilk üç aşamayı tekrar ederek satır ortalamalarını bulup aşağıdaki matrise ulaşıyoruz.

Yerleşim	Emlak Fiyatı	Tedarikçi Yakınlığı	İş Gücü Rezervi	İş Gücü Maliyeti
A	0.4055	0.2819	0.1867	0.1593
B	0.115	0.0598	0.6555	0.5889
C	0.4796	0.6583	0.1578	0.2519

Seçilecek yer alternatiflerini elimizdeki kriterlere göre karşılaştırarak bir matris oluştururuz. Aynı adımları takip ederek, kriterlerin kendi aralarındaki önem sırasını da belirlememiz gerekmektedir. Burada ilk adımda yaptığımız gibi, Satty'nin 1-9 skalasını kullanarak aşağıda gösterilen matrisimizi oluştururuz.

Kriterler	Emlak Fiyatı	Tedarikçi Yakınlığı	İş Gücü Rezervi	İş Gücü Maliyeti
Emlak Fiyatı	1	1/5	3	4
Tedarikçi Yakınlığı	2	1	9	7
İş Gücü Rezervi	1/3	1/9	1	1
İş Gücü Maliyeti	1/4	1/7	1	1

Fabrika yeri (A,B,C) seçiminde takip ettiğimiz adımları bu matris için de tekrar ederek aşağıdaki tabloda bulunan değerlerden oluşan matrisi elde ederiz.

Kriterler	Emlak Fiyatı	Tedarikçi Yakınlığı	İş Gücü Rezervi	İş Gücü Maliyeti	Satır Ortalaması
Emlak Fiyatı	0.1519	0.1376	0.2143	0.3077	0.2029
Tedarikçi Yakınlığı	0.7595	0.6878	0.6429	0.5385	0.6571
İş Gücü Rezervi	0.0506	0.0764	0.0714	0.0769	0.0689
İş Gücü Maliyeti	0.0380	0.0983	0.0714	0.0769	0.0711

Satır ortalamasını ayrı olarak aldığımızda fabrika yeri seçiminde bizim için tedarikçiye olan yakınlık karar verici(ler) için oldukça önemlidir. Tedarikçiye yakınlığı emlak fiyatı, işgücü maliyeti ve işgücü rezervi takip etmektedir.

Kriterler	Ağırlık
Emlak Fiyatı	0.2029
Tedarikçi Yakınlığı	0.6571
İş Gücü Rezervi	0.0689
İş Gücü Maliyeti	0.0711

Son olarak, elde ettiğimiz iki matrisin biri yer alternatiflerinin değerlendirme kriterlerimiz için ağırlığını, diğeri ise kriterlerimizin kendi aralarındaki ağırlıklarını göstermektedir.

Yerleşim	Emlak Fiyatı	Tedarikçi Yakınlığı	İş Gücü Rezervi	İş Gücü Maliyeti	Kriterler	Ağırlık
A	0.4055	0.2819	0.1867	0.1593	Emlak Fiyatı	0.2029
B	0.1150	0.0598	0.6555	0.5889	Tedarikçi Yakınlığı	0.6571
C	0.4796	0.6583	0.1578	0.2519	İş Gücü Rezervi	0.0689
					İş Gücü Maliyeti	0.0711

Son adım, yer alternatifleri matrisindeki her alternatifin, her kriter bazındaki değerini o kriterin ağırlık puanıyla çarparak bulunduğu satırı toplamak olacaktır.

A	$0.4055 \times 0.2029 + 0.2018 \times 0.6571 + 0.1867 \times 0.0689 + 0.1593 \times 0.0711 = 0.2917$
B	$0.1150 \times 0.2029 + 0.0598 \times 0.6571 + 0.6555 \times 0.0689 + 0.5889 \times 0.0711 = 0.1497$
C	$0.4796 \times 0.2029 + 0.6583 \times 0.6571 + 0.1578 \times 0.0689 + 0.2519 \times 0.0711 = 0.5586$

Sonuç:

Yerleşim	Puan
A	0.2917 %29,17
B	0.1497 %14,97
C	0.5586 %55,86
	1 %100

AHP metodunun sonunda, elimizdeki yer alternatiflerinin kendi arasında ağırlıkları elde edilmiştir. Ağırlıklar sıralandığında, firma için yeni fabrika yeri olarak **C** alternatifinin seçilmesi en iyi tercih olacaktır.

4.4 AHP'nin Uygulama Alanları

AHP'den pratikte çeşitli alanlarda yararlanılmaktadır. Şirketlerin planlama ve bütçeleme problemlerinde, eğitim sektöründe, kara, hava ve deniz kuvvetlerinde araç ve ekipman seçiminde [33], işletmelerin müşteri ilişkilerine ve reklam kampanyalarına yönelik politikalarının belirlenmesinde, ürün pazarlama politikalarının belirlenmesinde, yeni ürün geliştirme, strateji planlama gibi daha birçok alanda AHP'den faydalanılmaktadır.

BÖLÜM 5

ÇOK AŞAMALI ÇOK AMAÇLI TEDARİK ZİNCİRİNE BULANIK BİR YAKLAŞIM

Tedarik zinciri üzerinde yapılan çalışmalar çok zengin bir literatüre sahiptir. Matematiksel modellerin TZ'yi ele alması TZY kavramının önemini giderek artırmaktadır.

Uygulamamızda Çok Aşamalı Çok Amaçlı Tedarik Zinciri (ÇAÇATZ) için karma tam sayılı lineer bir model sunduk ve bu model yardımıyla çok aşamalı TZ ağında depo ve dağıtım merkezlerinin yerleşim yerleri ve müşteri taleplerini karşılayacak şekilde ürün dağıtım miktarlarının kararlarını verdik. Çok amaçlı lineer matematiksel modelimize Zimmermann'ın “min” operatörünü kullanarak bulanık bir yaklaşım ile çözüm ürettik.

Çok amaçlı lineer bir modelin genel yapısı aşağıdaki şekilde verilebilir;

$$\begin{aligned} \min \quad & Z_1, Z_2, \dots, Z_{\bar{n}}, \\ \max \quad & Z_{\bar{n}+1}, Z_{\bar{n}+2}, \dots, Z_N, \\ & x \in X_d \end{aligned}$$

Burada $Z_1, Z_2, \dots, Z_{\bar{n}}$; maliyet, dağıtım zamanı vb. gibi minimizasyon yönünde çalışan amaçlar ve $Z_{\bar{n}+1}, Z_{\bar{n}+2}, \dots, Z_N$ kalite, zamanında teslimat, satış sonrası hizmet gibi maksimizasyon yönünde çalışan amaçlardır. X_d ise uygun çözümler bölgesidir [27].

Uygulamamızda ele aldığımız ÇAÇATZ ağı; tedarikçiler-fabrikalar-depolar-dağıtım merkezleri-müşteri merkezleri şeklindedir. Fabrikalardan temin edilen ürün talep miktarları doğrultusunda uygun tesis yerleri seçilerek müşteriye ulaştırılmaktadır. Bu ÇAÇATZ ağı için oluşturulan çok amaçlı modelin kabulleri, indis kümesi, karar değişkenleri ve parametreleri aşağıda verilmiştir.

5.1 Kabuller

Kurduğumuz çok amaçlı lineer model aşağıdaki kabulleri içermektedir.

