



T.C.

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

KARAR VERME SÜRECİNDE BULANIK UZLAŞIK PROGRAMLAMA VE
BİR İŞLETME UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DUYGU SOYSAL

DANIŞMAN

YRD. DOÇ. DR. NURULLAH UMARUSMAN

AKSARAY, 2017

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

**KARAR VERME SÜRECİNDE BULANIK UZLAŞIK PROGRAMLAMA VE
BİR İŞLETME UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DUYGU SOYSAL

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. NURULLAH UMARUSMAN

AKSARAY, 2017

TELİF HAKKI VE TEZ FOTOKOPİ İZİN FORMU

Bu tezin tüm hakları saklıdır. Kaynak göstermek koşuluyla tezin teslim tarihinden itibaren(.....) ay sonra tezden fotokopi çekilebilir.

YAZARIN

Adı : Duygu

Soyadı : SOYSAL

Bölümü : İŞLETME

İmza :

Teslim Tarihi :

TEZİN

Türkçe Adı : Karar Verme Sürecinde Bulanık Uzlaşık Programlama ve Bir İşletme Uygulaması

İngilizce Adı : Fuzzy Compromise Programming and a Business Application in a Process of Decision Making

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

Tez yazma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyduğumu, yararlandığım tüm kaynakları kaynak gösterme ilkelerine uygun olarak kaynakçada belirttiğimi ve bu bölümler dışındaki tüm ifadelerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim.

Yazarın Adı Soyadı : Duygu SOYSAL

İmza :

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JÜRİ ONAY SAYFASI

Duygu SOYSAL tarafından hazırlanan, “Karar Verme Sürecinde Bulanık Uzlaşık Programlama ve Bir İşletme Uygulaması” başlıklı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/ oy çokluğu ile Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nurullah UMARUSMAN
(İşletme Anabilim Dalı, Aksaray Üniversitesi)

İmza


Üye : Doç. Dr. Durmuş DAĞHAN
(Makro İktisadi Bilimler A.B.D., Uşak Üniversitesi)

İmza


Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Yılmaz İGEZLİ
(Aksaray Üniversitesi / İşletme A.B.D.)

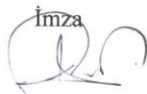
İmza


Tez Savunma Tarihi : 25/07/2017

Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 27/07/2017 Tarih ve 2017/33-5 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Öğrencinin

Duygu SOYSAL

İmza


Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

Yrd. Doç. Dr. Sevilay USLU DİVANOĞLU

İmza


TEŞEKKÜR

“Karar Verme Sürecinde Bulanık Uzlaşık Programlama ve Bir İşletme Uygulaması” başlıklı tez çalışmam süresince beni yönlendiren, bilgilerini benimle paylaşan, sevdiğim ve saydığım değerli tez danışmanım, Sayın Yrd. Doç. Dr. Nurullah UMARUSMAN’a ve çalışmamın uygulama kısmında kıymetli yardımlarını esirgemeyen BUR-SÜT personeli Evren SAÇAK’a teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama, kardeşlerime, çok sevdiğim Şerife GEZGİN’e ve değerli yardımlarıyla Fatma NALBANT’a, ayrıca her türlü desteğiyle, her daim yanımda olan değerli eşim Erdem SOYSAL’a ve yaşama sevincim kızım Eslem Şura’ya teşekkür ederim.

Aksaray, 2017

Duygu SOYSAL

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
KARAR VERME SÜRECİNDE BULANIK UZLAŞIK
PROGRAMLAMA VE BİR İŞLETME UYGULAMASI

Yüksek Lisans Tezi

Aksaray 2017

Duygu SOYSAL

ÖZET

“Karar Verme Sürecinde Bulanık Uzlaşık Programlama ve Bir İşletme Uygulaması” başlıklı bu çalışmada uygulama alanı Burdur ilinde, süt ürünleri üretimi faaliyetinde bulunan BUR-SÜT firması seçilmiştir. Çalışmanın uygulama bölümünde BUR-SÜT firmasının üretimine ilişkin elde edilen veriler, Bulanık Uzlaşık Programlama modeli ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında karar verme süreci ile Çok Amaçlı Karar Verme konuları incelenmiştir. İkinci bölümde, Uzlaşık Programlama hakkında bilgilere yer verilmiş ve çözüm süreci gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde, Bulanık Uzlaşık Programlama metoduna ilişkin olarak Bulanık Küme Teorisi, Bulanık Matematiksel Programlama ve Bulanık Doğrusal Programlama üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde ise, Uzlaşık Programlamanın bir uzantısı olan ve uygulamaya konu olan Bulanık Uzlaşık Programlama problemlerinin çözümü için geliştirilen teknikler açıklanmış ve son olarak beşinci bölümde Bulanık Uzlaşık Programlama modeli ile firmaya ait gelir, maliyet, birim üretim hedefleri esas alınarak çözüm süreci gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu :

Anahtar Kelimeler : Çok Amaçlı Karar Verme, Uzlaşık Programlama, Bulanık Küme Teorisi, Bulanık Doğrusal Programlama, Bulanık Matematiksel Programlama, Bulanık Uzlaşık Programlama

Sayfa Adedi : 129

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nurullah UMARUSMAN

AKSARAY UNIVERSTY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
FUZZY COMPROMISE PROGRAMMING AND A BUSINESS
APPLICATION IN A PROCESS OF DECISION MAKING

Master of Science Thesis

Duygu SOYSAL

AKSARAY 2017

ABSTRACT

In this study titled “Fuzzy Compromise Programming and a Business Application in a Process of Decision Making” BUR-SÜT company, which is in the field of dairy production in Burdur province, is selected. In the application part of the study, the datas obtained for the production of BUR-SÜT was evaluated with the Fuzzy Compromise Programming model. In the first phase of the study, decision-making process and Multi-Objective Decision Making topics were examined. In the second part, Fuzzy Set Theory, Fuzzy Mathematical Programming and Fuzzy Linear Programming are mentioned depending on the Fuzzy Compromise Programming method. In the forth part, the Techniques developed for Solving Fuzzy Compromise Programming problems, which are an extension of Compromise Programming and which are subject to implementation, are explained. Finally, in the fifty part, the solution process was carried out by using the Fuzzy Compromise Programming model, based on revenue, cost and unit production targets of the firm.

Science Code :

Key Words : Multi-Objective Decision Making, Compromise Programming, Fuzzy Set Theory, Fuzzy Mathematical Programming, Fuzzy Linear Programming, Fuzzy Compromise Programming

Page Number : 129

Supervisor : Yrd. Doç. Dr. Nurullah UMARUSMAN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	V
ABSTRACT.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	XI
ŞEKİLLER LİSTESİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XIV
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM	3
KARAR VERME SÜRECİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	3
1.1. Karar Verme Süreci.....	3
1.2. Çok Kriterli Karar Verme ve Tanımı	8
1.2.1. Çok Amaçlı Karar Verme Tarihçesi	14
1.2.2. Çok Amaçlı Karar Verme Süreci	15
1.2.3. Çok Amaçlı Karar Vermede Kullanılan Temel Kavramlar	17
1.2.3.1. Hedefler	17
1.2.3.2. Kriterler	17
1.2.3.3. Amaçlar	18
1.2.3.4. Nitelikler	18
1.2.4. Çok Amaçlı Karar Verme Tekniklerinin Çözüm Tipleri	19

1.2.4.1.	Optimal Çözüm.....	19
1.2.4.2.	İdeal Çözümler	19
1.2.4.3.	Üstün Olmayan Çözüm	20
1.2.4.4.	Tatminkâr Çözüm	21
1.2.4.5.	Baskın çözüm	21
1.2.5.	Çok Amaçlı Karar Modellerinin Yapısı.....	21
1.2.6.	Çok Amaçlı Karar Modellerinde Matematiksel Yapı.....	22
1.2.7.	Çok Amaçlı Karar Verme Sürecinde Kullanılan Metotlar	24
1.2.7.1.	Tercih Bilgilerinin Kullanılmadığı Metot.....	25
1.2.7.2.	Tercih Bilgilerinin Öncelikli Kullanıldığı Metotlar	25
1.2.7.3.	Tercih Bilgilerinin Optimizasyon Sırasında Kullanıldığı Metotlar	25
1.2.7.4.	Tercih Bilgilerinin Optimizasyon Sonrasında Kullanıldığı Metotlar	26
İKİNCİ BÖLÜM.....		27
UZLAŞIK PROGRAMLAMA.....		27
2.1.	Uzlaşık Programlamanın Tarihçesi ve Tanımı.....	27
2.2.	Uzlaşık Programlamanın Matematiksel Yapısı.....	28
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM		32
BULANIK MANTIK.....		32
3.1.	Bulanık Mantık Kavramı ve Kapsamı.....	32
3.1.1.	Bulanık Mantık Kavramı	32
3.1.2.	Bulanık Mantık Teorisinin Avantajları.....	36
3.1.3.	Bulanık Mantık Teorisinin Dezavantajları	38
3.1.4.	Bulanık Mantığın Uygulama Alanları	38
3.2.	Bulanık Kümeler ve Temel Kavramlar	40
3.2.1.	Bulanık Küme.....	40
3.2.2.	Üyelik Fonksiyonu	46

3.2.3. Destek Küme	46
3.2.4. α – kesim Seviyesi.....	47
3.3. Bulanık Küme İşlemleri	48
3.3.1. Birleşim İşlemi	50
3.3.2. Kesişim İşlemi	51
3.4. Bulanık Sayılar ve Üyelik Fonksiyonları	52
3.4.1. Üçgensel Bulanık Sayı ve Üyelik Fonksiyonu	53
3.4.2. Yamuk Tipi Bulanık Sayı ve Üyelik Fonksiyonu	54
3.5. Bulanık Matematiksel Programlama	56
3.6. Bulanık Doğrusal Programlama	57
3.6.1. Bulanık Doğrusal Programlama Modellerinde Yaklaşımlar	59
3.6.1.1. Zimmermann Yaklaşımı	59
3.6.1.2. Verdegay Yaklaşımı.....	62
3.6.1.3. Werners Yaklaşımı.....	63
BÖLÜM 4	66
BULANIK UZLAŞIK PROGRAMLAMA	66
4.1. Bulanık Uzlaşık Programlama Yaklaşımı	66
4.2. Bulanık Mesafe Metrikleri	71
4.3. Bulanık Mesafe Metriklerini Karşılaştırılması.....	78
4.4. Bulanık Uzlaşık Programlamanın Çözüm Süreci	81
BEŞİNCİ BÖLÜM.....	87
UYGULAMA	87
5.1. Problemin Tanımı.....	91
5.2. Amaç Fonksiyonları ve Kısıtlar	94
5.3. Süt Ürünleri Problemi Çözüm Aşamaları	97
5.3.1. Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Çözüm Aşamaları	97

5.3.2. Uzlaşık Programlama Çözümü	99
5.3.3. Bulanık Uzlaşık Programlama Çözümü	101
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKÇA.....	113



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. ÇAKV ile ÇNKV Problemlerinin Özellikleri Açısından Karşılaştırılması.....	14
Tablo 2. ÇAKV Metotlarının Bilgi Çeşidine Göre Kullanılan Metotlar	24
Tablo 3. Klasik Küme ile Bulanık Küme Arasındaki Farklar	33
Tablo 4. Klasik Mantık İle Bulanık Mantık Arasındaki Temel Farklılıklar	35
Tablo 5. Bulanık Mantığın Kullanıldığı Ürün, Firma ve Bulanık Mantığın Rolü.....	39
Tablo 6. Bulanık Küme İşlemlerinin Temel Özellikleri	49
Tablo 7. Sözel Yargılama Ölçü Ölçeği	85
Tablo 8. Modeldeki Değişkenler ve Diğer Veriler (Günlük).....	92
Tablo 9. Modeldeki Değişkenlerin Birim Fiyat – Maliyet ve Kar Değerleri.....	93
Tablo 10. Süt Ürünlerinde İşlenilen Süt Miktarları (Birim Ürün Başına)	94
Tablo 11. Her Bir Amaç Fonksiyonu İçin Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Çözümü ..	98
Tablo 12. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler	99
Tablo 13. Uzlaşık Programlama Çözümü	101
Tablo 14. Üstün Olmayan Çözümler Tablosu	102
Tablo 15. Bulanık Uzlaşık Programlama Çözümü İçin Nadir Değerler	102
Tablo 16. Her Bir Kriter İçin Ağırlık Değerleri.....	103
Tablo 17. Bulanık Uzlaşık Programlama Çözümü	106
Tablo 18. Modellerin Genel Değerlendirilmesi	107

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Karar verme süreci çerçevesi.....	6
Şekil 2. Çok Kriterli Karar Verme modelinin unsurları	13
Şekil 3. Uzlaşık çözüm kümesi.....	31
Şekil 4. Klasik boy uzunlukları kümeleri	40
Şekil 5. Klasik kümelerde kesişim.....	41
Şekil 6. Boy uzunluklarının bulanık kümeleri	42
Şekil 7. Üyelik derecesi fonksiyonları (a) klasik küme, (b) bulanık küme.....	43
Şekil 8. Bulanık küme parametreleri	45
Şekil 9. Üyelik fonksiyonu kısımları	47
Şekil 10. α -kesim kümesinin gösterimi.....	48
Şekil 11. İki üçgen bulanık sayının birleşimi.....	50
Şekil 12. İki üçgen bulanık sayının kesişimi	51
Şekil 13. Bulanık sayılar	52
Şekil 14. l,m,u üçgen bulanık sayı.	54
Şekil 15. Yamuk üyelik fonksiyonu.....	55
Şekil 16. $c^T x \gtrsim b_0$ şeklindeki bulanık amacın üyelik fonksiyonu.....	61
Şekil 17. $A(x)_i \lesssim -b_i$ şeklindeki bulanık kısıt için üyelik fonksiyonu	61
Şekil 18. Amaç fonksiyonu için üyelik fonksiyonu	65
Şekil 19. Tipik bulanık girdi şekilleri	72
Şekil 20. Bulanık kriter değerleri ve ağırlıkları	74

Şekil 21. Bulanık pozitif ve negatif ideallerle tanımlanan geçerli kriter değerleri aralığı...	75
Şekil 22. Bulanık mesafe metrik üssü.....	76
Şekil 23. $\tilde{p}$ 'nin farklı bulanık tanımları için bulanık mesafe metrikleri	76
Şekil 24. Farklı çok modlu kriter değerleri ve ağırlıkları için bulanık mesafe metrikleri ...	76
Şekil 25. İki alternatif için bulanık mesafe metriği karşılaştırması (A ve B)	80
Şekil 26. Vakumlu yoğurt üretim süreci	89
Şekil 27. Süzme yoğurt üretim süreci	90
Şekil 28. Köy tipi peynir üretim süreci	91



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ÇADP	Çok Amaçlı Doğrusal Programlama
ÇAKV	Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV	Çok Nitelikli Karar Verme
BUP	Bulanık Uzlaşık Programlama
EFQM	European Foundation for Quality Management
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
KOBİ	Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
UP	Uzlaşık Programlama
VMP	Vektör Maksimizasyonu Problemi

GİRİŞ

Bu çalışma, Uzlaşık Programlamanın (UP) bir uzantısı olan Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımının geliştirilmesi sürecini içerir. Tarafımızdan önerilen modelin gelişim süreci, iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamasında literatür araştırması yapılarak teori kısmı yer alırken, ikinci aşamasında ise, çalışmamızın uygulama sürecinden söz edilmiştir.

Bulanık Uzlaşık Programlama sürecini konu alan bu çalışma, beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde araştırma konusu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Bu bölümde karar verme sürecinin önemi, doğru kararın verilmesinde işletmeye sağladığı yararlar anlatılmıştır. Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (ÇADP) yaklaşımının gelişim süreci araştırılmış ve genel uygulama alanları hakkında bilgi verilmiştir. 1950’li yıllardan itibaren karşımıza çıkan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) metotlarının, tanım ve temel kavramlarına, çözüm tiplerine yer verilmiştir. Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) modellerinin matematiksel yapısı ve Çok Amaçlı Karar Verme sürecinde kullanılan teknikler sınıflandırılmıştır.

İkinci bölümde, Zeleny tarafından önerilen Uzlaşık Programlama yaklaşımına ait temel kavramlar açıklanarak, matematiksel yapısı ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, öncelikle Bulanık Mantık Teorisi incelenmiştir. Bu bölümde Bulanık Mantık Teorisinin avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiş ve uygulama alanından söz edilmiştir. Bulanık Küme Teorisine ait kavramlar açıklanarak, bulanık küme işlemlerine yer verilmiştir. Daha sonra Bulanık Matematiksel Programlama ve Bulanık Doğrusal Programlama modellerinin formülasyonu verilmiştir. Bulanık Doğrusal Programlama modellerinde kullanılan yaklaşımlardan Zimmermann yaklaşımı, Verdegay yaklaşımı ve Werners yaklaşımı incelenmiştir. Bu yaklaşımlara ait üyelik fonksiyonları ve bu üyelik fonksiyonlarına göre oluşturulan modeller açıklayıcı bir şekilde anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde Bulanık Uzlaşık Programlama modeli hakkında genel bilgiler verilerek, matematiksel formülasyonu ve Bulanık Uzlaşık Programlama süreci incelenmiş ve girdi şekillerinin, kriter ağırlık değerlerinin ve bulanık mesafe metriklerinin alabileceği tipik şekillere yer verilmiştir.