1. Tüm amaç ve kısıtlar doğrusaldır.
2. Fabrikaların ve müşteri merkezlerinin konumları belirlidir.
3. Taşıma-elleçleme-depolama birim maliyetleri ve tesisler arası mesafeler planlama dönemi boyunca belirlidir ve sabittir.
4. Depoların ve dağıtım merkezlerinin bölgelere göre kurulum maliyetleri belirlidir.
5. Tahmini talep bilinen olasılıklar altında en düşük seviyede, orta seviyede ve yüksek seviyede talepler olarak belirlidir.
6. Miktar indirimi dikkate alınmamıştır.
7. Stoklama durumu dikkate alınmamıştır.
8. Zaman parametresi dikkate alınmamıştır.

5.2 Modelin Matematiksel Yapısı

Bir önceki bölümde çok amaçlı lineer bir modelin genel yapısını vermiştik. Yukarıdaki kabuller doğrultusunda modelimizin genel matematiksel yapısını verelim.

İndis Kümesi

p : Fabrika indisi	$p = 1, 2, \dots, P$
w : Depo indisi	$w = 1, 2, \dots, w', w' + 1, \dots, w'', w'' + 1, \dots, W$
d : Dağıtım merkezi indisi	$d = 1, 2, \dots, d', d' + 1, \dots, d'', d'' + 1, \dots, D$
c : Müşteri merkezi indisi	$c = 1, 2, \dots, C$

İkili Değişkenler

$$y_w = \begin{cases} 1, & w. \text{ deponun aday konumda kurulması durumunda} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$
$$y_d = \begin{cases} 1, & d. \text{ dağıtım merkezinin aday konumda kurulması durumunda} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

$$x_{pw} = \begin{cases} 1, & p. \text{ fabrikadan } w. \text{ depoya yol varsa} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$

$$x_{wd} = \begin{cases} 1, & w. \text{ fabrikadan } d. \text{ dağıtım merkezine yol varsa} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$

$$x_{dc} = \begin{cases} 1, & d. \text{ dağıtım merkezinden } c. \text{ müşteri merkezine yol varsa} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases},$$

Sürekli Değişkenler

q_{pw} : p . fabrikadan w . depoya taşınanan ürün miktarı

q_{wd} : w . depodan d . dağıtım merkezine taşınan ürün miktarı

q_{dc} : d . dağıtım merkezinden c . müşteri merkezine giden ürün miktarı

m_p : p . fabrikada üretilen ürün miktarı

Parametreler

a_w : w .deponun kapasitesi

b_d : d .dağıtım merkezinin kapasitesi

t_c : c . müşteri merkezinin talep miktarı

f_p : p .fabrikanın üretim kapasitesi

c_w^{wh} : w .deponun kurulum maliyeti

c_d^{dc} : d .dağıtım merkezinin kurulum maliyeti

c_p : p .fabrikanın birim ürün üretim maliyeti

c_w^h : w .deponun birim ürün elleçleme maliyeti

c_d^h : d .deponun birim ürün elleçleme maliyeti

c_{pw}^t : p .fabrikadan w .depoya birim ürün taşıma maliyeti

c_{wd}^t : w .depodan d .dağıtım merkezine birim ürün taşıma maliyeti

c_{dc}^t : d .dağıtım merkezinden c .müşteri merkezine birim ürün taşıma maliyeti

M_i ($i = 1, 2, \dots, 5$): kısıtların sağlanması için belirlenmiş sayıdır.

Negatif Olmama Şartları

$$q_{pw} \geq 0 \quad \forall p, w$$

$$q_{wd} \geq 0 \quad \forall w, d$$

$$q_{dc} \geq 0 \quad \forall d, c$$

$$m_p \geq 0 \quad \forall p$$

Depo ve Dağıtım Merkezlerinin Kuruluş Kısıtları

$$\sum_{w=1}^{w'} x_w \geq 1 \quad (5.1)$$

$$\sum_{w'+1}^{w''} x_w \geq 1 \quad (5.2)$$

$$\sum_{w''+1}^W x_w \geq 1 \quad (5.3)$$

$$\sum_{d=1}^{d'} y_d \geq 1 \quad (5.4)$$

$$\sum_{d'+1}^{d''} y_d \geq 1 \quad (5.5)$$

$$\sum_{d''+1}^D y_d \geq 1 \quad (5.6)$$

Ulaşım Kısıtları

$$q_{pw} \leq M_1 \cdot x_{pw} \quad \forall p, w \quad (5.7)$$

$$q_{wd} \leq M_2 \cdot x_{wd} \quad \forall w, d \quad (5.8)$$

$$q_{dc} \leq M_3 \cdot x_{dc} \quad \forall w, d \quad (5.9)$$

Dağıtımın Denge Kısıtları

$$m_p = \sum_{w=1}^W q_{pw} \quad \forall p \quad (5.10)$$

$$\sum_{p=1}^P q_{pw} = \sum_{d=1}^D q_{wd} \quad \forall w \quad (5.11)$$

$$\sum_{w=1}^W q_{wd} = \sum_{c=1}^C q_{dc} \quad \forall d \quad (5.12)$$

$$\sum_{d=1}^D q_{dc} = t_c \quad \forall c \quad (5.13)$$

$$0 \leq m_p \leq f_p \quad \forall p \quad (5.14)$$

Depoların ve Dağıtım Merkezlerinin Kapasite Kısıtları

$$\sum_{p=1}^P q_{pw} \leq M_4 \cdot y_w \quad \forall w \quad (5.15)$$

$$\sum_{w=1}^W q_{wd} \leq M_5 \cdot y_d \quad \forall d \quad (5.16)$$

Yapısal Kısıtlar

$$x_{pw} \leq y_w \quad \forall p, w \quad (5.17)$$

$$x_{wd} \leq y_w \quad \forall w, d \quad (5.18)$$

$$x_{wd} \leq y_d \quad \forall w, d \quad (5.19)$$

$$x_{dc} \leq y_d \quad \forall d, c \quad (5.20)$$

$$\sum_p x_{pw} \geq y_w \quad \forall w \quad (5.21)$$

$$\sum_d x_{wd} \geq y_d \quad \forall d \quad (5.22)$$

$$\sum_c x_{dc} \geq y_d \quad \forall d \quad (5.23)$$

Amaç Fonksiyonları

i. Depo ve Dağıtım Merkezleri Kuruluş Maliyetleri

$$\sum_{w=1}^W c_w^{wh} \cdot y_w + \sum_{d=1}^D c_d^{dc} \cdot y_d \quad (5.24)$$

ii. Üretim Maliyeti

$$\sum_{p=1}^P c_p \cdot m_p \quad (5.25)$$

iii. Ürünün Elleçleme Maliyetleri

$$\sum_{p=1}^P \sum_{w=1}^W c_w^h \cdot q_{pw} + \sum_{w=1}^W \sum_{d=1}^D c_d^h \cdot q_{wd} \quad (5.26)$$

iv. Taşıma Maliyeti

$$\sum_{w=1}^W \sum_{d=1}^D c_{pw}^t \cdot q_{pw} + \sum_{w=1}^W \sum_{d=1}^D c_{wd}^t \cdot q_{wd} + \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C c_{dc}^t \cdot q_{dc} \quad (5.27)$$

i-iv ile verilmiş olan maliyet fonksiyonları birleştirilerek genel maliyet minimizasyonu amacı aşağıdaki şekilde elde edilir.