Uygulama bölümünde süt ürünleri üreten bir firmanın belirlenen üç amaç fonksiyonu ve 20 kısıtı ile üretim süreci ele alınmıştır. İlk olarak Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modeline göre çözüm yapılarak, amaç fonksiyonu değerleri belirlenmiştir. Bu değerlere göre uygun çözüm alanının bulunamadığı açıklanmıştır. İkinci olarak problem, Uzlaşık Programlama modeli ile çözümü gerçekleştirilmiştir. İdeal çözümlerden yararlanılarak, sonuca ulaşılan Uzlaşık Programlama modelinde, her bir değişken için aynı değişken değerleri belirlenmiş ancak optimallik tatminkar seviyede oluşmamıştır. Üçüncü bölümde üstün olmayan çözümlerden elde edilen Nadir değerler ile üyelik fonksiyonları kurulmuş ve bununla birlikte karar vericiler tarafından belirlenen kriter ağırlıkları ile Bulanık Uzlaşık Programlama çözümü gerçekleştirilmiştir. Uygulama modelleri LINDO 6.1 ve LINGO 14.0 kullanılarak çözülmüştür.

BİRİNCİ BÖLÜM

KARAR VERME SÜRECİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

1.1. Karar Verme Süreci

Karar verme, birden fazla seçenek arasından örgüt için en uygun olanın belirlenmesi olarak tanımlanır. Karar verme esnasında; karar vericilerin deneyimleri, öznel yargıları, stratejik hedefleri dikkate alındığı gibi birçok nicel ve nitel kriterin de sürece dâhil edildiği görülmektedir. Karar vericilerin psikolojik durumu, içinde bulundukları sosyal ortam ve geleceğe dönük beklentileri karar üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle iç ve dış çevreden etkilenmeden, ancak bu çerçeveyi de dikkate alarak doğru kararlar almak işletmeler için önemlidir (Özbek, 2014).

Rasyonel kararlar vermek, düşünen bir varlık olan insana özgü bir davranış olup, karar vericiler, her daim en doğru kararı verebilme arzusu içerisine girer (Guerrero-Baena, Gomez-Limon, & Fruet Cardozo, 2014).

Birçok işletme veya firma değişik alanlarda karar vermek zorunda kalır. Tabi ki en doğru kararın verilmesi hedeflenir. Bireylerin karar vermesi gereken önemli konulardan biri, işletmelerin finansal ve ekonomik performansların değerlendirilmesine yönelik alınacak kararlardır. Bu kararlar, finansal ve ekonomik performansın ölçülmesinden, işletmeye kredi sağlayacak olan kişi ve kurumların belirlenmesine kadar birçok alanda doğrudan etki göstermektedir (Turan, Özarı ve Demir, 2016).

Bir diğer konu, yönetimde karar verme olgusudur. Bireylerin aldıkları kararların, amaçlara uygun olup olmadığı karar verme işlemi ile ilgilidir. Bu yüzden yönetim sorumluluğu almış bireyler, sonuçları az veya çok zararlı, amaca kısa ya da uzun yoldan ulaşan, şirketin finansal durumunu, çalışanlarını ve performanslarını gözetken, şirketin uzun veya kısa vadeli ömrünü oluşturacak kriterler gibi birçok alanda karar alma durumundadır (Emhan, 2007).

Gerek bireysel, gerek yönetsel gerekse de toplumu etkileyecek düzeyde kısaca her seviyede doğru ve etkili karar vermek, önemli bir beceri olarak kabul edilir. Doğru karar verme de karar vericinin becerisini oluşturan akıl, sezgi ve deneyimlerini doğru kullanabilme yetisinin önemi bilinmekle beraber günümüzde zorlaşan ve karmaşıklaşan karar süreçlerinin karar vericinin daha etkin, hızlı ve daha doğru karar verebilmesine olanak sağlayacak karar alma araçları ile desteklenmelidir (Yıldırım, 2015).

Rekabetli ve riskli ortamlarda daha verimli ve daha güvenilir büyümeyi hedefleyen işletmelerin alacakları kararlar son derece önemlidir. Hızla değişen ortam koşullarına uyum sağlayan, gelişme fırsatını daha çabuk yakalamaktadırlar. Bu kararların etkinliğini artırabilmek için de çok sayıda nicel ve nitel kriterleri bir arada değerlendirebilen yöntemlerden, yardım alarak gerçekleştirilir (Fettahoğlu, Dönmez ve Kazhi, 2016).

Karar verme sürecinde çeşitli risk teşkil edebilecek bazı durumlar mevcuttur ve bu hususlara dikkat etmek son derece önemlidir. Bu hususlar şöyle sıralanabilir (Emhan, 2007):

- Karar verme sürecinde aceleci davranmak. Acele verilen kararlar yanlış sonuçlara sebep olabilir.
- Çok geç hareket edilmesi. Geç karar vermek, bazı fırsatların yakalanmasına engel olabilir.
- Öncelik sıralaması dikkate alınmadan plansız bir karar verme süreci.
- Yapılan hataların kabullenilmemesi ve bu durumun doğru karara ulaşmada gecikmelere sebep olması.
- Karar vericilerin başkalarına kimselere danışmadan hareket etmesi gibi durumlar risk durumlarını meydana getirir.

Yukarıda belirtilen bu hususlara dikkat edildiği takdirde daha doğru kararlar ve daha güvenilir sonuçlar elde edilecektir.

Etkili bir kararın verilebilmesi için karar sisteminin özelliklerini bilmek fayda sağlayacaktır. Bu özellikler şunlardır (Özmen ve Yörük, 2005):

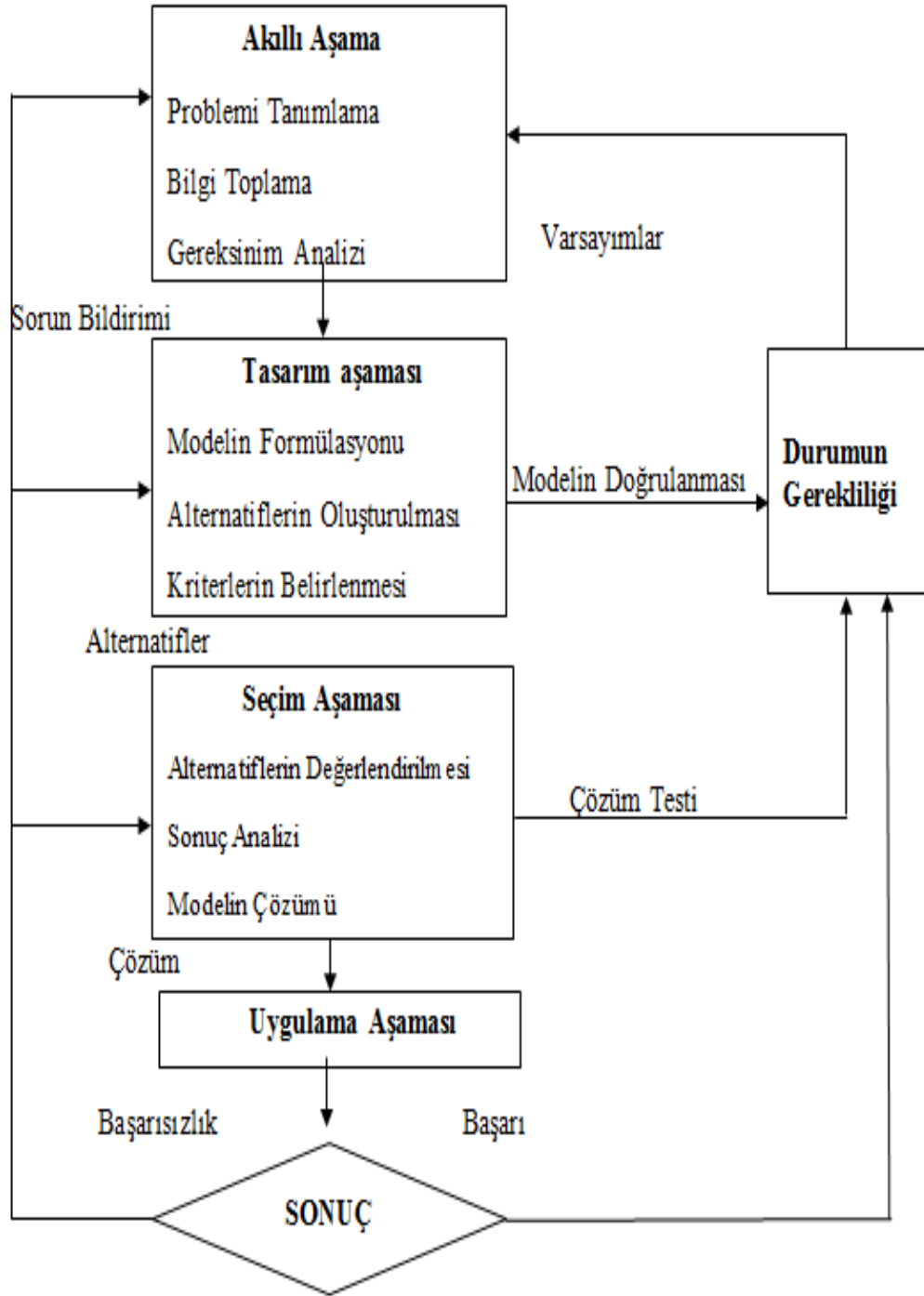
- Kararlar ne kadar rasyonel ve mantıklı ise o derece etkili bir karar verilmiş olunur. Analitik düşünce sayesinde alınan kararların temeli sağlam atılmış demektir.

- Etkili bir karar açık, anlaşılır ve kolay uygulanabilir özelliğe sahip basit derecede olmalıdır ki, işletme içerisindeki her bölüm, kararları algılayıp uygulayabilmelidir.
- Etkili karar zamanında verilmelidir.
- Etkili karar hızlı bir şekilde alınıp uygulamaya konulmalıdır.
- Etkili bir karar, hukuki olarak yönetimin mevzuatına, uygun olup işletmenin amaçlarına paralel olmalıdır.

Karar problemi, ayrı ayrı analiz edilir ve alternatif önermek için karar analizi aksiyomları (mantığı) ile parçaya ayrıştırılıp seçilmelidir. Bu "böl ve yönet" kavramlarının uyumu disiplinler arası sorunların ele alınması için neredeyse şarttır. Karar analizi yöntemi, geleneksel teknikleri, yöneylem araştırması, yönetim bilimi, sistem analizi ve profesyonel hüküm ve karar vermeyi desteklemek ve analiz değerlerini birleştirmek için bir çerçeve sağlar. Karar analizi, modelleri (örneğin; ekonomik, bilimsel, yöneylem araştırması), mevcut veriler, örnekler ve testleri ve uzmanların bilgileri ile alternatiflerin çeşitli sonuçlarını ölçmek için kullanılır. Karar analizinin temel yönleri (Keeney, 1982):

- Bazı amaçları gerçekleştirmek için ihtiyaçlar belirlenmelidir.
- Çeşitli alternatiflerden biri seçilmelidir.
- Alternatifler ile ilgili farklı sonuçlar değerlendirilmelidir.
- Genellikle her bir alternatif sonuç hakkında belirsizlikler olabilir.
- Olası sonuçların tümü eşit değerli değildir, şeklinde sıralanabilir.

Karar verme, bir süreçten ibaret olup, bu karar verme sürecinin çerçevesini aşağıdaki Şekil 1'de sırası ile adımlar halinde görmek mümkündür.



Şekil 1. Karar verme süreci çerçevesi (Lu, Zhang, Ruan ve Wu, 2007)

Yukarıda verilen karar verme süreci çerçevesine göre ana aşamaları kısaca açıklamak gerekirse **problemin tanımlanması** aşamasında; yöneticinin problemi en iyi şekilde tanımlaması sadece bir başlangıçtır. Ayrıca birçok sorunla karşı karşıya da kalabilmektedir. Bu yüzden bir taraftan problemin elde edilen veri ve tahminlerle amacını belirlerken diğer taraftan gerçekleşecek sorunları, amaçları ayırt edebilmelidir.

Tanımlanma aşamasında problemin tanımı açıkça belirtilmeli, kişilerin veya grupların görevleri sorumlulukları belirlenmeli, problemle ilgisi olduğu düşünülen konular ortaya çıkarılmalıdır. Ancak belirsiz bir durum mevcut ise, problemin tanımlanması işletmeyi yanıltacak ve rasyonel kararlar alınmasını engelleyecektir. Bu belirsizlik durumu göz önünde bulundurulmalıdır. **En iyi alternatifin seçilmesi aşamasında;** problemin iyi bir şekilde tanımlanması yapıldıktan sonra doğru ve en iyi çözüm yolları araştırılmalıdır. Çözüm yolları bulunurken bazı kriterlerden yardım alınabilir, bunlar geçmiş deneyimler, rakiplerin uygulamaları işçilerin, müşterilerin sergiledikleri davranışları ve önerileri yararlı bir kaynak olabilir. Meydana getirilen alternatifler birden fazladır bu yüzden alternatifler içerisinden en uygun olanı seçilmelidir. Bu durum çeşitli araştırmalar gerektireceğinden dolayı uygun alternatifi seçmek bazen zor olabilir. Bu durumun üstesinden gelebilmek içinde riskin derecesi, ekonomik olma durumu, zamanlama ve kaynakların sınırlandırılması gibi bazı ölçekleri göz önünde bulundurmamız gerekir. **Seçilen alternatifin değerlendirilmesi;** genelde her bir alternatif birden fazla sonuç ortaya çıkaracaktır ve bu sonuçlar çeşitli zamanlarda ve derecelerde görülebilir. Birden fazla sonuç dizisinden seçim yapabilmek için karmaşık bir değer sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece tek bir dizi sonuç, başka bir diziye bağlanabilmesine kararlaştırılır. **Kararın uygulanması aşaması;** elde edilen bulgular ve beklentiler karar verici tarafından sürekli olarak karşılaştırmaya tabi tutularak, çözümün ne derece etkin olduğu gözlemlenir. Gerçekleşen sonuçlar ile beklentiler arasında anlamlı farklar oluşursa, karar verici hatalı bir karar aldığını anlar ve hatasını düzeltmeye çalışır (Emhan, 2007).

Karar verme, elde bulunan bütün bilgileri göz önünde bulundurarak durumun kavranması, alternatif eylem biçimleri ile ortaya konulacak sonuçların gözden geçirilmesi ve uygun eylemin seçilerek uygulama aşamasının gerçekleştirilmesidir. Rekabet koşullarının artmasını göz önünde bulundurulacak olunursa, işletmeler açısından karar verme durumu, daha önemli hal alarak büyük bir prestije dönüşmektedir. Bilim ve teknolojiadaki gelişmelerle, artık karar verme problemlerinin çözümleri, sezgisel değil bilimsel yöntemlerle açıklanmaktadır. Ulaşılmak istenen hedefin birçok değişken tarafından belirlendiği ve değerlendirilecek alternatiflerin her birinin kendine özel avantajlarının bulunduğu durumlarda karar verme işi bir hayli zorlaşmaktadır. Bu yüzden kararlar üzerinde etkili olacak, karşılaşılan güçlüklerin üstesinden gelmeyi sağlayacak,

tüm kriterlerin değerlendirilmesi ve analizi amacıyla Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri geliştirilmeye çalışılmıştır (Kaya, Kılınç ve Çevikcan, 2007).

Karar vericiler, karar verme durumuyla karşılaştıklarında, çoklu ve çelişkili kriterleri açıkça dikkate almaları gerekir. Son yirmi yılda Çok Kriterli Karar Verme problemlerini çözmek için birçok yöntem geliştirilmiştir; karar verici, büyük oranda tercih bilgilerini elde edip, çözüm yöntemlerini kategoriler halinde, progresif ve interaktif yöntemler olarak ayırır. İnteraktif çözüm yöntemleri, bir sonraki çözüme karakterize olmasından dolayı, karar vericiler her adımda, interaktif olarak en çok tercih edilen çözüme doğru ilerler (Buchanan, 1994).

Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri, karmaşık karar problemlerinin bilimsel ve analitik yaklaşımlarla beraber karar vericiye en doğru ve en güvenilir kararın alınmasına yardımcı olur (Guerrero-Baena vd., 2014).

Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri, karar problemlerinin doğal özelliklerinin iyi anlaşılmasını sağlamakta, katılımcıların karar sürecine katılabilmeleri için rollerini teşviklemekte, müşterek kararları ve uzlaşmaları kolaylaştırmakta, kararları rasyonel, etkin ve açık hale getirerek kaliteyi artırmaktadır (Pohekar ve Ramachandran, 2004).

1.2. Çok Kriterli Karar Verme ve Tanımı

Kararlar, bireyler veya gruplar tarafından elde edilebilir. Bireysel kararlar çoğu kez daha düşük yönetim düzeylerinde ve küçük kuruluşlarda elde edilirken, grup kararları ise genellikle yönetim düzeyi yüksek ve büyük kuruluşlarda elde edilmektedir. Karar verme problemlerinde farklı sınıflandırmalar oluşabilir ve bu yüzden farklı modelleme ve çözüm metotları gerekmektedir. Yapısal bir problem olarak, en iyi ya da en tatminkâr çözüm yöntemlerini, elde etmek için standart çözüm yöntemleri bilinmektedir. Genel olarak, böyle bir sorun, mevcut klasik matematiksel modeller tarafından tanımlanabilir. Ancak belirsizlik durumlarında, hiçbir şekilde standart çözüm yöntemi olmadığı için yapılandırılmamış bir sorundur. Çoğu kez yapılandırılmamış bir sorunda insan sezgisi, karar vermede temeldir. Yeni hizmetleri planlama, bir yöneticinin iş alımı için personel seçme veya araştırma ve geliştirme projeleri, gelecek için tipik yapılandırılmamış sorunları içerir. Bu sorunları çözmek için insani yargılara ihtiyaç duyulabilir (Lu vd., 2007).

Ayrıca nesnel gerçeğin tanımlanabilmesi için birtakım özelliklere bakılır. Bir kişi; boy, kilo, renk, yaş, zenginlik gibi farklı açılardan tarif edilebilir. Diğer özellikleri örneğin; akıl, güzellik ya da sosyal statü, daha öznel ve önyargılı olabilir. Bu alternatifler içerisinde karar verme kriteri olarak herhangi bir özelliğin seçilmesi mümkündür. Burada önce hedef düzeyleri belirlenir, özel değerler, nitelikleri veya amaçları açısından tanımlanır. Örneğin "gaz kilometresini üst düzeye çıkarma" bir araba ile ilgili iyi bir hedeftir. "Galon başına yirmi altı millik bir gaz kilometresinin sağlanması" ise belirli bir hedef ya da amaç için referans değeri gösteren, açıkça ifade edilmiş bir hedeftir. Burada ki amaç, iyileştirme ya da bireysel nitelik ölçekleri ile birlikte tercih yönlerinin, temsil edilmesidir. Bu durumun iki yönü vardır: Daha fazla veya daha az (maksimize veya minimize). Örneğin; niteliğin alternatifler arasından, en yüksek olanın bulunması veya yüksek olanın en üst düzeye çıkarılması bir hedeftir. Böylece amaçlanan iyileştirme yönü nesnel olabilecektir (Zeleny, 2005).

Her hedef için bir bakıma en uygun olarak adlandırılacak, "ideal" alternatif vardır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemi için en önemli görev "iyi" bir uzlaşma yolu bulmaktır. Bu aynı zamanda, karar vericinin gözünde, en iyi performans alternatifidir. Bu nedenle, uzlaşmanın kalitesini en iyi belirleyen, karar vericinin çok boyutlu olan tercihleridir (Habenicht, Scheubrein ve Scheubrein, 2014).

Çok Kriterli Karar Verme sürecindeki problem çözümünü, sırası ile temel adımlarla göstermek mümkündür (Opricovic ve Tzeng, 2004).

1. Hedeflerin kurulması, kriterlerle ilgili sistemin değerlendirilmesi.
2. Hedeflere ulaşmak için alternatif sistemlerin geliştirilmesi (Alternatiflerin üretilmesi).
3. Kriterler açısından alternatiflerin değerlendirilmesi (Kriter fonksiyonlarının değerlendirilmesi).
4. Çok kriterli yöntemlere normatif bir analiz uygulanması.
5. Uygun bir alternatifin kabul edilmesi (tercih edilmesi).
6. Çok kriterli optimizasyon problemlerinde nihai çözüm elde edilmez ise bilgilerin yeniden toplanması ve bir sonraki yineleme aşamasına gidilmesi.

Çok Kriterli Karar Verme yöntemine ait adımlar (Mateo, 2012):

- Problemin tanımlanması alternatiflerin belirlenmesi ve kriterlerin oluşturulması: Problem açık olarak tanımlanır, alternatifler ayırt edilir ve ana hususlara,

belirsizlik seviyesine ve kısıtlarla çatışan noktalara, amaçlara ve aktörlere değinilir.

- Kriter ağırlıklarının atanması: Değerlendirme kriterlerine ait önem dereceleri, farklı yöntemler kullanılarak belirlenir.
- Değerlendirme matrisinin oluşturulması: Alternatifler, kriterler ve ağırlıklar bütün olarak bir karar matrisinde gösterilir. Çok kriterli hesaplamalar bu matris kullanılarak yapılmaktadır.
- Uygun yöntemin seçimi: Alternatiflerin derecelendirilmesi amacıyla uygun olan Çok Kriterli Karar Verme yönteminden yararlanılır, verilerin özelliklerine ve belirsizlik seviyelerine göre sıralanır ve en iyi derecedeki alternatif, çözüm önerisi olarak sunulur.
- Alternatiflerin sıralanması: Alternatif çözümler öncelik sıralamasına göre sıralandıktan sonra, en iyi olduğuna karar verilen alternatif, çözüm önerisi olarak ortaya konulur.

İşletmelerin ayakta kalabilmeleri ve süreklilik ilkesine sahip olabilmeleri için birçok seviyede farklı kararlar almak zorundadırlar. Bu kararları alırken, karar vericiler doğru ve güvenilir verilere ve değerlendirme süreçlerine ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden karar verme süreçlerine, bilimsel tekniklerin dâhil edilmesine, sonuçların daha güvenilir olmasına ve subjektif kararlardan uzaklaşılmasına yardımcı olur. Çeşitli karar problemleri ile karşı karşıya kalan yöneticiler için zor problemlerden biri de, birden fazla alternatif kümesinden, uygun alternatifin seçilmesidir. Bu seçim prosedüründe çok sayıda çelişen kriter dâhil olduğundan geleneksel seçim yöntemlerinin kullanılması, gerçekçi bir çözümü ortaya koymamaktadır (Soner ve Önüt, 2006).

ÇKKV yöntemleri, organizasyonların ortaya konulmasında kullanılan ve elde edilen neticeler ile alternatifleri sıralama, alternatifler arasından seçme ve sınıflandırma yapma özelliğine sahip metotlar, olarak karşımıza çıkmaktadır (Urfalıoğlu ve Genç, 2013).

Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin çeşitliliği açısından geniş bir yelpazeye sahip olmasına rağmen, bu yöntemler bünyesinde birçok ortak özellik barındırmaktadır. Bu özelliklere aşağıda yer verilmiştir:

- **Alternatifler:** Karar vericinin ortaya koyacağı seçenek olarak adlandırılan eylemlerdir (Habenicht, vd. 2014).

- **Birden fazla kriter:** Kriterler, alternatiflerin farklı açılardan değerlendirebileceği, farklı boyutları ifade etmektedir. Kriterler, kararların ne derece etkin ve verimli olduğunu ölçmektedir. Seçeneklerin etkileri bazen doğrudan görülebilirken, bazen ise fark edilse bile niceliksel olarak ifade edilemeyen etkileri de olabilmektedir. Ancak böyle bir durumda alternatifler arasından en çok katkı sağlayan seçeneğin belirlenmesi, karar verici için hem zor hem de çok fazla zaman kaybı demektir. Bu yüzden genelde karar vericiler, bu faktörleri sezgisel olarak ele alırlar (Özgüven Tayfun, 2015).
- **Kriterler arasında çelişki:** Kriterler bazen birbiriyle çelişmesi nedeniyle, tüm kriterlerin tatmin olmasını sağlayacak, bir çözüm bulunamamaktadır. Bu yüzden karar vericinin tercihlerine göre, bir çözüm kümesi oluşturulmaktadır (Sayadi, Heydari ve Shahanaghi, 2009).
- **Karşılaştırılamayan ölçü birimleri:** Kriterler bazen farklı ölçü birimlerine sahip olmasından dolayı karşılaştırma yapmak zorlaşmaktadır. Örneğin; ikinci el araba satın alınmak istendiğinde, bazı kriterler göz önünde bulundurulur. Bunlardan biri de arabanın satın alma işleminden önce yapmış olduğu km birimi ile ölçülürken, arabanın maliyet kriteri ise TL birimi ile ölçülmektedir. Bu yüzden farklı kriterlerin, farklı birimlere sahip olması, çok kriterli problemlerin çözümünü zorlaştırabilir. Arabanın alım probleminde fiyatı nicel olarak nitelendirirken, arabanın konforu gibi özellikler, nitel olarak değerlendirilir. Bu yüzden, nicel ve nitel kriterlerin aynı anda değerlendirilmesi, ÇKKV problemlerinin bir başka özelliğidir. ÇKKV problemlerinin bu özelliği sayesinde nicel ve nitel kriterlere, aynı anda cevap bulunabilir, kolay uygulanabilir, farklı problemlere ortak çözüm getirilebilir. İşletmelerin performanslarının belirlenmesinde, ürün, iş görme gibi konuların karşılaştırılmasında, sıkça ÇKKV yöntemlerine başvurulur (Özgüven Tayfun, 2015).
- **Kriter ağırlıkları:** Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri, kriterlerin ağırlıklandırılması ile farklı önem derecelerine sahip olmasını ve kriterlerin ağırlık değerleri bakımından karara katkı sağlamaktadır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, 2010).

Çok kriterli kararlar genellikle iki temel aşamada ele alınmaktadır. Birincisi; her alternatifin sahip olduğu, kriterlere atanan puanlama sistemi diğeri ise; alternatifler arasında sıralama işleminin olmasıdır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri, temelde dört

farklı boyutta sınıflandırılır bunlar; üst derecelendirme, değer ve fayda teorisi, etkileşimli hedef programlama, grup kararı ve uzlaşmaya dayalı yöntemlerdir (Valls ve Torra, 2000).

Çok Kriterli Karar Verme problemleri, günlük hayatta çok sık görülür. Kişisel bağlamda, bir ev ya da bir araba satın alma açısından fiyat, boyut, stil, güvenlik, konfor, vs. karakterize edilebilir. İş bağlamında, genellikle karmaşık ve büyük ölçekli kuruluşların, ÇKKV sorunları daha fazladır. Örneğin, Avrupa'da birçok şirkette yüzlerce kriter ve alt kriter kullanarak kurumsal öz değerlendirme yapılıp, EFQM (Avrupa Kalite Yönetimi Vakfı) iş mükemmelliği modeli ayarlanır. Genellikle büyük şirketlerin satış sonrası hizmeti, kalite yönetimi, tedarikçi olması, finansal istikrarı vb. gibi farklı alanda bir dizi kriteri kullanarak satın alma departmanlarını, değerlendirmek gerekir (Xu ve Yang, 2001).

ÇKKV, 1970'lerin başından beri operasyonel bilimlerde, en hızlı büyüyen araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Bu alanda “birden fazla” kelimesi endişe ve odaklanma olarak tanımlanır. Bu konuda insani seçim, yargı ve karar verme tek bir kriterden ziyade, birden fazla kriter olarak nitelendirilir (Zeleny, 2005).

1970'ler de ÇKKV araştırması, Çok Amaçlı Matematiksel Programlama teorik temelleri ve Çok Amaçlı Matematiksel Programlama problemlerinin çözümü için prosedürler ve algoritmalar üzerinde durularak, prosedürlerin teorik yaklaşmasının, prosedürlerin işleyişinin kendileri kadar önemli olduğu görülmüştür (Dyer, Fishburn, Steuer, Wallenius ve Zionts, 1992).

Çok Kriterli Karar Verme araştırması, hızla gelişmiştir ve dikkat gerektiren karmaşık karar problemleri ile başa çıkmak için çeşitli hedefleri veya kriterleri araştırmak, temel alan haline gelmiştir (Lertprapai, 2013).

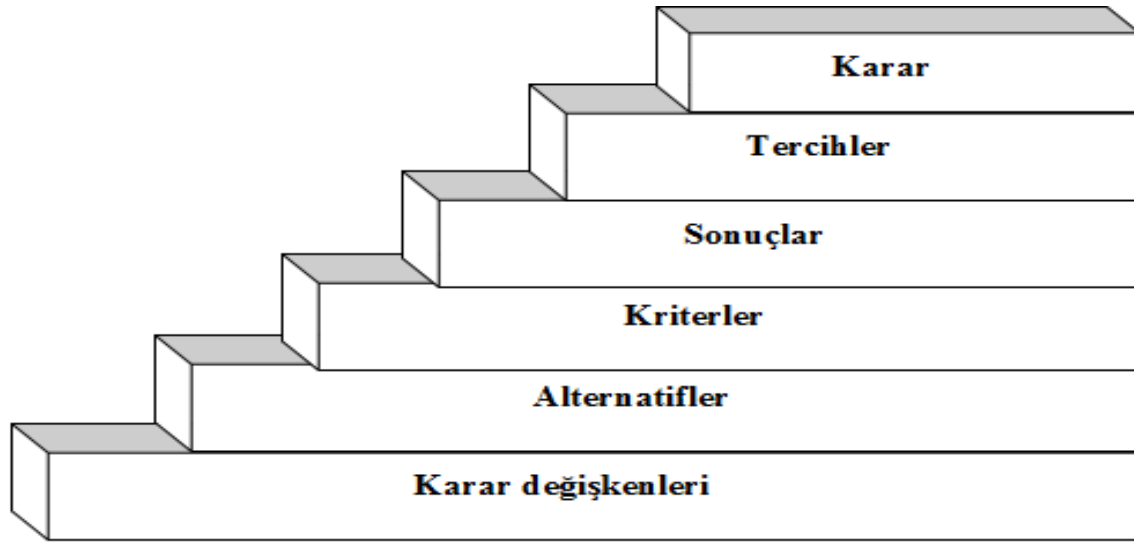
Geçmiş yıllara nazaran ÇKKV yöntemleri, tüm ana alanlarda artış göstermektedir. Bu alanlar şunlardır (Zavadskas, Turskis ve Kildiene, 2014):

- Biçimsel/resmi modeller (Algoritmalar, prosedürler ve seçim paradigmaları)
- Değerlendirme teorileri
- Değerlendirme metodolojileri (Bireyin tercihlerinin ortaya çıkarılması tahmin ve ölçekleme, Çok Kriterli Karar Verme durumlarında subjektif kararları)

ÇKKV disiplininin gelişimi, bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi ile yakından ilgilidir. Karmaşık ÇKKV sorunlarını, sistematik olarak analizini yapmak, son yıllarda bilgisayar

teknolojisinin hızla gelişmesi ile mümkün hale gelmiştir. Öte yandan bilgisayar ve bilgi teknolojilerinin yaygın kullanımı, iş içinde karar vermeyi destekleyen, karar vermede giderek daha önemli ve faydalı olabilecek, büyük bir bilgi miktarı üretmektedir (Xu ve Yang, 2001).

Çok Kriterli Karar Verme modeli, sorunların niteliğine bağlı olarak, çeşitli unsurlardan oluşur. Aşağıdaki Şekil 2’de yer alan elementler, Çok Kriterli Karar Verme modelinin unsurlarıdır.



Şekil 2. Çok Kriterli Karar Verme modelinin unsurları (Habenicht, vd., 2014)

ÇKKV problemleri, genel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Problemin, seçim veya tasarım problemi olup olmadığına bakılarak, Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV) ve Çok Amaçlı Karar Verme olmak üzere sınıflandırılır. ÇAKV yöntemlerinin, değişken karar değerleri vardır, karar vericiler çok sayıdaki seçimler arasında kararlı oldukları tercihleri için, en iyi olanı belirlemelidir. Diğer taraftan ÇNKV de ise, sınırlı sayıdaki alternatifler önceden tespit edilmiştir. ÇNKV, sonlu sayıdaki alternatifler arasından seçim ile ilgili, problemleri çözmek için kullanılan bir yaklaşımdır. ÇNKV yöntemi, seçime ulaşmak için nitelik bilgilerinin nasıl işleneceğini belirtir ve hem nitelikler arası hem de nitelik içi karşılaştırmaları ortaya koyar (Rao, 2007).

Bir çok mevcut seçenekler, çeşitli nitel/nicel ölçütlere göre, belli/belirsiz, aksiyon, seçim, strateji, politika gibi gerçek dünya durumlarının değerlendirildiği riskli ortamlar, Çok Nitelikli Karar Verme süreci içerisinde algılanır (Zavadskas vd., 2014).

Aşağıdaki Tablo 1’de bu iki sınıftaki problemlerin özellikleri arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir.

Tablo 1. ÇAKV ile ÇNKV Problemlerinin Özellikleri Açısından Karşılaştırılması

	Çok Amaçlı Karar Verme	Çok Nitelikli Karar Verme
Kriterlerin Tanımlanması	Amaçlar tarafından	Nitelikler tarafından
Amaçların Tanımlanması	Açık/Belirgin olarak	Kapalı/Net değil
Niteliklerin Tanımlanması	Kapalı/Net değil	Açık/Belirgin olarak
Kısıtlılıklar	Aktif	Aktif değil (Niteliklere dahil edilmiş)
Alternatifler	Sonsuz sayıda, sürekli (süreç sırasında belirir)	Sonlu sayıda, ayrık (önceden tanımlanmış)
Karar verici ile Etkileşim	Çoğunlukla	Çok fazla değil
Kullanım Amacı, Problem Türü	Tasarım	Seçim/Değerlendirme

(Kaynak: Ersöz ve Kabak, 2010)

1.2.1. Çok Amaçlı Karar Verme Tarihçesi

Konu ile ilgili ve bilimsel nitelikli yayınlar, 1950’li yıllardan itibaren karşımıza çıkmaktadır. İlk kez “etkin vektör” kavramını kullanan Koopmans, modern Çok Amaçlı Karar Verme de “baskın çözüm” kavramıyla eş değer anlamında kullanmıştır. Aynı zamanda Kuhn ve Tucker ikilisi etkin çözümlerin oluşturulabilmesi için optimallik koşullarını ortaya atarak “vektör maksimizasyonu” modeli formüle edilmiştir. 1950’li yılların, Çok Amaçlı Karar Verme alanındaki en önemli gelişmelerden biri, Charnes Cooper ikilisinin, Hedef Programlama konusundaki çalışmalarıdır. 1960’lı yıllar boyunca gelişmeler devam etmiş ve özellikle “Çok Amaçlı Simpleks Metodu” ile “Çok Amaçlı Fayda Fonksiyonu” konularına önem verilmiştir. 1970’li yılların yöneylem araştırması ve yönetim bilimi alanlarındaki en hızlı gelişme ise, Çok Amaçlı Karar Verme konuları ile ilgilidir (Kuruüzüm, 1998).

İkinci Dünya savaşı sırasında ve sonrasında, yöneylem araştırmalarında tek amaçlı fonksiyon optimizasyonuna dayanan tekniklerin, birçok alanda kullanımı başarı sağlamıştır. Ancak birden fazla amacı olan problemlerle karşılaşılması sonucunda, problemlerin matematiksel çözümü üzerindeki çalışmaların önem dereceleri artmıştır. Bunun sonucunda, özellikle 1970’li yıllarda, iki ve daha fazla amaç fonksiyonunun optimizasyonuna dayanan yöntemler geliştirilmiştir. Rekabetin yoğun olduğu günümüzde, yöneticiler gerek stratejik, gerekse taktik kararlar alırken birçok ölçütü göz önünde bulundurmak zorunda kalmıştır. Çok Kriterli Karar Verme; Çok Amaçlı Karar Verme ve Çok Nitelikli Karar Verme konularıyla yakından ilgilenen bir teknik halini almıştır (Ciddi ve Erol,2013).

1.2.2. Çok Amaçlı Karar Verme Süreci

Bazı gerçek dünya sorunları tek bir nesnel meseleye indirgenebilir olsa da, çoğu zaman sorunları, tek bir nesnel açıdan tüm yönleriyle tanımlamak zordur. Genellikle ÇAKV, çoklu amaçların tanımlanmasında, daha iyi fikirler verir. Çok amaçlı optimizasyonun, gerçek dünyadaki sorunlarda uygulanması, sürekli artmaktadır. En kısa sürede ve mümkün olduğunca, aynı anda birkaç çelişen amaçların optimize edilebilmesi, artık çözümlerin eş değer kalitede olduğunu gösterir (Abraham ve Jain, 2005).

Karar vericilerin arzuları, onlara hangi yönde çalışmak istediklerini gösterir. Bir ÇAKV probleminin sonucu olarak, karar vericiler hedeflerinin en optimize olanını içerir. Belirli bir durumda, hedeflerin mekân ve zamanının ifade edilmesi, karar vericiler tarafından istenen bir durumdur. Böylece hedeflere ulaşmak için arzu edilenin seviyesinde olunur (Lu vd., 2007).

Çok Amaçlı Karar Verme, birkaç çelişkili objektif amaçlara aynı anda ulaşabilen, en iyi tasarım problemlerini hedeflemektedir. ÇAKV özelliklerinde, bir dizi çelişen amaç ve bir dizi iyi tanımlanmış kısıtlamalar vardır. Bu nedenle, doğal optimizasyon problemleri ile başa çıkmak için matematiksel programlama yöntemi ile ilişkilendirilir (Tzeng ve Huang, 2011).

ÇAKV yöntemleri, alternatif olmayan, önceden belirlenmiş olan bir sorun ile ilgilidir. Sorunun amacı ise, en iyi/en uygun alternatifi tasarlamaktır (Zavadskas vd., 2014).

Çok amaçlı bir optimizasyon problemi çeşitli hedefleri içermektedir. Bu durumda Çok amaçlı optimizasyon problemleri, tek amaçlı optimizasyon probleminden farklı

kılmaktadır. Tek amaçlı problemi optimize ederken, hedef en iyi çözüm planıdır. Ancak çok amaçlı optimizasyon problemi için var olan (muhtemelen çelişkili) birçok hedefi ile genellikle tek bir optimal çözüm yoktur. Bu nedenle karar vericinin, uzlaşma yoluyla sonlu çözüm kümesinden, bir çözüm seçmesi gerekir. Uygun görülen çözüm tüm hedefler üzerinde kabul edilebilir bir sonuç sağlamalıdır (Coello, Lamont ve Veldhuizen, 2007).

Çok Amaçlı Karar Verme problemlerinin, klasik (tek amaçlı) optimizasyon problemlerinden en önemli farkı, matematiksel olarak sadece amaç fonksiyonu sayısından kaynaklanmaktadır. Tek amaçlı optimizasyon problemlerinde çözümün hedefi, amaç fonksiyonunun, en iyi değerini veren değişkenlerin belirlenmesidir. Bu sebeple klasik optimizasyon problemlerinde, amaç fonksiyonunun optimum değeri tektir. Diğer yandan Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu sayısı birden fazla ve birbiriyle çelişkili olması nedeniyle, klasik optimizasyon problemlerinden farklı olarak optimal çözüme sahip olmaları hemen hemen imkansızdır. Çünkü bu amaç fonksiyonları, uygun çözüm bölgesinin farklı değişken ve bunların farklı değerlerine göre, optimum değeri almaktadır (Umarusman, Bezgen ve Yavuz, 2012).

Çok Amaçlı Karar Verme problemlerinde, birbiri ile çelişen birden fazla amaç vardır. Bazı amaçlar diğer amaçlara göre daha yüksek bir öncelikte veya eşit öncelikte olup, farklı ağırlıkta olabilir. Böyle durumlarda çelişen amaçları optimum kılan tek bir çözüm bulunamayacağından, bunun yerine her amacın önem ve ağırlık derecesini, temel alan uzlaşık çözümler bulunabilir. Bu uzlaşık çözümler kümesi, her bir amaç için tek amaçlı optimizasyon ile elde edilecek çözümler kümesinden farklı olacaktır (Yılmaz, 2005).

Çok Amaçlı Optimizasyon problemleri farklı tipteki amaç fonksiyonlarına göre aşağıdaki gibi ifade edilir (Lai ve Hwang, 1994).

Maksimizasyon yönlü amaç fonksiyonları için,

$$Z_k(x) = [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_l(x)] \quad (1.1)$$

Minimizasyon yönlü amaçlar için,

$$W_s(x) = [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_r(x)] \quad (1.2)$$

olmak üzere matematiksel olarak;

$$\text{Maksimize } Z(x) = \sum_{k=1}^l Z_k(x)$$

$$\text{Minimize } W(x) = \sum_{s=1}^r W_s(x)$$

Kısıtlar; (1.3)

$$g_i(x) \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \otimes 0$$

$$x_j \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,l \text{ ve } s=1,2,\dots,r$$

modeli ile ifade edilir. Burada $\otimes$ işaretiyle " $\leq$ ", " $=$ ", " $\geq$ " eşitsizlik durumları genelleştirilmiştir. Problemin uygun çözüm bölgesi X ile gösterilir ve $X = \{x \in \mathbb{R} : g_i(x) \otimes 0, x \geq 0, \forall i, j\}$ şeklinde tanımlanır. Optimizasyon problemleri uygun çözüm alanı X içerisinde bir x^* ($x \in X$) değerini araştırır ve amaçların maksimum veya minimum değerlerini belirler (Li,1990).

1.2.3. Çok Amaçlı Karar Vermede Kullanılan Temel Kavramlar

Çok Amaçlı Karar Vermede, karar verme işlemiyle uğraşan karar vericilerin yanı sıra, bir takım kavramlar da mevcuttur. Çok Amaçlı Karar Vermede en çok kullanılan terimler; hedefler, kriterler, amaçlar, nitelikler, kısıtlar olarak tanımlanmaktadır.

Anlam çatışmalarını önlemek ve kullanım şekillerini açıklığa kavuşturmak için bu kavramları açıklamakta fayda vardır. Bu kavramlar aşağıda açıklanmıştır (Hwang ve Masud, 1979).

1.2.3.1. Hedefler

Karar vericiler tarafından, belirli bir durumun zaman içinde istenen terim olarak tanımlanabilir. Hedefler istenilen yönde, arzu edilen düzeyde olmalıdır.

1.2.3.2. Kriterler

Kriterlerin kabul edilebilir olması, karar vericinin kurallarına da bağlı olarak tanımlanabilir. Literatürde kriter; amaç, hedef ve nitelik kavramlarını da kapsayacak şekilde kullanılabilmektedir. Bu tanımlar doğrultusunda, ÇAKV problemi en genel halde aşağıdaki gibi açıklanabilir:

$$\text{Max} = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)] \quad (1.4)$$

Kısıtlar;

$$g_j(x) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m$$

Buradaki x , n -boyutlu karar değişkenleri vektörüdür. Problem k tane amaç, m tane de kısıt olduğunu ve n ise karar değişkenlerinin sayısını göstermektedir. Bu problem aynı zamanda (VMP), yani Vektör Maksimizasyonu Problemi (VMP) olarak da bilinmektedir. VMP olarak anılan bu problemde, $g_j(x) \leq 0, j = 1, \dots, m$ kısıtlar takımı karar değişkenlerinin alabileceği en büyük ve en küçük değerleri belirlemekte ve böylece mümkün olan çözüm alternatiflerini tanımlamaktadır. ÇAKV problemlerinde, olurlu bölge ya da uygun bölge olarak bilinen bu bölge, kısıtlar setini tatmin eden, karar değişkenleri setidir.

Bu bölgeyi X ile gösterip aşağıdaki gibi matematiksel olarak ifade edilebilir:

$$X = \{x \mid g_j(x) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m\} \quad (1.5)$$

Karar değişkenleri uzayında X olarak belirlenen olurlu bölgeye karşın, amaçlar uzayında S ile gösterebileceğimiz olurlu bölge aşağıdaki gibi olacaktır:

$$S = \{f(x) \mid x \in X\} \quad (1.6)$$

1.2.3.3. Amaçlar

Kriterlerin, karar vericilerin arzuları doğrultusunda, yönlendirilmiş şekli olarak tanımlanabilir. Amaçlar için diğer önemli husus ise amaçların bir hiyerarşi şeklinde sıralanmasıdır. Böyle bir durumda amaçlar bir üst düzey için bileşenin gördüğü işlev, yerine getirilir. Gelişmekte olan bir ülke hükümeti için kalkınma planları yapma problemi, düşünülecek olunursa, hükümetin amaçları; ulusal geliri maksimize etmek, yabancı yardıma bağımlılığı en aza indirmek, işsizlik oranını azaltmak gibi durumlar söz konusu olacaktır.

1.2.3.4. Nitelikler

En genel halde öz nitelik, alternatiflerin temel özellikleri, kaliteleri veya performans parametreleri olarak tanımlanabilir. Çok Nitelikli Karar Verme problemlerinin belirlenmesinde alternatif havuzundan “en iyi” alternatif seçilmelidir. Bu durum şöyle bir örnekle açıklanabilir. Şehrin gelecekteki genişlemesinin yönünü tayin eden bir şehir komisyonu problemini ele alalım. Arazinin jeolojik yapısı yüzünden planlamacılar

tarafından şehrin büyüme yönü Doğu, Güney-doğu, ve Batı yönlerinden biri ile belirlenir. Burada karar vericilere üç alternatif sunulur ve onlar şehir için en iyi olacak alternatiflerden birini seçmek zorundadır. Alternatifler, komisyon tarafından belirlenen niteliklerle karşılaştırılır. Nitelikler, servis genişletme maliyeti, şehir merkezini etkileyen hayati durum, sel baskını ihtimali, dinlenme tesislerine yakınlık vb. gibi durumlar olabilir.

1.2.4. Çok Amaçlı Karar Verme Tekniklerinin Çözüm Tipleri

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde tek tip çözüm sonucu elde edilemediğinden, belirlenen çözümlerin yapısına göre farklı isimlerle adlandırılır. Bu farklı çözümler aşağıdaki başlıklarla ifade edilmiştir (Lai ve Hwang, 1994).

1.2.4.1. Optimal Çözüm

Bir vektör maksimum problemi için optimal çözüm, her bir amaç fonksiyonunun maksimum değerinin aynı değişkenlere göre belirlenmesidir. ÇAKV problemlerinde, amaçların birbirleriyle zıt olması sebebiyle optimal çözüme genellikle ulaşılmaz. Bir optimal çözüm için aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$\forall x \in X \text{ için } x^* \in X \text{ ve } Z_k(x^*) \geq Z_k(x) \quad (1.7)$$

1.2.4.2. İdeal Çözümler

İdeal çözümler pozitif ideal çözüm ve negatif çözüm olmak üzere iki farklı şekilde incelenir. Maksimizasyon ve minimizasyon yönlü amaçlar için pozitif ideal çözüm;

$$Z_k^* = \underset{x \in X}{\text{Maksimize}} Z_k(x) \quad (1.8)$$

$$Z_k^* = \underset{x \in X}{\text{Minimize}} W_r(x) \quad (1.9)$$

olarak belirlenir.

Her iki amaç fonksiyonu için pozitif ideal çözüm kümesi;

$$I^* = \{Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_l^*; W_1^*, W_2^*, \dots, W_r^*\} \quad (1.10)$$

gösterilir.

Maksimizasyon ve minimizasyon yönlü amaçlar için negatif ideal çözümler;

$$Z_k^- = \underset{x \in X}{\text{Minimize}} Z_k(x) \quad (1.11)$$

$$W_k^- = \underset{x \in X}{\text{Maksimize}} W_k(x) \quad (1.12)$$

olarak belirlenir. Negatif ideal çözümler kümesi;

$$I^- = \{Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_l^-; W_1^-, W_2^-, \dots, W_r^-\} \quad (1.13)$$

şeklinde ifade edilir.

Çok Kriterli Karar Verme problemini, ideal çözüm tüm kar kriterlerini maksimize, maliyet kriterlerini ise minimize kılmaktadır. (Xu ve Yang, 2001).

1.2.4.3. Üstün Olmayan Çözüm

Bu çözüm, ÇAKV içerisinde ikincil çözüm, etkin çözüm olarak kullanılır. Ekonomide Pareto çözüm, istatistiksel karar teorisinde kabul edilebilir alternatifler olarak adlandırılır. Üstün olmayan çözümlerin kümesi S olmak üzere,

$$\exists x' \in X$$

$$Z_{k'}(x') > Z_{k'}(x) \quad \text{ve} \quad Z_k(x') > Z_k(x), k \neq k' \quad (1.14)$$

veya

$$W_s(x') < W_s(x) \quad \text{ve} \quad W_s(x') < W_s(x), s \neq s' \quad (1.15)$$

genel olarak üstün olmayan çözümlerin sayısı oldukça fazladır.