1. Amaç Fonksiyonu

Bu amaç fonksiyonu toplam maliyet minimizasyonu yapmaktadır.

$$\begin{aligned} \min & \sum_{w=1}^W c_w^{wh} \cdot y_w + \sum_{d=1}^D c_d^{dc} \cdot y_d + \sum_{p=1}^P c_p \cdot m_p + \sum_{p=1}^P \sum_{w=1}^W c_w^h \cdot q_{pw} + \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D c_d^h \cdot q_{wd} + \sum_{p=1}^P \sum_{w=1}^W c_{pw}^t \cdot q_{pw} + \sum_{w=1}^W \sum_{d=1}^D c_{wd}^t \cdot q_{wd} \\ & + \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C c_{dc}^t \cdot q_{dc} \end{aligned}$$

2. Amaç Fonksiyonu

Bu amaç fonksiyonu ise depo ve dağıtım merkezleri kurulması planlanan bölgeler içerisinde reyting puanı yüksek olan depolar ve dağıtım merkezlerinden geçecek ürün miktarını maksimize etmeyi amaçlamaktadır.

$$\max \sum_{w=1}^W e_w \sum_{p=1}^P q_{pw} + \sum_{d=1}^D e_d \sum_{w=1}^W q_{wd}$$

(5.1)-(5.3) numaralı kısıtlar bölgelerin herbirisinde en az birer tane depo kurulmasını, (5.4)-(5.6) numaralı kısıtlar ise bölgelerin herbirinde en az birer tane dağıtım merkezi kurulmasını garantiler. (5.7)-(5.9) numaralı kısıtlar fabrika-depo-dağıtım merkezi-müşteri merkezleri arasındaki ürün akış miktarlarını ilgili yolun optimal dağılımında olup olmadığını gösteren ikili değişkenlere bağlayan kısıtlardır. Bu kısıtlar sayesinde bir yol mevcut olmadığında o yoldan taşıma yapılmayacaktır. (5.10) numaralı kısıt her bir fabrikada üretilen ürün miktarının depolara dağıtılacak ürün miktarına eşitliğini sağlamaktadır. (5.11), (5.12), (5.13) numaralı kısıtlar fabrika-depo-dağıtım merkezi-müşteri merkezi arasında ürün akışının stoklanmadan iletimini garantiler. (5.14) fabrikaların üretim kapasitelerinin üst sınırını göstermektedir. (5.15)-(5.16) numaralı kısıtlar depolara gelen toplam ürün miktarı ve dağıtım merkezlerine gelen toplam ürün miktarının depo ve dağıtım merkezlerinin kapasitesini aşamayacağını gösterir. (5.17)-(5.20) arasındaki kısıtlar tedarik zinciri ağındaki fabrikalar-depolar, depolar-dağıtım merkezleri, dağıtım merkezleri-müşteriler arasındaki yolların, depolar ve dağıtım merkezlerinin kurulması durumunda var olacağını ifade etmektedir. (5.21) depoların kurulması durumunda en az bir fabrikadan ilgili depoya yolun varlığını sağlar. Aynı şekilde (5.22)-(5.23) numaralı kısıtlarda sırası ile; dağıtım merkezlerinin kurulması durumunda depolardan en az bir yolun ilgili dağıtım merkezi için varlığını, kurulan dağıtım merkezlerinden en az bir müşteri merkezine yolun varlığını ifade eder. (5.24) depo ve dağıtım merkezlerinin kurulum maliyetini, (5.25) üretim maliyetini, (5.26) ürünlerin elleçleme maliyetlerini, (5.27) ürünlerin taşıma maliyetini ifade eder.

5.3 Uygulama

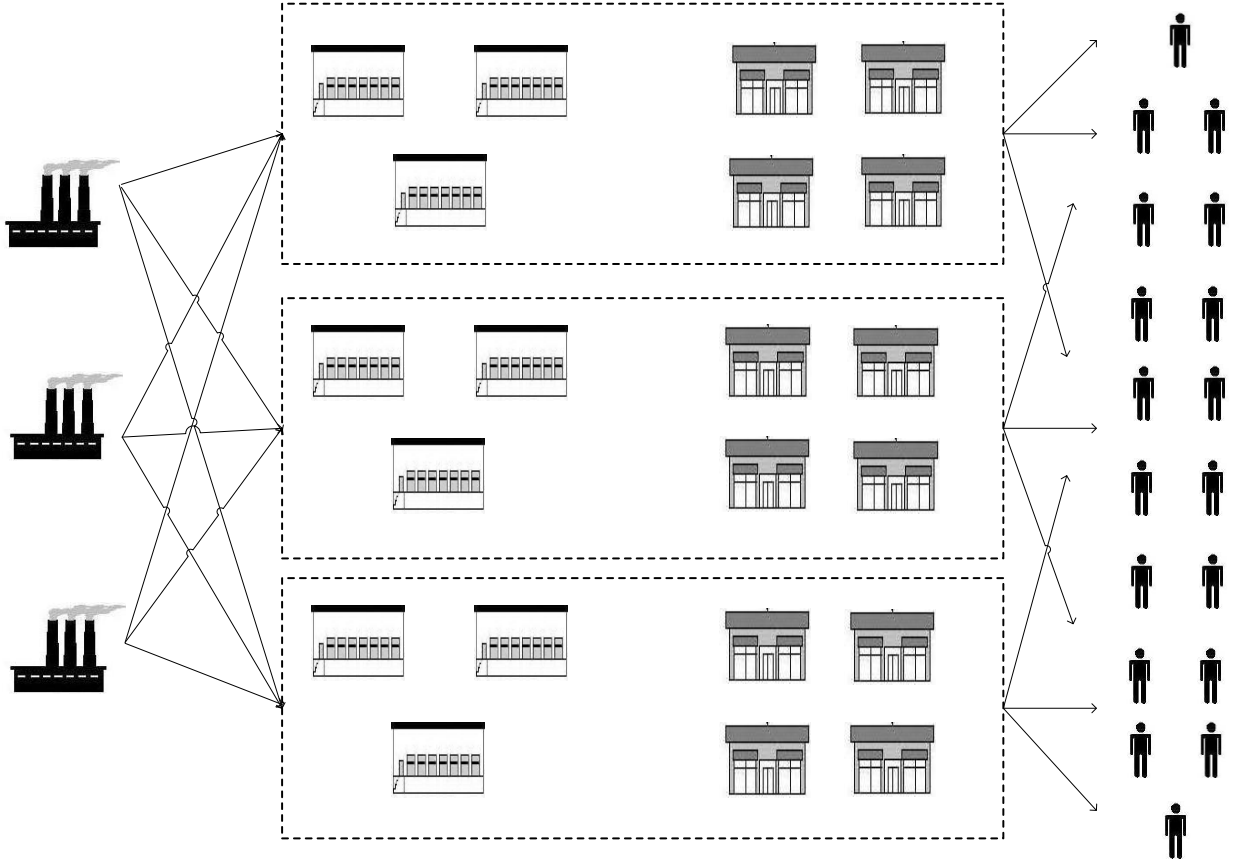
i. Problemin Tanımı

X temizlik malzemeleri üretip pazarlayan bir firmadır. İstanbul ilinde üretim yapan üç fabrikası için üç bölgede, belirli kriterler altında depo ve dağıtım merkezleri kurmak istemektedir. Bu bölgelerin her birisinde firma tarafından üçer adet depo ve dörder adet dağıtım merkezi aday konumları belirlemiştir. Firma için depo ve dağıtım merkezi kurulacak bölgelerin kendi içlerinde avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Firma bu avantajları ve dezavantajları değerlendirerek belirlediği bölgelerde, depolara ve dağıtım merkezlerine reyting puanları atayıp ürünü müşteri merkezlerine taşıırken firma için avantajlı konumda bulunan depolar ve dağıtım merkezlerinden maksimum ürün akışı sağlamayı ve müşteri merkezlerine en az maliyetle ürünü teslim etmeyi planlamaktadır. Şekil 5.1’de firmanın TZ ağındaki fabrikalar, aday depo konumları, aday dağıtım merkezi konumları temsili bir haritada gösterilmiştir.



Şekil 5.1 X Firmasının Tedarik Zinciri Ağı (Aday Depo Konumları ve Aday Dağıtım Merkezleri dahil)

Şekil 5.2’de ise şirketin TZ ağı yapısı verilmiştir.



Şekil 5.2 Firmanın Genel Tedarik Zinciri Ağı

ii.AHP ile Reytinglerin Belirlenmesi

X firması İstanbul ilinde kuracağı depolar ve dağıtım merkezleri için belirli kriterler doğrultusunda üç bölgede depolar ve dağıtım merkezleri için aday konumlar belirlemiştir. Bölgelere ve bölgelerdeki aday konumlara kendi aralarında AHP ile reyting atanmış ardından depo aday konumları ve dağıtım merkezi aday konumları için bir final reyting puanı hesaplanmıştır. AHP metodu uygulaması SuperDecisions programı yardımı ile yapılmıştır.

Firma depolar için bölgeleri değerlendirirken aşağıdaki kriterleri göz önüne almaktadır.

1. Teşvik
2. Ulaşım (Fabrikalara uzaklık)
3. İşçilik Maliyeti

Örnek olarak teşvik kriteri altında firmanın depo kurmayı planladığı bölgelerin karşılaştırma matrisini verelim.

Teşvik			
	Bölge 1	Bölge 2	Bölge 3
Bölge 1	1	3	1/2
Bölge 2	1/3	1	1/2
Bölge 3	2	2	1

Bu şekilde diğer kriterler altında SuperDecisions programı çalıştırılarak gerekli adımlar uygulandığında bölgelerin reyting puanları;

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Bölge 1		1.000000	0.442187	0.221094
Bölge 2		0.385060	0.170268	0.085134
Bölge 3		0.876426	0.387544	0.193772

şeklinde elde edilir. Reyting değerleri yuvarlama yapılarak değerlendirildiğinde bir nolu bölgenin reyting puanı 0.44, iki nolu bölgenin reyting puanı 0.17 ve üç nolu bölgenin reyting puanı 0.39 olmaktadır.

Bölgelerdeki depoların kendi aralarındaki reyting puanlarını aşağıdaki üç kriter göz önünde bulundurarak SuperDecisions programı yardımı ile hesaplayalım. Bölgelere kurulması planlanan depolar için aşağıdaki üç kriter göz önüne alınmaktadır.

1. Vergi
2. İşçi maliyeti
3. Prestij

Bu kriterler doğrultusunda SuperDecisions programında karşılaştırmalar yapıldığında bir nolu bölgedeki depolar için reyting puanları;

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Depo 1		0.876051	0.336318	0.168159
Depo 2		0.728775	0.279779	0.139889
Depo 3		1.000000	0.383903	0.191951

şeklinde olur. Bir nolu bölgede kurulması planlanan depo 1'in reyting puanı 0.34, depo 2'nin 0.28, depo 3'ün 0.38 olur.

Depoların kendi aralarındaki reyting puanları hesaplandıktan sonra her bir depo için final reyting puanı bir nolu bölgenin reyting puanı ile deponun reyting puanı çarpılarak hesaplanır. Bir nolu bölgedeki reyting puanını ve bu bölgedeki depoların final reyting puanları;

$$0.44 \cdot \begin{bmatrix} 0.34 \\ 0.28 \\ 0.38 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.15 \\ 0.12 \\ 0.16 \end{bmatrix} \text{ olur. Sırası ile depo 1, depo 2, depo 3 final reyting puanları } 0.15, 0.12, 0.16 \text{ 'dir.}$$

İki nolu bölgede bulunan depoların yukarıda verilen kriterler doğrultusunda reyting puanları hesaplandığında aşağıdaki sonuç elde edilir.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Depo 1		1.000000	0.384482	0.192241
Depo 2		0.777511	0.298939	0.149469
Depo 3		0.823394	0.316580	0.158290

Yukarıda yaptığımız işlemi bu bölgedeki depoların final reyting puanlarını bulmak için yaptığımızda;

$$0.17 \cdot \begin{bmatrix} 0.38 \\ 0.30 \\ 0.32 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.07 \\ 0.05 \\ 0.05 \end{bmatrix} \text{ elde edilir. Sırasıyla depo 1, depo 2, depo 3 final reyting puanları } 0.07, 0.05, 0.05 \text{ olur.}$$

Üç nolu bölgedeki depoların reytingleri;

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Depo 1		0.829284	0.333513	0.166756
Depo 2		0.657230	0.264318	0.132159
Depo 3		1.000000	0.402169	0.201085

şeklinde olur. Üç nolu bölgenin reyting puanı ile bu bölgedeki depoların reyting puanları çarpıldığında;

$$0.39 \cdot \begin{bmatrix} 0.34 \\ 0.26 \\ 0.40 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.14 \\ 0.10 \\ 0.16 \end{bmatrix} \text{ sonucu elde edilir.}$$

Üç bölgedeki depolar için elde edilen final reyting puanları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

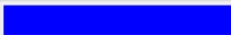
Çizelge 5.1 Depoların Reyting Değerleri

	Depo 1	Depo 2	Depo 3
Bölge 1	0.15	0.12	0.16
Bölge 2	0.06	0.05	0.05
Bölge 3	0.14	0.10	0.16

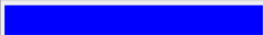
Aynı işlemleri aday dağıtım merkezi konumları için uyguladığımızda sırası ile bir nolu bölgedeki dağıtım merkezlerinin reyting puanları;

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Dağıtım Merkezi 1		1.000000	0.374996	0.187498
Dağıtım Merkezi 2		0.391629	0.146859	0.073430
Dağıtım Merkezi 3		0.437133	0.163923	0.081962
Dağıtım Merkezi 4		0.837935	0.314222	0.157111

şeklinde olur. İki nolu bölgedeki dağıtım merkezleri için reyting puanları;

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Dağıtım Merkezi 1		0.763183	0.240491	0.120245
Dağıtım Merkezi 2		0.909485	0.286593	0.143296
Dağıtım Merkezi 3		1.000000	0.315116	0.157558
Dağıtım Merkezi 4		0.500770	0.157800	0.078900

olur ve son olarak üç nolu bölgedeki dağıtım merkezleri için reyting puanları;

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Dağıtım Merkezi 1		0.859361	0.304573	0.152286
Dağıtım Merkezi 2		0.631034	0.223650	0.111825
Dağıtım Merkezi 3		1.000000	0.354418	0.177209
Dağıtım Merkezi 4		0.331132	0.117359	0.058680

şeklinde olur.