Çok Amaçlı Doğrusal Programlama, üstün olmayan çözümler kümesinde çözüm sayısı oldukça fazladır. p- tane birisine göre optimallik kavramı diğer “p-1” adet amaçlar için genellikle optimal değildir. Bu yüzden öncelikli olarak yapılması gereken tek bir optimal çözümün araştırılması yerine, çok amaçlı programlama problemlerinde uygun çözüm alanı içerisinde üstün olmayan çözümler kümesinin tanımlanmasıdır. Üstün olmayan çözümlerin değerlendirilmesinde ideal çözüm noktalarına yakınlık belirlenirken, hangi metottan yararlanılacağı ile pozitif ve ideal çözümlere göre yapılan değerlendirmenin nasıl yapılacağı, önemli bir süreçtir. İdeal çözümlere yakınlığı belirleme metotları ise Step Metot, Geoffrion-Dyer-Freidberg Metot, Zoints ve Wallenius Metodu gibi interaktif Metotlardır (Umarusman ve Türkmen, 2015).

1.2.4.4. Tatminkâr Çözüm

Çok amaçlı evrimsel algoritma kullanılarak seçilecek olan çözüm, genelde yönetimin vereceği bir karar olmaktadır. Seçilecek bu tekil çözüm “tاتمinkâr-uzlaşmış en iyi çözüm” olarak adlandırılmaktadır. Bu tekil çözüm karar vericinin sezgilerine dayanır (Acar ve Durucasu, 2014).

Tatminkar çözümü elde etmek için deneysel verilerin katsayıları tanımlanır. Veri kümesi büyük ise tatminkar sonuç elde edebilmek için tahmin edilen katsayıların sayısı azaltılır. Böylece daha kapsamlı bilgi elde edilir (Tzeng ve Huang, 2011).

1.2.4.5. Baskın çözüm

İdeal bir çözüm elde edilememiş ise karar verici, baskın çözümü önerebilir (Xu ve Yang, 2001). Amaç fonksiyonları arasından en az birinde gerileme olmaksızın, diğer bir amaç fonksiyonunda gelişme sağlanamayan çözümlere “baskın çözüm” denilmektedir. Baskın çözümlerin sayıları bir hayli fazla olabilir. Bu durumda karar verici diğer bazı kriterleri göz önünde bulundurarak, sonunda en tatmin sonuca karar vermelidir. Böylece seçilen bu sonuç “tercih edilen çözüm” veya “en iyi çözüm” yahut da “en iyi uzlaşık çözüm” olarak adlandırılır (Evren ve Ülengin, 1992).

1.2.5. Çok Amaçlı Karar Modellerinin Yapısı

Çok amaçlı karar modellerinde temel yapı;

- Yargı kriterleri kümesi
- Karar değişkenleri kümesi
- Alternatifleri kıyaslama süreci
- Baskın çözümler kümesi

gibi ortak nitelikleri dikkate alarak uygun çözüm alanı içerisinde karar vericinin, en iyi amaç değerlerini saptaması üzerine kurulmuştur. Birbiriyle çelişir nitelikteki amaçlar belirli kısıtlar altında karar vericinin arzu ve beklentilerine göre genel bir uzlaştırma çalışmasıdır. Sonuç olarak üç ana yaklaşımla sözü edilen uzlaşmaya varılmaya çalışılır (Kuruüzüm, 1998):

- Karar vericinin özelliklerine uygun bir fayda fonksiyonu oluşturularak fayda fonksiyonunu maksimize edilir.

- Karar vericinin ve modelin özelliklerine uygun olarak amaçlardan biri optimize edilir, sonra bu optimizasyonu bozmayacak şekilde ikinci amaç için mümkün oldukça iyi değer elde edilmeye çalışılır, üçüncü amaç için de her iki amacın mevcut değerini bozmayan olabildiğince iyi değere ulaşılmaya çalışılır ve diğer amaçlar içinde hemen hemen aynı yöntemlerle ilerlenmelidir..
- Karar vericinin ve modelin özelliklerine uygun tanımlanan ceza fonksiyonu minimize edilir.

1.2.6. Çok Amaçlı Karar Modellerinde Matematiksel Yapı

Son zamanlarda çok amaçlı programlama modeli matematik ve mühendislik alanlarında daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Çok amaçlı programlamaya ilginin artmasının birçok nedeni vardır. Bunlardan birincisi ve en önemlisi; birçok karar probleminin doğası gereği çok amaçlı olmasıdır. Üretim planlaması problemleri veya stok programlama problemleri gibi konular çok amaçlı problemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Böyle bir durumla karşılaşılmasının da bir sebebi vardır. Örneğin; üretim işletmesinde bir yandan kapasite artırımı hedeflenirken, diğer yandan da sermaye ve maliyeti en aza indirme, çevre koşullarının üretime uygunluğu ve müşteri memnuniyeti gibi amaçlar da güdülmektedir. İkinci nedeni ise; birçok üretim planlama probleminde çok sayıda “standart” ı (ISO 9000, 9001 vb.) kabul etmek ve sektördeki endüstri uyumunu sağlamak zorundadır. Üçüncü neden ise; son zamanlarda ki hesaplama kolaylığı ve çözüm hızında pek çok gelişmenin gerçekleşmesidir. Ayrıca bilgisayardaki gelişmeler problem çözümlerine büyük katkıda bulunmuştur. Bunun sonucunda da Çok Amaçlı Matematiksel Programlama algoritmaları daha çok kullanılmaya başlanmıştır (Atlas, 2008).

Çok amaçlı karar problemlerinin, genel olarak matematiksel yapısı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Kuruüzüm, 1998).

$$\text{Max } f_1(x) = Z_1 \quad (1.16)$$

$$\text{Max } f_2(x) = Z_2$$

.

$$\text{Max } f_t(x) = Z_t$$

Kısıtlar;

$$g_j(x) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m$$

Burada t tane amaç fonksiyonu ve m tane kısıtlayıcı koşul söz konusudur. Problemin karar değişkenleri x vektörüdür.

$$\text{Max } U(Z_1, Z_2, \dots \dots Z_t) \quad (1.17)$$

$$f_k(x) \leq Z_k, \quad 1 \leq k \leq t$$

$$g_j(x) \leq 0$$

şeklinde ifade edilen gösterim ile uzlaşmaya çalışırken kullanılan üç yaklaşımdan birincisi temsil eder. Burada ki U modelin fayda fonksiyonunu oluşturmaktadır. Bu gösterim Vektör Maksimum Problemi (VMP) olarak da ifade edilmektedir.

$$\text{Max } k = \sum_{k=1}^t w_k f_k(x) \quad (1.18)$$

Kısıtlar;

$$g_j(x) \leq 0$$

$$w, \text{ ağırlık vektörüdür ve genellikle } \sum_{k=1}^t w_k = 1 \quad (1.19)$$

Karar verici birbiriyle çelişir nitelikteki amaçları belirli kısıtlar altında kendi arzu ve beklentilerine göre uzlaştırmaya çalışırken kullandığı ikinci yaklaşıma uygun bir genel gösterim de aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Max } f_p(x) \quad (1.20)$$

Kısıt;

$$g_j(x) \leq 0$$

$$f_t(x) \geq \alpha_t, \quad t = 1 \dots \dots k \text{ ve } t \neq p$$

$\alpha_t = t$. Amaca ait belirlenmiş değer. Hedef programlama modelinin iteratif çözüm yöntemi bu yaklaşıma bir örnek olarak gösterilir.

Karar vericinin uzlaştırma çabası içerisinde kullandığı üçüncü yaklaşım, daha çok “Hedef Programlama” ve “Uzlaşık Programlama” problemlerinde kullanılmaktadır. Genel olarak:

$$\text{Min } G = \sum_{k=1}^p w_k \cdot d_k \quad (1.21)$$

Kısıtlar;

$$g_j(x) \leq 0$$

şeklinde ifade edilir. Burada, d_k , k amacın optimal (veya hedef) değeri ile diğer baskın çözüm değeri arasındaki uzaklık ölçüsüdür. W_k , seçimliktir ve ağırlık ölçüsü olarak tanımlanabilir (Kuruüzüm, 1998).

1.2.7. Çok Amaçlı Karar Verme Sürecinde Kullanılan Metotlar

Bu metotlar Tablo 2’de aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

Tablo 2. ÇAKV Metotlarının Bilgi Çeşidine Göre Kullanılan Metotlar

BİLGİ AŞAMASI	BİLGİ TİPİ	METODUN TEMEL SINIFI
1.Tercih Bilgilerinin Kullanılmadığı Metot		1.1.1.Global Kriter Metodu
2.Tercih Bilgilerinin Öncelikli Kullanıldığı Metotlar	2.1.Kardinal Bilgi	2.1.1.Fayda Fonksiyonu 2.1.2.Sınırlandırılmış Amaç Fonksiyonu
	2.2. Ordinal ve Kardinal Bilgi	2.2.1.Lexicographic Metod 2.2.2.Hedef Programlama 2.2.3.Hedef Atama Metodu
3.Tercih Bilgilerinin Optimizasyon Sırasında Kullanıldığı Metotlar	3.1.Belirgin Etkileşim	3.1.1.Geoffrion Metodu ve İnteraktif 3.1.2.Hedef Programlama 3.1.3.Değer Değişim Metodu 3.1.4.Tatminkâr Hedefler Metodu 3.1.5.Zionts-Wallenius Metodu
	3.2.Dolaylı Etkileşim	3.2.1. STEM ile ilgili Metotlar 3.2.2. SEMOPS ve SİGMOP Metotları 3.2.3. Displaced İdeal Metodu 3.2.4. GPTSEM Metodu 3.2.5. Steuer Metodu
4.Tercih Bilgilerinin Optimizasyon Sonrası Kullanıldığı Metotlar	4.1.Dolaylı Etkileşim	4.1.1. Parametrik Metot 4.1.2. Kısıtlar Metodu 4.1.3. MOLP Metotları 4.1.4. Uyarlanmış Araştırma Metodu

Kaynak: Lu, Zhang, Ruan ve Wu, 2007

Amaç fonksiyonu sayısının artırılmasıyla Çok Amaçlı Karar Verme bilimi ortaya atılmıştır. Problemin çözümü sırasında farklı şekillerde ele alınan birçok yöntem vardır. Bunlar (Hwang ve Masud, 1979):

1.2.7.1. Tercih Bilgilerinin Kullanılmadığı Metot

Burada Global Kriter Metodu ile karşılaşılır. Karar vericinin ne çözüm sürecinden önce ne çözüm sürecinde nede çözüm sürecinden sonra bilgisine ihtiyaç duyulmadan problemin kısıtları ve amaçları tanımlanır. Karar tercihleri ve belirlediği çözümler hakkında analizi yapan kişi varsayımlarda bulunur (Hwang ve Masud, 1979).

1.2.7.2. Tercih Bilgilerinin Öncelikli Kullanıldığı Metotlar

Matematiksel olarak formüle edilmeden önce belirlenen hedefler hakkında bilgi verilir. Bilgiler kardinal ve ordinal olarak ayrılır ve bu özelliklerine göre de metotlar uygulanıp, çözüme ulaşılır. Bu tür öncelikli yaklaşımlar ile optimum çözümlere yaklaşmak daha kolay olmaktadır. Ancak karar vericinin tercih bilgisini belirlemede bazı güçlüklerle karşı karşıya kalması da en büyük dezavantajdır. Çünkü öncelikli tercihlerde bulunmak bir anlamda belirsizlik altında tercih yapmak demektir (Atlas, 2008).

1.2.7.3. Tercih Bilgilerinin Optimizasyon Sırasında Kullanıldığı Metotlar

İnteraktif metot olarak da bilinen bu yöntem, çözüm süreci içerisinde karar verici-bilgisayar veya karar verici-analist arasında her aşamada, karşılıklı diyalog oluşturulur. Her iterasyonda yeni çözümün belirlenmesi amacı ile karar verici tercih bilgilerini kullanır. Tercih bilgilerinin çözüm sürecinde kullanılan yaklaşımlar, karar vericilere bazı avantajlar ve dezavantajlar sağlamaktadır. Bunlar şöyle sıralanabilir (Atlas, 2008):

Avantajlar:

- Önceden tercih bilgisi verilmesine gerek kalmamaktadır.
- Sadece tercih bilgisi gerekir.
- Karar verici ilk adımdan itibaren her adımını daha iyi analiz ederek, anlamaya çalışır.

- Karar verici, araştırma içerisinde daha aktif bir şekilde görevlerini yerine getirdikçe nihai çözümü kabullenme ve uygulama olasılığı artar.

Dezavantajlar:

- Karar vericiler tercihlerini ifade edebildiği kadar, çözüme bağlı kalacaktır.
- Karar verici araştırmanın başından sonuna kadar yüksek çaba göstermek zorundadır.
- Karar vericinin tercihlerine göre çözümler şekil alır. Eğer karar verici tercihlerini değiştirecek olursa çözüm süreci baştan başlatılarak çözüme ulaşılmalıdır.
- Son zamanlarda daha fazla bilgisayar hesaplamaları ile hareket edilir. Bu durum da önceki kullanılan yöntemlere göre daha fazla çaba sarf ettirmektedir.
- Bu yaklaşımlar karar vericiye ağır yükler yüklemekte ve bu yaklaşımlarda çoğu amaç ve kısıtlayıcı yaklaşımlar doğrusallık ve farklılaşabilme varsayımını temel aldıklarından dolayı kolay uygulanamamaktadır.

1.2.7.4. Tercih Bilgilerinin Optimizasyon Sonrasında Kullanıldığı Metotlar

Karar verici baskın olmayan çözüm kümesinden bir alt küme belirleyerek bu kümenin içerisinde en tatminkâr olan çözümü seçer. Bu yaklaşımların en büyük avantajı; karar vericilerin tercihleri çözümlerden bağımsız olmasıdır. Çözüm bir kez yapılmaktadır. Bir diğer avantaj ise çok sayıda çözümün olması ve karar vericinin seçim yapmak zorunda kalmasıdır. Dezavantajı ise; algoritmaların karmaşıklığı nedeniyle karar vericilerin, anlamakta güçlük çekmesidir (Atlas, 2008).

İKİNCİ BÖLÜM

UZLAŞIK PROGRAMLAMA

2.1. Uzlaşık Programlamanın Tarihçesi ve Tanımı

Çok Amaçlı Karar Verme modelleri hakkında son zamanlarda yoğun çabalar sarf edilmektedir. Ancak çok amaçlı problemlerde, geleneksel optimizasyon yöntemleri her zaman uygun çözüm sağlayamayabilir. Bu yüzden farklı yöntemlere de başvurma gereği duyulmuştur.

Birbiri ile çelişen ve birbirini ters yönde etkileyen amaçlar için optimum çözümden söz etmek zorlaşmaktadır. Örnek olarak işletmenin karını maksimize etmeyi amaçlarken diğer yandan maliyetini minimize kılmayı hedeflemeyi verebiliriz (Bölat ve Kuzucu, 2006). Bu yüzden her bir amaç için optimum olan çözümlerin belirli bir şekilde, karar vericinin tercihlerine göre, bir çözümler kümesi veya uzlaşık bir çözüm oluşturulur. Birbiriyle çelişen kriterlere sahip bir problemin uzlaşık çözümü, karar vericinin arzu edilen seviyeye en yakın olan uygun çözüme ulaşmasını sağlar (Kaya, İpekçi Çetin ve Kuruüzüm, 2011).

Uzlaşık Programlama yöntemi ilk defa Zeleny tarafından önerilen Çok Kriterli Karar Verme yöntemidir (Öztel, Köse ve Aytekin, 2012).

Her bir amacın farklı olduğu uygun olmayan çözümlere, üstün olmayan çözümler denir. Burada karşılaşılan problemin çözümü, üstün olmayan çözümler ile ideal çözümler arasındaki yakınlığın minimize edilmesi ile gerçekleştirilecektir. Bu süreci gerçekleştiren ve iki çözüm arasındaki yakınlığı en aza indirgeyerek uzlaşık sağlayan yaklaşım ise Uzlaşık Programlama olarak karşımıza çıkmaktadır (Yaralıoğlu ve Umarusman, 2010).

Uzlaşık Programlama, çoklu hedeflere ulaşma kapasitesine sahip bir matematiksel programlama tekniği olup, kriterler arasındaki yüksek seviyeli anlaşmazlıkların var olduğu durumlarda istenen amaçların tümünün en iyi şekilde ve eş zamanlı çözümüne

izin vermemektedir. Bu durumlarda amaçlar arasındaki uzlaşık çözümü bulmak daha rasyonel görünür (Antomil, Arenas, Bilbao Pérez Gladish ve Rodríguez Uría, 2004).

Uzlaşık Programlama, ütopya noktasına en yakın etkin noktayı bulan bir yaklaşımdır. Yani etkin nokta ile ütopya noktası arasındaki mesafeyi ölçmede yararlanılan önemli bir konudur (Chen, Wiecek ve Zhang, 1998).