Dağıtım merkezlerinin final reyting puanları bir nolu bölgede;

$$0.44 \cdot \begin{bmatrix} 0.38 \\ 0.15 \\ 0.16 \\ 0.31 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.17 \\ 0.07 \\ 0.07 \\ 0.14 \end{bmatrix}$$

şeklinde olur. İki nolu bölgedeki dağıtım merkezlerinin final reyting puanları;

$$0.17 \cdot \begin{bmatrix} 0.24 \\ 0.29 \\ 0.31 \\ 0.16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.04 \\ 0.05 \\ 0.05 \\ 0.03 \end{bmatrix}$$

ve üç nolu bölgedeki dağıtım merkezlerinin final reyting puanları;

$$0.39 \cdot \begin{bmatrix} 0.31 \\ 0.22 \\ 0.35 \\ 0.12 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.12 \\ 0.09 \\ 0.13 \\ 0.04 \end{bmatrix} \text{ şeklinde elde edilir.}$$

Bu değerler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Dağıtım Merkezlerinin Reyting Değerleri

	DM1	DM2	DM3	DM4
Bölge 1	0.17	0.07	0.07	0.14
Bölge 2	0.04	0.05	0.05	0.03
Bölge 3	0.12	0.09	0.13	0.04

iii.Probleme Ait Veriler

Uygulamamıza ait sayısal veriler $P = 1, 2, 3$; $w = \overline{1,9}$; $d = \overline{1,12}$; $w' = \overline{1,3}$; $w'' = \overline{4,6}$; $w''' = \overline{7,9}$; $d' = \overline{1,4}$; $d'' = \overline{5,8}$; $d''' = \overline{8,12}$ ve probleme ait veriler Çizelge 5.3-5.9 ve EK-A, EK-B, EK-C’de verilmiştir. Depoların kapasite sınırı 5000 ve dağıtım merkezlerinin kapasite sınırı 4000 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.3 Fabrikaların Üretim Kapasitesi

Fabrika 1	20000
Fabrika 2	15000
Fabrika 3	25000

Çizelge 5.4 Depoların Kurulum Maliyetleri

Depo 1	15000
Depo 2	17000
Depo 3	14000
Depo 4	18000
Depo 5	16000
Depo 6	15000
Depo 7	17500
Depo 8	16000
Depo 9	17000

Çizelge 5.5 Dağıtım Merkezleri Kurulum Maliyetleri

Dağıtım Merkezi 1	20000
Dağıtım Merkezi 2	22000
Dağıtım Merkezi 3	21000
Dağıtım Merkezi 4	22000
Dağıtım Merkezi 5	24000
Dağıtım Merkezi 6	23000
Dağıtım Merkezi 7	21000
Dağıtım Merkezi 8	22000
Dağıtım Merkezi 9	23000
Dağıtım Merkezi 10	21000
Dağıtım Merkezi 11	20000
Dağıtım Merkezi 12	23000

Çizelge 5.6 Depoların[D] Birim Ürün Elleçleme Maliyetleri

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
4	3	5	4	5	5	6	4	6

Çizelge 5.7 Dağıtım Merkezleri[DM] Birim Ürün Elleçleme Maliyetleri

DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6	DM7	DM8	DM9	DM10	DM11	DM12
4	3	5	6	2	3	3	4	8	3	4	3

Müşterilerden gelen talep miktarları yüksek miktarda talep, düşük miktarda talep ve orta seviyede talep olmak üzere belirlenip taleplerin gerçekleşme olasılıkları eşit (1/3) alınarak bu üç senaryonun ortak talep miktarı belirlenmiştir. Düşük, orta ve yüksek talep senaryoları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8 Talep Miktarları

Talep Miktarları (Senaryo 1)		Talep Miktarları (Senaryo 2)		Talep Miktarları (Senaryo 3)	
M.Merkezi 1	1500	M.Merkezi 1	2500	M.Merkezi 1	2100
M.Merkezi 2	1800	M.Merkezi 2	2800	M.Merkezi 2	1600
M.Merkezi 3	1000	M.Merkezi 3	2300	M.Merkezi 3	1300
M.Merkezi 4	900	M.Merkezi 4	2800	M.Merkezi 4	1470
M.Merkezi 5	1100	M.Merkezi 5	3900	M.Merkezi 5	2100
M.Merkezi 6	1200	M.Merkezi 6	2700	M.Merkezi 6	1500
M.Merkezi 7	1090	M.Merkezi 7	2500	M.Merkezi 7	2200
M.Merkezi 8	1500	M.Merkezi 8	2600	M.Merkezi 8	1600
M.Merkezi 9	1600	M.Merkezi 9	2200	M.Merkezi 9	1500
M.Merkezi 10	1300	M.Merkezi 10	1300	M.Merkezi 10	1600
M.Merkezi 11	1800	M.Merkezi 11	1900	M.Merkezi 11	1700
M.Merkezi 12	1500	M.Merkezi 12	1800	M.Merkezi 12	1400
M.Merkezi 13	1300	M.Merkezi 13	3200	M.Merkezi 13	1200
M.Merkezi 14	1200	M.Merkezi 14	1300	M.Merkezi 14	1300
M.Merkezi 15	1400	M.Merkezi 15	1400	M.Merkezi 15	1400
M.Merkezi 16	1200	M.Merkezi 16	1500	M.Merkezi 16	900
M.Merkezi 17	1600	M.Merkezi 17	1900	M.Merkezi 17	800
M.Merkezi 18	1500	M.Merkezi 18	2000	M.Merkezi 18	1400

Çizelge 5.9 Birim Ürün Üretim Maliyeti

Fabrika 1	1.00
Fabrika 2	1.25
Fabrika 3	1.10

Fabrikalardan depolara, depolardan dağıtım merkezlerine, dağıtım merkezlerinden müşteri merkezlerine birim taşıma maliyetleri çizelgeleri sırası ile EK-A, EK-B ve EK-C’de verilmiştir.

iv.Çözüm

Parametreleri yukarıda verilen çok amaçlı lineer modelimiz 3.8’de incelediğimiz yaklaşım ile çözülmüştür. Sonuçlar GAMS programı yardımı ile elde edilmiştir. Öncelikle bulanık yaklaşımın uygulanabilmesi için amaçların üyelik fonksiyonları belirlenmiştir.

Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Uygulamamızda lineer üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Ele aldığımız modelde 3 fabrika, 9 aday depo konumu, 12 aday dağıtım merkezi konumu ve 18 müşteri merkezi bulunmakta ve toplam taşıma-üretim-elleçleme-kurulum maliyetlerinin minimizasyonu ile reytingleri yüksek

bölgelerden ve tesislerden ürün geçiş miktarının maksimizasyonu hedeflenmektedir. Yukarıda verilen parametreler uygulama için (5.1)-(5.28) kısıtlarına ve amaç fonksiyonlarına karşılık gelen eşitlikler oluşturularak ÇAÇATZ problemi elde edilir. Üyelik fonksiyonu için amaçların bireysel maksimum ve minimum değerleri Çizelge 2.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 Amaçların Maksimum ve Minimum Değerleri

	min	max
Amaç 1	887425	1496153
Amaç 2	435280	748920

Amaçların Çizelge 2.13'te sınır değerleri kullanılarak oluşturulan $[Z_n^-, Z_n^+], (n=1, 2)$ aralığındaki üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

$$\mu_1(Z_1(x)) = \frac{1496153 - Z_1(x)}{1496153 - 887425},$$

$$\mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x) - 435280}{748920 - 435280}.$$

Buna göre ele alınan uygulamaya karşılık gelen min operatör modeli,

$$\begin{aligned} \max \quad & \lambda \\ 1496153 - Z_1(x) & \geq 608728\lambda \\ Z_2(x) - 435280 & \geq 313640\lambda \\ x & \in X_T \\ 0 \leq \lambda & \leq 1. \end{aligned} \tag{5.28}$$

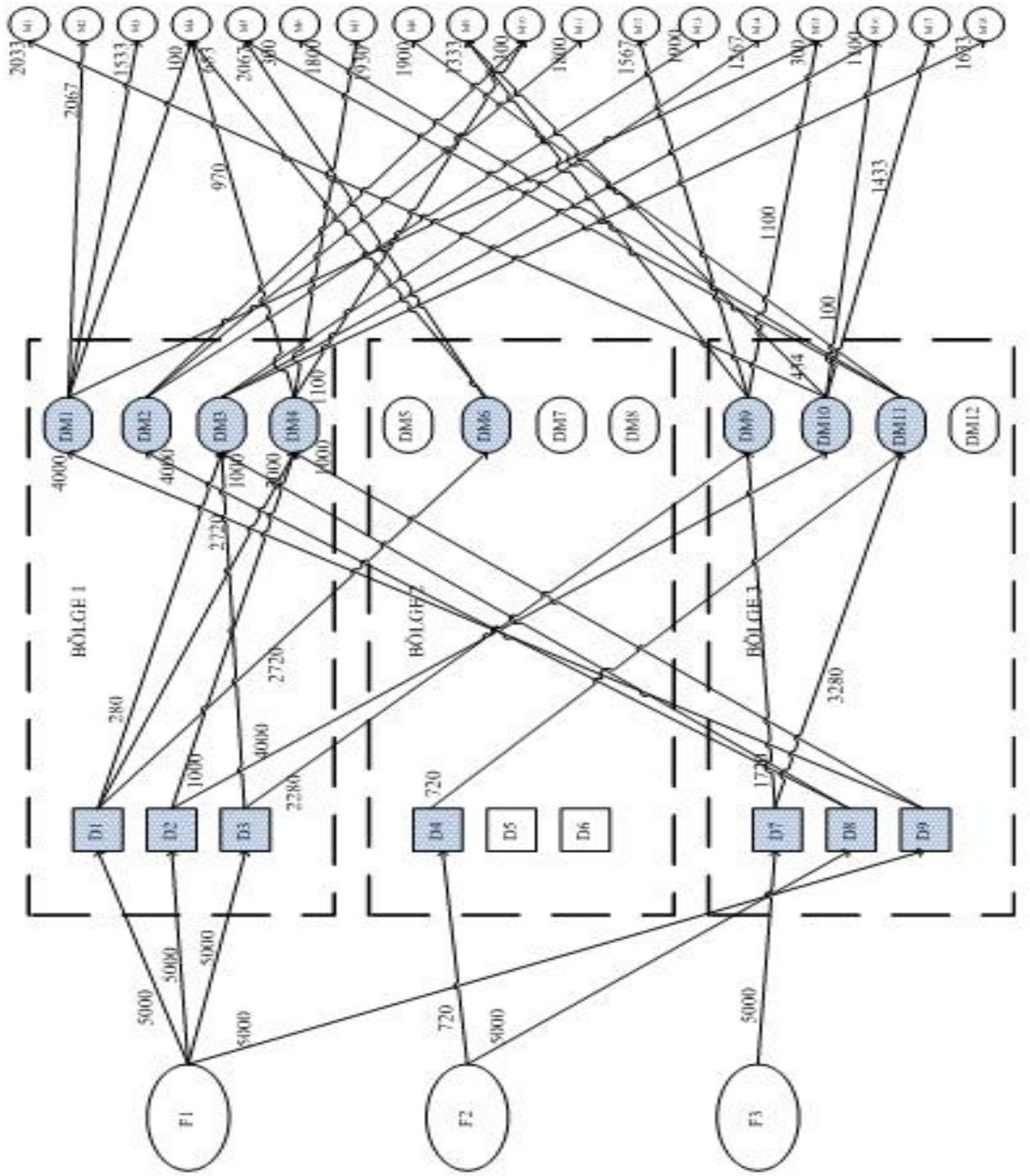
'dir. (5.28) probleminin çözümü aşağıda özetlenmiştir.

Çizelge 5.11 Sayısal Örneğe Ait Modelin Sonuçları

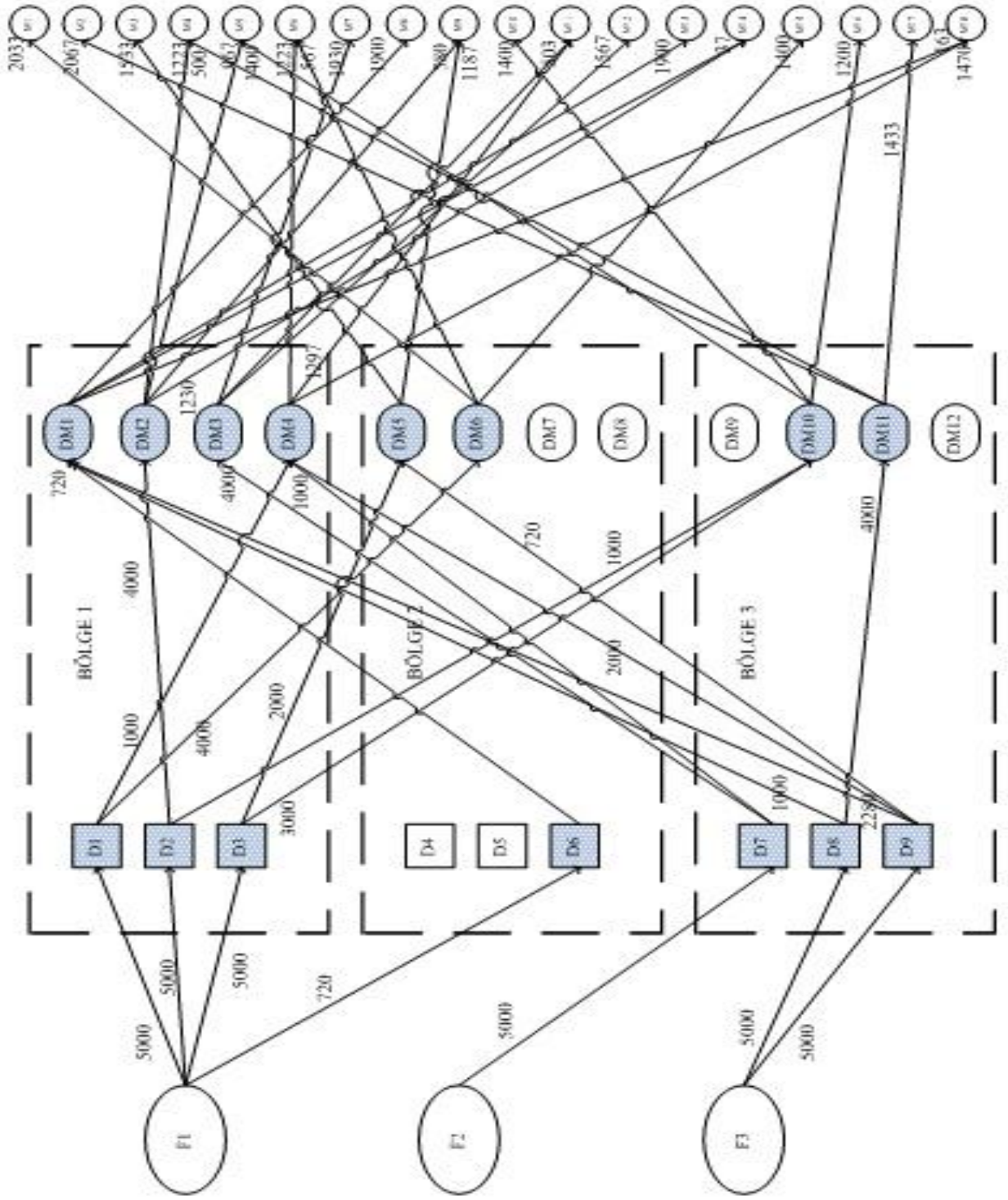
λ	Z_1	Z_2	μ_1	μ_2
0.89975	941480	717480	0.91120	0.89975

Şekil 5.3'te 1. Amaç fonksiyonunun minimizasyonu durumunda elde edilen ÇAÇATZ ağı, Şekil 5.4'te 2. Amaç fonksiyonunun maksimizasyonu durumunda elde edilen ağ yapısı ve son olarak Şekil 5.5'te 1. ve 2. Amaç fonksiyonları altında her iki amacın minimum ortak tatminin maksimum yapıldığı ÇAÇATZ ağı görülmektedir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'ten açıkça görülebileceği gibi her iki amaç doğrultusunda en optimal şekilde tesis kurulum kararları ve

dağıtım kararları verilmiştir. Örneğin 1. Amaç doğrultusunda iki nolu bölgede depo 4 kurulmamış ve bu depodan ürün akışı olmamıştır. 1. Amaç doğrultusunda uygun bölgelerde daha çok depo ve dağıtım merkezleri kurulmuş ve dağıtım kararları maliyet minimizasyonu doğrultusunda verilmiştir. Aynı şekilde 2. Amaç doğrultusunda iki nolu bölgede depo 4 kurulmuş ve reyting maksimizasyon amacı doğrultusunda dağıtım kararları verilmiştir. Her iki amaç dikkate alındığında ise dağıtım miktarları ve kurulum kararları amaçların ortak tatminini maksimum yapacak şekilde sağlanmıştır. Elde edilen son ağ yapısı ve Çizelge 5.11 incelendiğinde 1. Amacın yaklaşık %91 ve 2. Amacın yaklaşık %90 gibi yüksek tatmin oranlarını sağladığı görülmektedir, dolayısıyla bu iki amacın ortak tatmin düzeyi yaklaşık $\lambda = 0,90$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.4 2. Amaç: Reyting Maksimizasyonu Durumunda Elde Edilen ÇAÇATZ Ağı



Şekil 5.5 1.ve 2. Amaç Fonksiyonları Altında Her İki Amaçın Minimum Ortak Tatmininin Maksimum Yapıldığı ÇAÇATZ Ağı

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz pazar koşullarında firmalar, rekabet üstünlüğünü elde etmek için ürettikleri ürünlerin taşınmasından depolanmasına ve müşteriye teslimine kadar tedarik zincirinin tüm bileşenlerini etkin bir şekilde koordine etmek zorundadırlar. Firmanın geleceği için performansı yüksek bir tedarik zinciri ağı kurmak, bu ağ üzerinde gerekli yapısal düzenlemeleri gerçekleştirmek ve kurulum-yer seçimi gibi stratejik kararlar vermek durumundadırlar. Tedarik zincirinin oluşan yeni şartlara göre düzenlenmesi, yeni kararlar alıp tedarik zincirinin revize edilmesi ek maliyet olarak düşünülse de uzun vadede firmaların değerini artıracakı kesindir.

Gerçek hayatta tedarik zinciri planlama problemlerinde karar verici, birbiriyle çelişen amaçlar ile karşılaşabilmektedir. Ayrıca problemlerde gerekli parametreler, genellikle veri eksikliği ya da planlama dönemi içinde gerekli verilere ulaşamaması yüzünden belirsizdir. Bulanık küme teorisi, gerçek hayatta karşılaşılan belirsizliklerin giderilmesinde kullanılabilecek uygun ve yararlı bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmamızda, çok aşamalı tedarik zincirine karma tam sayılı lineer bir model önerdik ve bu model yardımıyla çok aşamalı şebekemizde depo ve dağıtım merkezlerinin yerleşim yerlerinin belirlenmesi ve müşteri taleplerinin tam karşılanması için ürün dağıtım miktarlarının kararlarını verdik. Çok amaçlı lineer matematiksel modelimize çözüm, Zimmerman yaklaşımı kullanılarak, amaçların ortak tatminlerini maksimum yapacak şekilde bulanık bir yaklaşım ile elde edilmiştir. Amaç fonksiyonlarının bulanık yaklaşım ile çözüm üretildiği programlama ile yapılan çözümün yanısıra, problem tek amaçlıymış gibi düşünülerek her iki amaç fonksiyonu için klasik doğrusal programlama ile ayrı ayrı çözüldüğünde elde edilen sonuçlar incelenmiş ve dağıtım miktarları belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Beamon, B.M., (1998). “Models and Methods”, International Journal of Production Economics, 55,3,281-294.
- [2] Min, H.,Zhou, G., (2002). “Supply chain modeling: past, present and future”, Computer and Industrial Engineering, 43:231-249.
- [3] Çapar, I., Ulengin, F. ve Reisman, A., A Taxonomy for Supply Chain Management Literature, http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=531902, 25 Nisan 2012.
- [4] Mula, J., Peidro, D., Diaz-Madronero, M. ve Vicens, E., (2010). “Mathematical Programming Models for Supply Chain Production and Transport planning”, European Journal of Operational Research, 204: 377-390.
- [5] Ghodspour S.H. ve O’Brien C., (1998). “A decision support system for supplier selection using an integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming”, International Journal of Production Economics, 56-57: 199-212.
- [6] Tsiakis, P., Shah, N., ve Pantelides C.C., (2001). “Design of Multiechelon Supply Chain Networks under Demand Uncertainty”, Ind. Eng. Chem. Res., 40:3585-3604.
- [7] Chen, C. L. ve Lee, W.C., (2004). “Multiobjective Optimization of Multiechelon Supply Chain Networks with Uncertain Product Demands and Prices”, Computers and Chemical Engineering, 28: 1131-1144.
- [8] Şenyiğit, E., (2009). “Mobilya Endüstrisinde Aşamalar Arasında Fire Bulunan Çok Aşamalı Tedarik Zinciri Ağının Optimizasyonu”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(1-2):168-182.
- [9] Kokangül, A. ve Susuz, Z., (2009). “Integrated Analytical Hierarch Proses and Mathematical Programming to Supplier Selection Problem with Quantity Discount”, Applied Mathematical Modeling, 33:1417-1429.
- [10] Paksoy, T.,Tedarik zinciri yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu: malzeme ihtiyaç kısıtı altında stratejik bir üretim-dağıtım modeli, http://www.sosyalbil.selcuk.edu.tr/sos_mak/makaleler/Turan%20PAKSOY/435-454.pdf, 19 Nisan 2012.
- [11] Paksoy,T., Özceylan, E. ve Weber G.W., A Multi-Objective Mixed Integer Programming Model for Multi Echelon Supply Chain Network Design and Optimization, <http://144.122.137.13/iam/images/4/43/Preprint150.pdf>, 23 Nisan 2012.