UP tekniği, en uygun çözüme ulaşabilmek için iki veya daha fazla amaç fonksiyonunun eş zamanlı optimizasyonunu, etkin çözümler kümesini ve bu kümeye verimli çözümler üretilmesini sağlar. İdeal bir çözüme ulaşabilmek için, her bir hedefin değerine, en uygun olabilecek koordinatlar belirlenir. Böylece Uzlaşık Programlama tekniği ideal çözüme en yakın, uygun çözüm kümesinin seçimine izin verir (Duval ve Featherstone, 1999).

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde literatürde sıklıkla kullanılan ve amaç fonksiyonlarının birleştirilmesine yönelik yaklaşımlardan biri olan Uzlaşık Programlama, her bir amacın optimal değerlerinden, sapma miktarları toplamı en aza indirgenerek, en iyi uzlaşık çözüme ulaşılmaya çalışılır (Özcan ve Erol, 2013). Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, “optimum” çözüm yerine, “en iyi uzlaşık çözüm (en iyi çözüm / tercih edilen çözüm)” araştırılır (Ciddi ve Erol, 2013).

Uzlaşık çözüm araştırılmasında;

- ❖ Fayda Yaklaşımı,
- ❖ Hedef Programlama Yaklaşımı,
- ❖ İnteraktif Yaklaşım,
- ❖ Bulanık Mantık Yaklaşımı olmak üzere dört temel yöntem mevcuttur (Yaralıoğlu ve Umarusman, 2010).

2.2. Uzlaşık Programlamanın Matematiksel Yapısı

İdeal çözümlere yakınlığın yani, arzu edilen çözümler ile ideal çözümler arasındaki uzaklığın minimizasyonu Uzlaşık Programlama ile gerçekleştirilir. Uzlaşık Programlama, ÇAKV problemlerinin birden fazla amaç fonksiyonu arasında uzlaşık çözümünü araştırır. Uzlaşık Programlama matematiksel olarak aşağıdaki gibi oluşturulur (Zeleny, 1973).

Uzlaşık programlama çözümü için ilk adım, her bir amaç fonksiyonuna göre pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesidir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm noktalarına göre uzlaşık çözüm araştırılır.

Burada hedeflenen konu ise pozitif ideal çözüm ile negatif ideal çözüm arasındaki mesafenin en aza indirgenmesidir. (1.10) ve (1.13) ifadeleri göz önünde bulundurulmalıdır (Umarusman, 2007).

Pozitif ideal çözümler;

$$I^+ = \{Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_l^*; W_1^*, W_2^*, \dots, W_r^*\}$$

ve

Negatif ideal çözümler;

$$I^- = \{Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_l^-; W_1^-, W_2^-, \dots, W_r^-\}$$

Uzaklık derecesi D olmak üzere;

$$D_p = \sum_{k=1}^l \alpha_k^p [Z_k^*(x) - Z_k(x)]^p + \sum_{s=1}^r \alpha_s^p [W_s(x) - W_s^*]^p \quad (2.1)$$

formülasyonu ile amaç fonksiyonları arasındaki uzaklıklar minimize edilir. Bu formülasyonda;

p : uzaklık parametresi ($1 \leq p < \infty$)

Z_k^* : maksimizasyon yönlü amaçlar için pozitif ideal çözüm

W_k^* : minimizasyon yönlü amaçlar için pozitif ideal çözüm

α_k : maksimizasyon amaçlar için göreceli ağırlık ($\alpha_k > 0$)

α_s : minimizasyon amaçlar için göreceli ağırlık ($\alpha_s > 0$); $\sum_{k=1}^l \alpha_k + \sum_{s=1}^r \alpha_s = 1$

ÇAKV problemlerinde her bir amaç fonksiyonunun birimleri arasında farklılıkların olabileceği göz önünde bulundurularak (1.1) formülasyonu ile bir araya getirilen amaç fonksiyonları için bir normalleştirme süreci kaçınılmazdır. Normalleştirme işlemi, ölçekleme fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilir. Maksimizasyon ve minimizasyon yönlü amaçlar için ölçekleme fonksiyonları aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$S_k(d_k) = \frac{Z_k^* - Z_k(x)}{Z_k^* - Z_k^-} \quad (2.2)$$

$$S_s(d_s) = \frac{W_s^* - W_s(x)}{W_s^- - W_s^*} \quad (2.3)$$

(2.2) ve (2.3) formülasyonları ile (1.3) ÇAKV problemi için aşağıdaki dönüşüm gerçekleştirilir.

$$\min_{x \in X} \left\{ D_p = \sum_{k=1}^l \alpha_k^p \left[\frac{Z_k^* - Z_k(x)}{Z_k^* - Z_k^-} \right]^p + \sum_{s=1}^r \alpha_s^p \left[\frac{W_s^* - W_s(x)}{W_s^* - W_s^-} \right]^p \right\}, \quad p \in [1, \infty] \quad (2.4)$$

ÇAKV metotları açısından uzaklık parametresi p için en önemli değerler 1,2 ve ∞ 'dur. $p = 1$ için D-Öklid uzayında en geniş uzaklığı, $p = 2$ için D-Öklid uzayında en kısa uzaklığı belirler. Diğer yandan $p = \infty$ için en geniş uzaklık tamamen domine edilir. $p = \infty$ değerine göre (2.4) için Uzlaşık Programlama modeli aşağıdaki gibi elde edilir.

Minimum D_∞

Kısıt; (2.5)

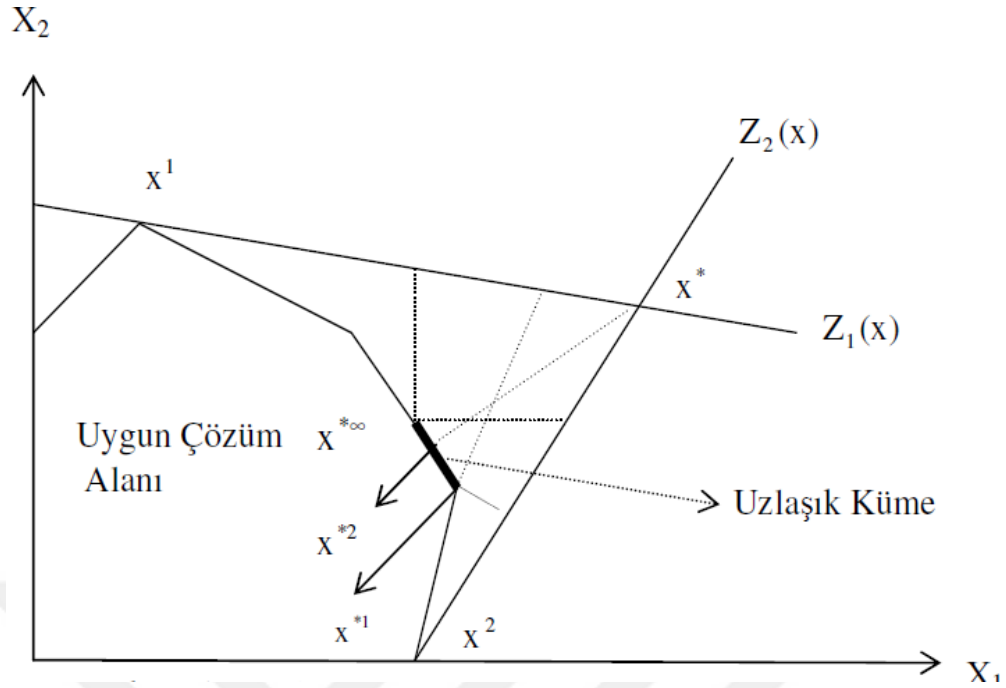
$$D_\infty \geq \alpha_k \left[\frac{Z_k^* - Z_k(x)}{Z_k^* - Z_k^-} \right]$$

$$D_\infty \geq \alpha_s \left[\frac{W_s^* - W_s(x)}{W_s^* - W_s^-} \right]$$

$$x \in X$$

$p = \infty$ için (2.5) üstün olmayan çözümler kümesi içerisinde uzlaşık çözüm olarak isimlendirilir. Uzlaşık Programlama çözümünün sonucu $0 \leq D \leq 1$ aralığı içerisinde. D değerinin sıfır olması amaç fonksiyonlarının ideal değerlerinin elde edildiğini göstermektedir. D değerinin bire eşit olması ise amaç fonksiyonlarının ideal olmayan değerlere eşit olduğunu gösterir. Bu iki durum dikkate alınarak, uzaklığın normalleştirilmiş derecesi amaç fonksiyonlarının ideal değerlere göre başarı yüzdesini gösterir.

(2.5) formülasyonu üstün olmayan çözümler kümesi içerisinde uzlaşık çözüm olarak adlandırılır. $p = 1, 2$ ve ∞ için uzlaşık çözümün grafiksel olarak gösterimi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Uzlaşık çözüm kümesi(Umarusman, 2007)

Şekil 3'teki iki amaç fonksiyonu ve dört kısıta sahip iki değişkenli ÇADP problemine ait uygun çözüm alanı verilmiştir. x^1 noktası $Z_1(x)$ amaç fonksiyonu için ve x^2 noktası $Z_2(x)$ amaç fonksiyonu için optimum noktaları göstermektedir. x^* noktası ise her iki amaç fonksiyonunun eş zamanlı değişkenlere göre optimum olduğu ideal çözüm noktasıdır. $p=1,2$ ve ∞ değerlerine göre x^* noktasından uzaklıklar sırasıyla x^{*1}, x^{*2} ve $x^{*\infty}$ olarak gösterilmiştir. Bu noktaların uzlaşık çözüm kümesi olarak adlandırılır (Umarusman, 2007).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK MANTIK

3.1. Bulanık Mantık Kavramı ve Kapsamı

Bulanık mantık insan gibi düşünmeyi ele almış ve bunları matematiksel modellere çevirerek işlemler yapan bir daldır. Bulanık mantığın temeli bulanık küme ve alt kümelerle dayanır.

3.1.1. Bulanık Mantık Kavramı

Mantık sisteminin temel hedefi, verilen önermelerden yeni önermeler çıkarabilmek ve bu önermelerin doğruluk değerini belirlemektir. Doğru veya yanlış olduğu yönünde kesin hükümlerin bildirildiği ifadelerle “önerme” denilmektedir. Bu önermelerin doğru veya yanlış olması durumuna göre bazı sayısal değerlere bürünmektedir bu sayısal değerlere de “doğruluk değeri” denir. Sözel ifadeler, önermelerin doğru veya yanlış kabul görmesini sağlayan bir araçtır. Sözel ifadeler verilen hükümlerle birebir bağlantısı olduğu kümelerin sınır koşulu olarak tanımlanmaktadır. Bir kümeye üye olup olmadığı araştırılan nesne, oluşturulan sınır koşuluna üye ise, bu nesnenin kümenin elemanı olduğu, ancak oluşturulan sınır koşulunun ilgili nesne için karşılanmadığı bir durumda ise söz konusu nesnenin, kümenin elemanı olmadığı söylenir. Ayrıca önermenin doğru olduğu kabul edilirse, bu önermenin doğruluk değeri 1 sayısı ile eşlenir. Eğer bir önermenin yanlış olduğu veya oluşturulan sınır koşulunun karşılanmadığı kabul edilirse, bu durumda ilgili önermenin doğruluk değeri 0 sayısı ile eşlenir (Özkan, 2003).

Zadeh, Bulanık Küme Teorisinin, aşamalı bir kavram olduğunu, her şeyde bir esneklik bulunduğunu ya da her şeyin bir derece meselesi olduğunu belirtmiştir. Gerçek hayatta birçok sistem karmaşık veya çok kötü tanımlanmış olabilir. Sistemler veya kavramlar gelişmiş gibi görünüyorsa da sadece işlemlerin, algı ve anlayış durumu, o kadar da

basit değildir. Bulanık kümeler veya onların üyelik dereceleri kullanılarak bu tür kantitatif ve kalitatif sistemlerin analiz edilmesine olanak tanınmaktadır (Kecman, 2001).

Tablo 3. Klasik Küme ile Bulanık Küme Arasındaki Farklar

Klasik Küme	Bulanık Küme
Ya da	Ve
İki değerli	Çok değerli
Evet ya da hayır	Az ya da çok

Kaynak: Kecman, 2001

Peki neden bulanık mantık kullanırız? Belirsizlik denen durum, kısmi gerçeklik toleransını istismar etmek demektir. Doğru ve ucuz maliyetli çözümler elde etmek için, bulanık hesaplama yolu izlenmesi gerekir. Bulanık mantığı bu kadar önemli kılan ise, insani akıl ve kavram olgusunun bulanık kurallara bağlı olduğu gerçeğidir. Bulanık kuralları hesaplamak için, bulanık mantık sistematik bir çerçeve sunarak büyük ölçüde insani akıl gücünü yükseltir (Şen, 2004b):

- Bulanık mantık sistemleri, belirsiz eksik veya bozuk verileri durulaştırma işlemi yaparak, verimli bilgilerin kullanılmasını sağlar.
- Bulanık mantık, bireylerin uzman bilgisinin sağduyu ve sezgilerinin kullanılmasına olanak tanır.
- Tasarlamak veya uygulamak için oldukça basittir.
- Bulanık kavramların olasılık kavramları farklıdır.
- Bulanık kümelerin modellenmesi, başka kümelere nazaran daha kolaydır.
- Bulanık mantık, bir gösterim ve akıl yürütme sürecidir.
- Bulanık mantıkta matematiksel kavramlar çok basittir.
- Bulanık mantık yaklaşımını güzel yapan, geniş kapsamlı karmaşıklığındaki “doğallık” ve esnek oluşudur.
- Bulanık mantık kesin olmayan verilerin hoşgörülü olması gerektiğini savunur.
- Bulanık mantık içerisindeki karmaşıklığa doğrusal olmayan fonksiyonlar neden olabilir.
- Bulanık mantık veriler olmadan, uzman kişilerin deneyimleri üzerine inşa edilebilir.
- Bulanık mantık geleneksel modelleme teknikleri ile de harmanlanabilir. Ancak geleneksel yöntemler yerine geçmemektedir.

- Birçok olay ve durumlar da bulanık sistemler uygulamaların kolaylaşmasına olanak tanır.
- Bulanık mantık teorisinin gelişmesinden sonra belirsizlik yani olasılıklı belirsizlik resmen açıklanabilir bir hal alır.
- Bulanık mantık doğal bir dile sahiptir.
- Bulanık mantığın temeli insan iletişimine dayanır.
- Hassas ya da kesin olmayan bir bilgi aynı zaman da belirli ya da belirsiz olabilir.

Bulanık mantığın sözel değişkenleri kullanabiliyor olması diğer sözel mantık sistemlerine göre farklılığını ortaya koymaktadır. Değişken değeri olarak bir dildeki kelimeleri alabilen değişkene “sözel değişken” denir. Sözel değişken olarak adlandırılan terimler, geleneksel küme teorisinde sınır koşulunu net olarak ifade edemeyen kelimelerdir. Bazı terimlerin anlamları, karmaşıklık veya belirsizlik durumu gösterebildiği için, sözel bir değişkenin bulanık kümelerle dayanarak tanımlanması gerekir. Böylece sözel değişkenler, net olarak ifade edilemeyen kavramların yaklaşık olarak belirlenebilmesini sağlayarak, sözel ifadeleri matematiksel olarak ifade edebilmek için bulanık kümelerin kullanımını gerektiren bir araç haline gelir (Özkan, 2003).

Dilsel değişken, değerleri rakam yerine kullanılabilen kelime, kelime grupları veya cümle olan değişkenlerdir. Dilsel değişkenleri kullanmaktaki asıl amaç; dilsel karakterizasyonu, sayısal değerlerden daha az spesifik ve insanların ifade edebilme ve bilgi kullanımına daha yakın olmasıdır. Dilsel değişkenler insani bilgilerin modellenmesi için güçlü bir araçtır. Daha önce dilsel değişkenler beşli veri seti ile ifade edilmişlerdir (L, T(L), U, S, M). Bu ifade tarzına göre (Herrera, Alonso, Chiclana ve Herrera-Viedma, 2009):

L, değişkenin adını,

T(L), L değişkeni için kullanılacak olan kelime grubunun sonlu terimi (dilsel değerler topluluğu) dir.

U, ana kütesi

S, T(L) içindeki her bir dilsel değişkeninin oluşturulabilmesi için gerekli olan söz dizim kuralı,

M, U ana kütesinin bulanık bir alt kümesi olan $M(x)$ 'in her bir elemanı ile ilgili dilsel değişken değeriyle bağdaştıran anlamsal kuralı temsil eder.