- [12] Kumar, M., Vrat, P. Ve Shankar, R., (2005). "A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in A Supply Chain", International Journal of Production Economics, 101:273-285.
- [13] Wang, J. ve Shu, Y-F., (2005). "Fuzzy Decision Modeling for Supply Chain Management", Fuzzy Sets and Systems, 150:107-127.
- [14] Amid, A., Ghodsypour, S.H. ve O'Brien C., (2005). "Fuzzy Multiobjective Linear Model for Supplier Selection in a Supply Chain", International Journal of Production Economics, 104:394-407.
- [15] Chen, C-L., Yuan, T-W. ve Lee, W-C., (2007). "Multicriteria Fuzzy Optimization for Locating Warehouses and Distribution Centers in a Supply Chain Network", Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers, 38:393-407.
- [16] Wang, T-Y. Ve Yang, Y-H., (2009). "A Fuzzy Model for Supplier Selection in Quantity Discount Environments", Expert Systems with Applications, 36: 12179-12187.
- [17] Amid, A., Ghodsypour, S.H. ve O'Brien, C., (2009). "A Weighted Additive Fuzzy Multiobjective Model for the Supplier Selection Problem Under Price Breaks in a Supply Chain", International Journal of Production Economics, 121:323-332.
- [18] Amid, A., Ghodsypour, S.H. ve O'Brien C., (2011). "A Weighted Max-Min Model for Fuzzy Multi Objective Supplier Selection in a Supply Chain", International Journal of Production Economics, 131:139-145.
- [19] Chopra, S., Meindl P., (2004). Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations, Second Edition, Pearson Education Inc., New Jersey.
- [20] Barutcu, S., "İnternet Tabanlı Tedarik Zinciri Yönetimi (Denizli Tekstil İşletmelerinin İnternet Tabanlı Tedarik Zinciri Yönetiminden Yararlanma Durumuna Yönelik Bir Araştırma), http://www.sosyalbil.selcuk.edu.tr/sos_mak/makaleler/S%C3%BCleyman%20BARUT%C3%87U/BARUT%C3%87U,%20S%C3%9CLEYMAN.pdf, 4 Haziran 2012.
- [21] Aykac, D.S.Ö. ve Bayraktar, D., Tedarik Zinciri Yönetiminde Hizmet Seviyesi Gerekleri için Önlemler: Smell Kanunu Yaklaşımı, http://itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi_d/article/view/278/243, 4 Haziran 2012.
- [22] Altınok, H., (2007). Fuzzy Sayı Dizileri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [23] Ahlatcıoğlu, B., (2005). Bulanık Karar Verme ve Tesis Yeri Seçimine Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [24] Zimmerman, H.-J., (1991). Fuzzy Set Theory and Its Applications, Second Edition, Kluwer Academic Publisher, Norwell/Massa Chusetts.
- [25] Zadeh, L.A., (1965). "Fuzzy Sets" Inform and Control, 8:358-353.
- [26] Gonce H., (2005). Çok amaçlı bulanık lineer taşıma problemi, Yüksek Lisans, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Zimmermann, H.-J., (1978). "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", Fuzzy Sets and Systems, 1:45-55.

- [28] Kocken, G. H., (2011). Şebeke analizlerine bulanık yaklaşımlar, Doktora, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] Mikhailov, L. Ve Tsvetinov, P., (2004). “Evaluation of Services Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process”, Applied Soft Computing, 5:23-33.
- [30] Çitli, N., (2006). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] Saaty, T.L., Vargas, L.G., (2001). Models, Methods, Concepts and Application of the Analytic Hierarchy Process, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London.
- [32] Aslan N., (2005). Analitik Network Prosesi, Yüksek Lisans, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Baltalar, H., (2008), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), www.hasanbaltalar.com/index.php?id=43, 6 Haziran 2012.

EK-A

Fabrikalardan depolara birim ürün taşıma maliyeti									
	Depo 1	Depo 2	Depo 3	Depo 4	Depo 5	Depo 6	Depo 7	Depo 8	Depo 9
Fabrika 1	6	8	7	9	2	4	4	5	4
Fabrika 2	8	9	9	7	4	5	2	5	6
Fabrika 3	9	9	8	9	6	8	4	4	4

EK-B

Depolardan dağıtım merkezlerine birim ürün taşıma maliyeti												
	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6	DM7	DM8	DM9	DM10	DM11	DM12
Depo 1	9	8	7	3	5	4	8	5	6	8	6	5
Depo 2	6	4	8	8	6	9	7	8	9	4	8	8
Depo 3	8	6	8	4	3	6	5	7	5	5	8	9
Depo 4	7	8	9	6	7	8	9	9	7	8	4	6
Depo 5	8	9	6	7	4	6	6	7	8	5	6	7
Depo 6	7	8	5	6	6	4	7	6	4	9	5	6
Depo 7	8	9	3	3	6	8	5	9	8	6	7	7
Depo 8	9	9	6	6	9	7	6	3	7	9	5	6
Depo 9	7	8	8	4	6	9	8	7	8	9	7	8

EK-C**Dağıtım merkezlerinden müşterilere birim ürün taşıma maliyeti**

	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8	MM9	MM10	MM11	MM12	MM13	MM14	MM15	MM16	MM17	MM18
DM1	3	8	7	5	9	4	2	3	5	8	3	1	2	3	3	2	9	3
DM2	6	6	9	2	2	9	8	7	4	8	9	6	4	3	4	8	3	4
DM3	4	7	8	6	5	4	2	6	9	8	3	1	6	8	9	9	8	5
DM4	6	6	4	8	3	1	3	3	8	9	1	3	2	7	4	9	8	2
DM5	4	8	1	4	5	9	8	6	2	6	9	2	2	2	1	8	2	6
DM6	2	9	3	4	6	2	6	7	5	4	6	5	3	4	2	5	3	9
DM7	8	2	3	5	2	4	6	4	4	3	5	4	6	5	8	9	2	7
DM8	7	3	4	3	2	3	4	9	3	2	2	6	3	3	4	7	6	5
DM9	5	4	3	4	3	2	4	5	6	7	8	2	5	6	2	3	6	4
DM10	4	5	8	7	3	4	5	6	6	2	8	5	6	8	8	2	5	6
DM11	5	4	8	2	9	8	5	4	6	7	8	9	3	4	5	7	3	4
DM12	7	2	3	2	9	3	8	7	6	8	9	5	2	8	9	8	7	2

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sinan ERCAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.08.1986 Ankara
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sinanercan45@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Matematik	Yıldız Teknik Üniversitesi	
Lisans	Matematik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	F. Kemal Mumcu And.Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Fırat Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