Sözel ifadelerin bilgisayara aktarılması matematiksel bir temele dayanmaktadır. Bu matematiksel temel, bulanık kümeler kuramı ve bulanık mantık olarak adlandırılır. Bulanık mantık, bilinen klasik mantık gibi $(0, 1)$ olmak üzere iki seviyeden oluşmamaktadır. Çok seviyeli işlemler olarak $[0, 1]$ aralığında ifade edilir. Örneğin; odadaki klimanın motorunun, bir insan tarafından denetlendiği varsayılın. Eğer oda sıcaklığı biraz arttıysa, denetmen de motorun hızını biraz artıracaktır. Eğer oda sıcaklığı çok düşüyse, motor hızını da çok azaltacaktır. Burada kullanılan “biraz” ve “çok” kelimeleri dilsel terimler olarak nitelendirilmektedir. Bu durum “bulanık değişkenler” olarak adlandırılır. Bulanık mantık denetimi dilsel olarak tanımlanmış denetim stratejisini uzman tabanlı otomatik denetim algoritmasına çevirir. Deneyimler sonucunda bulanık mantık denetimi ile çıkış performansının geleneksel yöntemlere göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle sistemin karmaşık olduğu ve analizinin geleneksel yöntemlerle yapılamadığı ve bilgilerin niteliklerinin belirsiz veya net olmadığı durumlarda bulanık mantık denetim yöntemi çok uygun olmaktadır (Elmas, 2007).

Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Klasik Mantık İle Bulanık Mantık Arasındaki Temel Farklılıklar

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A veya A Değil	A ve A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

Kaynak: Yaralıoğlu, 2004

Bulanık ilkeler hakkında ilk bilgiler, Azerbaycan asıllı Lütfü Askerzade (Zadeh, 1965) tarafından literatüre mal edilmiştir. 1970 yıllarından sonra doğu dünyasında ve özellikle de Japonya’da bulanık mantık ve sistem kavramlarına önem verilmiştir. Bunların, teknolojik cihaz yapımı ve işleyişinde kullanılması bugün tüm dünyada yaygın bir biçimde tanınmıştır. Bulanık kavram ve sistemlerin dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat kazanması 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile gerçekleşmiştir. Bu araştırmacılar ilk defa bir buhar makinesi kontrolünün bulanık sistem ve modellemesini başarmış ve bu sayede, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay ve sonuçlarının da ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır (Şen, 2004a).

Çok Nitelikli Karar Verme modellerinin gerçek uygulamalarında, genel olarak karar vericiler yargılarını sözel olarak ifade ederler, ayrıca elde edilen değerlendirmeler her zaman kesin ve tam bilgi içermeyebilir. Bu tür karar modellerinde analizler bulanık mantık yaklaşımı ile yapılabilir. Bulanık mantığın karar verme sürecindeki uygulamaları genellikle geleneksel karar teorilerinin bulanıklaştırılması ile gerçekleştirilir. Bulanık mantıkla tanımlanan karar problemlerinde, klasik problemlerde olduğu gibi bulanık olmayan “en iyi” karara ulaşmak amaçlanır. Ancak, bulanık teori sonucunda elde edilen karar, optimal karar iddiasında olmaktan çok, her alternatifin hangi olabilirlikte optimal olabileceğinin belirtilmesi amaçlanır. Problemlerde kesin belirlilikler bulunmadığında; parametrelerin veya değişkenlerin kesin olarak bilinmediği durumlarda ve değerlendirmelerin sözel olduğu durumlarda bulanık teori ile geliştirilen yöntemlerin uygulanması önerilir (Kılıç, Aygün, Aydın Keskin, Baynal, 2014).

Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından şu şekilde ifade edilmiştir (Elmas, 2007):

- Bulanık mantıkta klasik mantık gibi kesin değerlere dayanan bir düşünme sistemi yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- Bulanık mantıkta her şey $[0, 1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta terimler büyük, küçük, çok az gibi sözel ifadelere yer verilir.
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.
- Bulanık mantık tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgilerin bile işleme tabi olmasına olanak tanır.

3.1.2. Bulanık Mantık Teorisinin Avantajları

Bulanık mantıkta kullanılan ve bulanık denetleyicilerle ilgili başlıca üstünlüklerini şöyle sıralamamız mümkündür (Yaralıoğlu, 2004, Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003):

- Belirsiz, zamanla değişen, karmaşık, iyi tanımlanmamış sistemlerin denetimine basit çözümler getirerek, belirsizliğin açığa çıkarılmasında bulanık mantığın etkinliğinden yararlanılır.

- Sistem basit bir matematiksel modelle tanımlanabilen bir sistemse o zaman geleneksel bir denetim yeterli olacaktır, ancak karmaşık bir sistem ise geleneksel bir mantık uygulamak hem çok zor hem de maliyetlidir. Böyle bir durum karşısında bulanık mantık denetimi klasik mantığa göre sistemi daha iyi analiz edebilir ve ayrıca ekonomiklik sağlayacaktır.
- Sözü edilen az sayıda ki değerlere uygulanacak kural sayısı da az olacağından, sonuca ulaşmak daha da hızlı olacaktır.
- Bu durum geleneksel bilgisayar ortamında böyledir. Geleneksel kontrol teknikleriyle uyum halindedir. Özel geliştirilmiş bir donanımla sonuca daha da hızlı ulaşmak mümkündür. Örneğin Sanyo-Fisher firması mühendisleri video kayıt cihazında kullanmayı düşündükleri mikro bilgisayarın yetersiz kalmasından dolayı, bulanık denetim kullanmaya karar vermişlerdir. Bulanık denetim yazılım boyutlarının daha küçük olmasını sağladığından, dış bellek kullanımına gerek kalmamıştır.
- Doğrudan kullanıcı girişlerine ve kullanıcının deneyimlerinden yararlanabilmesine olanak sağlamaktadır.
- Bilindiği gibi otomatik vites değişimi motorun belli hızlara ulaşması sonucunda otomatik olarak gerçekleşir. Buna karşılık manuel vitesli bir araba ise sürücü, yol, yük ve kendi araba kullanım tarzına göre belli durumlarda vites değiştirir. Subaru tarafından üretilen Justy tipi otomobilde kullanılan aktarım organının değiştirilmesi, bir kayışın konumunun bulanık mantık kullanılarak değiştirilmesi ile sağlanır. Böylece arabanın ivmesi ve performansı sürekli olarak ayarlanır hale gelir. Subaru, bu otomobilde kullandığı bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını, otomobili test şoförlerine kullandırarak ve onlardan ivme ve performans açısından en iyi aktarım oranını öğrenerek ayarlamıştır. Bu konuda Hunda ve Nissan da benzer çalışmalar yapmışlardır.
- İnsanların iletişim sırasında kullandıkları sözel ifadelerin bulanık mantık içerisinde yer edinmesiyle daha olumlu sonuçlar doğmaktadır.
- İnsan düşünce sistemine ve tarzına yatkınlığı sayesinde kolaylık tanımaktadır.
- Üyelik değerleri kullanılır. Bu sayede diğer kontrol tekniklerine göre daha esnek bir yapı meydana gelir.
- Doğrusal olmayan fonksiyonların düzenlenmesine yardımcı olabilir.

3.1.3. Bulanık Mantık Teorisinin Dezavantajları

Bulanık mantık yaklaşımının klasik mantık yaklaşımlara göre birtakım dezavantajları bulunur (Elmas, 2007):

- Bulanık mantık uygulamalarında kullanılan kurallar uzman deneyimlerine bağlıdır.
- Üyelik işlemlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir.
- Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. En uygun yöntem deneme-yanılma yöntemidir ve bu da çok uzun zaman alabilir. Uzun testler yapmadan, gerçekte ne kadar üyelik işlevi gerektiğini önceden kestirmek çok güçtür.
- Sistemlerin kararlılık, gözlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde bu sadece pahalı deneyimlerle mümkündür.
- Bulanık mantığın üyelik işlevlerinin değişkenleri sisteme özel olup, başka sistemlere uyarlanması çok zordur.
- Bulanık mantığın en sık karşımıza çıkan dezavantajı ise, üyelik işlevlerinin ayarlanmasının uzun zaman alması ve öğrenme yeteneğinin olmamasıdır.

3.1.4. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları

Günümüzde hemen hemen her alanda uygulama imkanı bulan, bulanık mantık özellikle sanayi alanında yaygın olarak kullanılır. Bunun yanı sıra bulanık mantık uygulamaları, ısı, elektrik akımı, sıvı gaz akımı denetimi, kimyasal ve fiziksel süreç denetimlerinde de yer alır. Bulanık mantık yaklaşımı uygulanmak istenildiğinde öncelikle problemin özellikleri tanımlanır. Bulanık mantık yaklaşımlarının kullanıldığı sistemler klasik sistemlere göre daha etkin ısı ve hız denetimi yapabilmekte, enerji tasarrufu sağlanmakta ve aygıt ömrü uzamaktadır (Elmas, 2007).

Tablo 5. Bulanık Mantığın Kullanıldığı Ürün, Firma ve Bulanık Mantığın Rolü

ÜRÜN	FİRMA	BULANIK MANTIĞIN ROLÜ
Asansör Kontrolü	Fujitec, Mitsubishi, Toshiba	Yolcu trafiğini ayarlayarak bekleme zamanını azaltmayı sağlaması
SLR Fotoğraf Makinesi	Canon, Minolta	Ekranda birkaç obje olması durumunda en iyi aydınlatmayı belirler.
Video Kayıt Cihazı	Panasonic	Cihaz elle tutulurken çekim sırasında oluşan sarsıntıları engeller.
Çamaşır Makinesi	Matsushita	Çamaşırın kirliliğine göre, kumaşın cinsini seçer ve ona göre yıkama programını ayarlar.
Elektrik Süpürgesi	Matsushita	Yerin kirlilik düzeyine göre motor gücünü ayarlar.
Su Isıtıcı	Matsushita	Isıtmayı, kullanılan suyun miktar ve sıcaklığına göre ayarlar.
Klima	Mitsubishi,	Ortam koşullarını değerlendirerek en iyi çalışma durumunu algılar.
ABS Fren Sistemi	Nissan	Tekerleklerin kilitlenmeden frenlenmesini sağlar.
Çelik Endüstrisi	Nippon Steel	Geleneksel denetleyicilerin yerini alır.
Çimento Sanayi	Mitsubishi Chem	Değirmende ısı ve oksijen oranı denetimi yapar.
Televizyon	Sony	Ekran kontrastını, parlaklığını ve rengini ayarlar.
El Bilgisayarı	Sony	El yazısı ile veri ve komut girişine olanak tanır.
Sendai Metro Sistemi	Hitachi	Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlanmasının yanı sıra durma konumunu iyi ayarlar, güçten tasarruf sağlar.

Kaynak: Yaralıoğlu, 2004

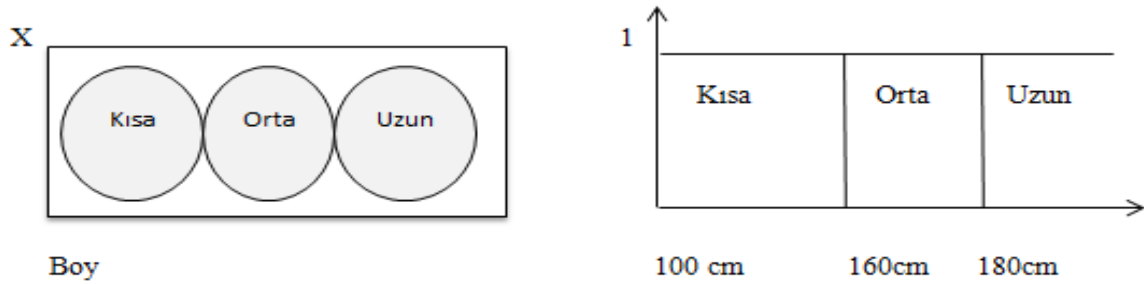
3.2. Bulanık Kümeler ve Temel Kavramlar

Bulanık Küme Teorisi, Zadeh tarafından 1965 yılında tanıtıldı. Bulanık Küme Teorisi belirsizlik problemleriyle başa çıkmak ve matematiksel problemler için tasarlanmıştır (Fuller, 1998).

3.2.1. Bulanık Küme

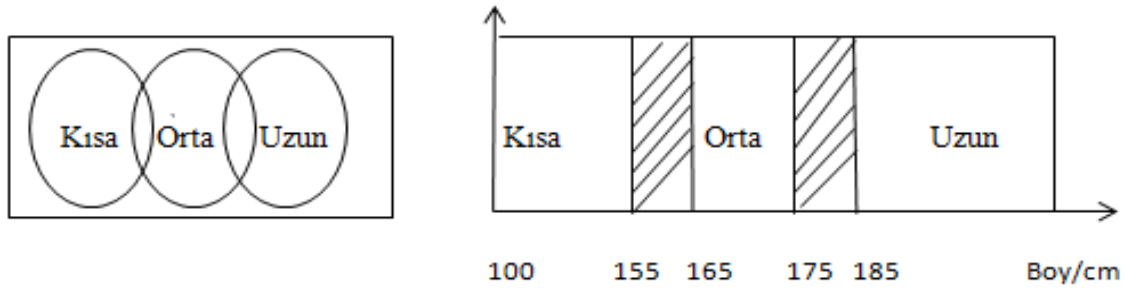
Aristo mantığına göre insanlar boy bakımından ya uzun boyludur ya da uzun boylu değildir. Aristo mantığına farklı bir bakış açısı olan Zadeh yaklaşımına göre uzun boylu olmanın değişik dereceleri vardır. Uzun boylu olanlardan bir tanesi gerçek uzun boylu olarak esas alınır, ondan biraz daha uzun veya kısa olanlar uzun boylu değil diye tanımlanamazlar. Esas alınan, uzun boyluluğun altında ve üstündeki boylar o kadar kuvvetli olmasa bile, uzun boylular kümesine girmesidir. Böylelikle, dünyadaki insanlar kümesindeki tüm insanların, boy açısından bir uzunluk üyelik derecelerinin bulunduğu söylenebilir (Şen, 2004a).

Bulanık mantık denetleyici herhangi bir $x \in X$ 'e $[0, 1]$ kapalı aralığında bir üyelik derecesi belirler. Bulanık mantık kesin olmayan veya matematiksel olarak tam modellenemeyen belirsizliğin de söz konusu olduğu bilgilerle ilgilenmesine rağmen, sözel nitelikli olan matematiksel kurama dayanmaktadır. Geleneksel kümeler olarak bilinen keskin kümeler ise, ait olduğu evrensel kümenin her bir elemanını sınırlandırarak, 1 veya 0 değerlerini verip, elemanın küme ile ilişkisini açıklamaya çalışmaktadır. Şöyle ki; bir nesne 1 değerini alırsa o kümenin elemanı, 0 değerini alırsa kümeye ait olmadığını gösterir. Örneğin; bir evrensel küme X , cm olarak insanların boy uzunluklarının kümesi olsun. Kısa, orta ve uzun boyluların kümesini şekildeki gibi gösterilmektedir (Elmas, 2007):



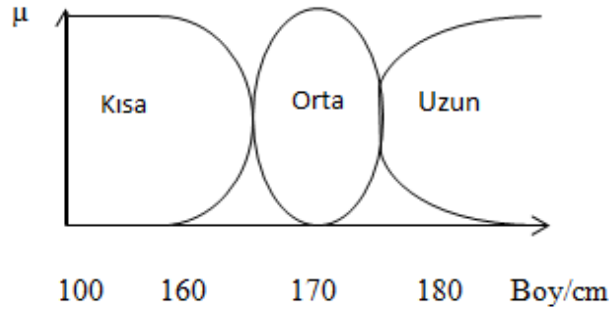
Şekil 4. Klasik boy uzunlukları kümeleri (Elmas, 2007)

Şekil 4'te görüldüğü gibi 160 cm' nin altı kısa boylu, 160 cm ile 180 cm arası orta boylu ve 180 cm'nin üstü uzun boylu olarak kabul görmüştür. Burada 159 cm boyunda olan bir kişinin kısa, 161 cm boyunda olan bir kişinin orta boylu aynı şekilde 179 cm boyunda olan bir kişinin de orta boylu iken 181 cm uzunluğundaki bir kişi de uzun boylu olarak ifade edilir. Oysa gerçek hayatta 159 cm boyunda olan bir kişi ile 161 cm boyunda olan kişi arasında çok fazla fark olmayacağından, 159 cm orta boylu sayılabileceği gibi 161 cm de kısa boylu olarak sayılabilir. Eğer bu değerler her iki kümeye de ait olarak düşünülürse o zaman da Şekil 3.2'deki gibi bir durum ortaya çıkar (Elmas, 2007).



Şekil 5. Klasik kümelerde kesişim (Elmas, 2007)

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi 155 cm ile 165 cm arası hem kısa boylu hem de orta boylu, 175 cm ile 185 cm arası hem orta boylu hem de uzun boylu kabul edilmiştir. Bir önceki duruma bakılırsa, şimdiki durumda keskin geçişler daha farklı şekle bürünmüştür. Böylece yeni bir problem ortaya çıkmıştır. 164 cm boyu olan kişi ile 156 cm boyu olan kişi, hem kısa boylular kümesine hem de orta boylular kümesine aitlik derecesi 1 değerinde olur. Gerçekte 164 cm olan birisi, 156 cm olan birisine göre daha çok orta boylular kümesine aittir. Böyle problemlerde, bulanık küme kuramı, duruma daha iyileştirici bir çözüm getirir. Çünkü bulanık küme klasik kümenin genişletilmiş halidir. Nesnelere keskin kümelerin $\{0, 1\}$ değerler vererek kümenin elemanı olup olmadığına karar veren işlevine karşılık, $[0, 1]$ aralığında değişebilen değerler veren bir yöntem ortaya atılmıştır. Bulanık küme tarafından tanımlanan ve büyük değerlere 1'e doğru büyüyen, küçük değerlere 0'a doğru küçülen üyelik değeri veren bu işleve üyelik işlevi denilir. Boy uzunlukları ile ilgili kümeler bulanık küme halinde Şekil 6'daki gibi gösterilir (Elmas, 2007).



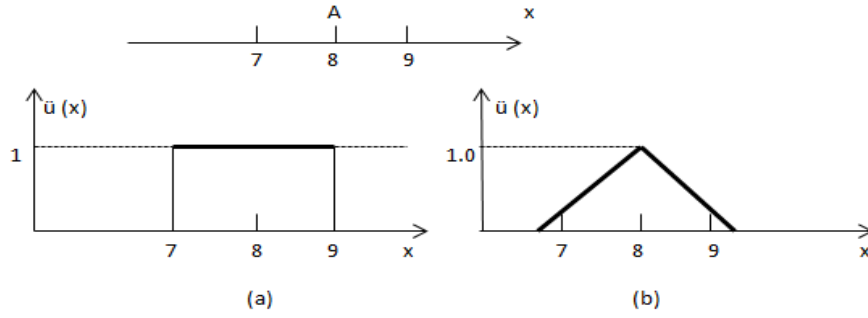
Şekil 6. Boy uzunluklarının bulanık kümeleri

Şekil 6'da görüldüğü gibi 160 cm' den 170 cm'ye doğru büyüyen değerler için kısa boylular kümesine ait olma derecesi düşerken, orta boylular kümesine ait olma derecesi artmaktadır. Üyelik derecesi olarak adlandırılan bu değerler 170 cm ile 180 cm arasında değişen değerler içinde orta ve uzun boylular kümesine aitlik seviyesini gösterir (Elmas, 2007).

Aristo mantığına göre çalışan klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin üyelik dereceleri 1'e, o kümeye ait olmamaları durumunda ise 0'a eşit olduğu öne sürülmüştür. Bu ikisi arasında bir üyelik derecesi düşünmek mümkün değildir, ancak bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Zadeh, küme öğelerinin üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini ileriye sürerek, kümeler teorisinde geniş uygulamaya sahip ve doğal hayatla uyumlu olan bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Bu kadar basit temeli olan bulanık kümeler kavramının, 1980'li yıllar sonrasındaki teknoloji ve bilimsel çalışmalara etkisi büyük olmuştur. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin, her bir bulanıklık durumu için üç temel özelliğinin sağlanması gerekir. Bunlar (Şen, 2004a):

1. Bulanık kümenin normal olmasıdır. Bunun için en azından, o kümede bulunan öğelerden bir tanesinin, en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olması gerekir.
2. Bulanık kümenin monoton olmasıdır. Bunun anlamı, üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın, sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır.
3. Üyelik derecesi 1 olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman, bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki buna da bulanık kümenin simetri özelliği adı verilir. Klasik kümelerle, bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik fonksiyonu bulunmasına karşılık, bulanık kümenin yukarıdaki

üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde, değişik üyelik fonksiyonlarına sahip olmasıdır. Şekil 7’de, 7 ile 9 arasında değişen gerçek sayıların üyelik derecesi fonksiyonlarını göstermektedir.



Şekil 7. Üyelik derecesi fonksiyonları (a) klasik küme, (b) bulanık küme (Şen, 2004a)

Klasik Küme Teorisi, bireyin bir kümeye üyeliği olup olmasını gösteren bir ibaredir. Klasik Küme Teorisine göre, o kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir. Bu yüzden bireyin hangi kümenin elemanı olduğunu ayırt etmek çok kolaydır. Çünkü kümenin noktaları kesin ve belli sınırlarla ayrılır. Klasik Küme Teorisinde bir elemanın aynı anda bir küme içerisinde hem bulunmasına hem de bulunmamasına müsaade edilmemektedir. Ayrıca kısmi olarakda bir kümeye aitlik söz konusu değildir. Bu yüzden birçok gerçek dünya uygulamalarında Klasik Küme Teorisi, yeterli bir şekilde tarif edilememekte ve çözüm önerilememektedir. Bir elemanın bir kümeye ne kadar ait olduğu sorusunu üyelik fonksiyonları cevaplamaya çalışır. Bu nedenle Bulanık Küme Teorisi kısmi üyelikleri kabul eder (Chen ve Pham,2001).

Bulanık kümeler daha önceleri bulanık ve kesin olmamakla birlikte, veri temsil eden ve manipüle bir araç olarak hizmet vermektedir. Bulanık mantık ve bulanık alt teori arasında güçlü bir ilişki vardır. Klasik Küme Teorisinde X evrensel küme ise A 'da X 'in alt kümesi olarak tanımlanmaktadır. Klasik kümeye göre X 'in elemanları $\{0, 1\}$ değerlerini alır (Fuller, 1998).

$$X_A: X \rightarrow \{0, 1\} \quad (3.1)$$

X 'in her elemanı sıralı çiftlerle ifade edilir. Sıralı çiftin ilk elemanı X 'in unsurudur, ikinci elemanı ise $\{0, 1\}$ kümesinin unsurudur. “0” değeri üyelik olmayan kısmını, “1” değeri ise üyelik olan kısmını ifade eder. “ x 'in A 'nın elemanı” olduğu gerçeğini sıralı çiftinden

$(x, X_A(x))$ tespit edilir. Sıralı çiftin ikinci elemanı 1 ise ifade doğrudur, 0 ise yanlıştır (Fuller, 1998).

Benzer şekilde bir bulanık alt kümenin sıralı çiftlerinde X'in ilk elemanı ve aralığı şeklinde tanımlanır (Fuller, 1998).

$$\mu_A: x \rightarrow [0, 1] \quad (3.2)$$

X'in elemanları $[0, 1]$ aralığında ifade edilir. Sıfır değeri küme içerisinde üyelik temsil etmediği, 1 değerinin tam üyelik temsil ettiğini, aradaki değerler ise kümeye üyelik derecesini veya kısmi üyeliğini gösterir. X kümesinin bulanık alt kümesi olan A kümesi söylev evreni olarak bilinir. A kümesinin üyelik fonksiyonu μ_A ile gösterilir. A'nın elemanı olan x'in üyelik derecesinin sıralı çifti $(x, \mu_A(x))$ olarak tanımlanır. Gerçek derece sıralı çiftin ikinci unsurudur (Fuller, 1998).

X boş olmayan bir küme olsun. A ise X'e ait bir bulanık küme ise üyelik fonksiyonunun karakteristikleri $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ 'dir. Ve A bulanık kümesinin üyelik derecesi $\mu_A(x)$ ise $x \in X$. Yani X evrensel kümedir (Fuller, 1998).

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (3.3)$$

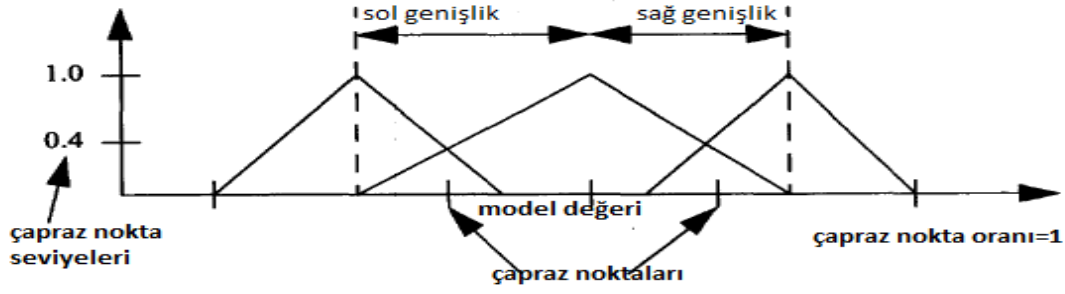
Tüm bulanık X kümesinin ailesi $F(X)$ ile gösterilir (Fuller, 1998).

Eğer $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ sonlu bir dizi ise, X evrensel kümenin A bulanık kümesine ait gösterim aşağıdaki gibidir (Fuller, 1998).

$$A = \mu_1/x_1 + \dots + \mu_n/x_n \quad (3.4)$$

Buradaki terimler, μ_i/x_i ve $i = 1, \dots, n$ sınıfı olup, A kümesinin üyelik derecesini μ_i , elemanlarının da x_i , + işaretinin ise bulanık tekliklerin birleşimi olduğunu gösteren bir simgedir (Fuller, 1998).

Örneğin; üyelik fonksiyonları belirterek $(A = \{x | x \leq 5\})$, analitik diziyi tanımlamak veya fonksiyon özelliklerini kullanarak üye öğelerini tanımlamak gibidir. Burada 1 sayısı kümenin üyesi olduğunu, 0 sayısı ise üyesi olmadığını gösterir. Bir bulanık küme, karakteristik fonksiyonu için belirli bir kümenin elemanlarının üyeliğini çeşitli derecelerde sağlar (Zimmermann, 1996).



Şekil 8. Bulanık küme parametreleri (Zimmermann 1996)

İki üyelik fonksiyonları arasındaki kesişme noktalarının üyelik fonksiyonları sıfırdan büyüktür. Kesişme noktalarında çapraz üyelik söz konusudur. Açıkçası bu iki üyelik fonksiyonları, birden fazla çapraz noktada olabilir. Bu nedenle iki üyelik fonksiyonunun arasında çapraz nokta sayısını tanımlamak için, çapraz noktasının oranına bakılır (Zimmermann, 1996).

Burada tanımlanması gereken iki önemli özellik vardır (Sivanandam, Sumathi ve Deepa, 2007):

1. Çaprazlama noktası: Üyelik değerinin 0.5 eşit olma durumu söz konusudur.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 0.5 \quad (3.5)$$

2. Yükseklik: $\tilde{A}$ bulanık kümesinin yüksekliği üyelik fonksiyonuna maksimum olan eleman tarafından belirlenir.

$$\max(\mu_{\tilde{A}}(x)) \quad (3.6)$$

Bazı kurallar yukarıdaki tanımlar kullanılarak formüle edilir. Ortak bir kurala göre temel değişkenin tüm değerleri açısından birbirine karşılık gelen en az bir üyelik fonksiyonunun sıfırdan büyük olması gerektiğini savunur. Bu aynı zamanda iki komşu üyelik fonksiyonları için çapraz geçiş oranının bire eşit olduğunu gösterir. Bu nedenle komşu üyelik fonksiyonları arasındaki çapraz noktasına değerinin 1 e eşit olduğunu ve çapraz noktasına seviyenin ise 0.5 olduğu kabul edilir. Sonra simetri üzerinde durularak sağ ve sol genişliğin eşitliği elde edilir (Zimmermann, 1996).

Sağ üyelik fonksiyonu, sol genişliğe; sol üyelik fonksiyonu ise sağ genişliğe eşittir. Bu genişlik durumlarında her ikisi de, iki bitişik üyelik fonksiyonlarının tepe değerleri arasındaki uzunluğa eşittir (Zimmermann 1996).

3.2.2. Üyelik Fonksiyonu

Üyelik fonksiyonu, bulanık kümenin önemli bir bileşenidir. Bulanık kümeler ve işlemler üyelik fonksiyonları ile tanımlanır. Bunlar, Bulanık Küme Teorisi için tutarlı bir çerçeve oluşturur, bununla birlikte, sürekli olarak Klasik Küme Teorisini genişletmek için mümkün olan tek yol değildir. Zadeh ve diğer yazarlar küme teorisi için alternatif veya ek tanımlar ileri sürmüşlerdir (Zimmermann, 1996).

E evrensel kümesinde tanımlanan, bulanık küme A için $\mu_{\tilde{A}}$ üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0, 1] \quad (3.7)$$

X bulanık küme tarafından genel olarak gösterilen nesneler topluluğu olup, üyelik derecesini gösteren sıralı çiftlerle ifade edilir.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\} \quad (3.8)$$

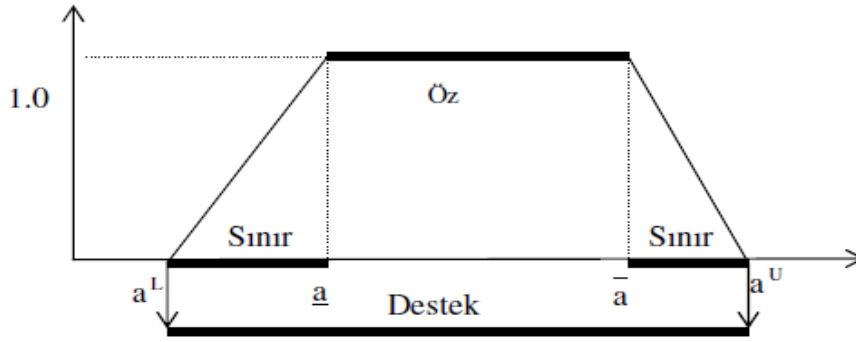
$\mu_{\tilde{A}}(x)$, üyelik fonksiyonunu veya üyelik derecesini ifade eder. Bulanık kümelerde üyelik alanı iki nokta içerir. 0 ile 1 arasındaki bir sayı ile açıklanır. 0 sayısı kümenin bulanık olmayan kısmını gösterirken 1 sayısı kümenin elemanı olduğunu ifade eder. Üyelik fonksiyonu aralığı sonlu olan negatif olmayan gerçek sayıların üst sınırının bir alt kümesidir. Üyelik derecesinin 0 olması durumunda, genellikle elemanlar listelenmemektedir. Bir bulanık küme sadece üyeliği işlevini belirterek temsil edilir. Bulanık küme bir sıralı çift seti ile başlar (Zimmermann, 1996).

Üyelik fonksiyonları, 0 ile 1 arasında değerler almakta ve verilen bir bulanık küme içerisindeki noktaların farklı üyelik derecelerini göstermektedir. Bulanık sayılar, sürekli veya parçalı sürekli üyelik fonksiyonları ile gösterilmektedir. Üyelik fonksiyonlarından en yaygın olarak kullanılanları ise; üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarıdır (Başkaya ve Öztürk, 2011).

3.2.3. Destek Küme

A , X bulanık kümesinin alt kümesi olsun. $\text{Supp}(\tilde{A})$ ile gösterilen destek kümesinin unsurları, X 'in alt kümesi olan A bulanık kümesinde tüm elemanları 0'dan farklı üyelik derecesine sahip olan elemanların hepsini içermektedir. Destek kümesi, matematiksel olarak aşağıda verildiği gibi tanımlanır (Fuller, 1998).

$$\text{Supp}(\tilde{A}) = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad (3.9)$$



Şekil 9. Üyelik fonksiyonu kısımları (Şen, 2004a)

Buradaki gibi verilen bir bulanık alt kümede, birden fazla ögenin üyelik derecesi 1'e eşit olabilir. Üyelik dereceleri 1'e eşit olan ögelerin toplandığı alt küme kısmına, o alt kümenin özü denir. ($\tilde{\mu}(x) = 1$)' dir. Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonunda sadece bir ögenin üyelik derecesi 1'e eşit olduğundan, üçgen üyelik fonksiyonlarının özü bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir alt kümenin tüm ögelerini içeren aralığa, o alt kümenin desteği adı verilir. Dayanak (destek) kısmında bulunan her ögenin az veya çok değerinde (0 ile 1 arasında) üyelik dereceleri vardır. Bunun matematiksel gösterimi $\tilde{\mu}(x) > 0$ 'dır. Üyelik dereceleri 0 ve 1'in dışında olan elemanların oluşturduğu kısımlara "üyelik fonksiyonunun sınırları" adı verilir (Şen, 2004a).

0'dan ve 1'den farklı üyelik derecelerin kısımlarına üyelik fonksiyonunun sınır bölgesi olarak adlandırılır. Matematiksel olarak tanımı ise;

$$0 < \tilde{\mu}(x) < 1 \quad (3.10)$$

Bu üyelik fonksiyonlarının tanımlandığı yer standart bölgedir (Sivanandam vd., 2007).

3.2.4. α – kesim Seviyesi

Bulanık A kümesinin α – kesim kümesi A_α ile gösterilir. $\tilde{A}$ kümesindeki bütün elemanların üyelik derecesi α değerinden büyük veya eşit olanları içerir (Zimmermann, 1996).

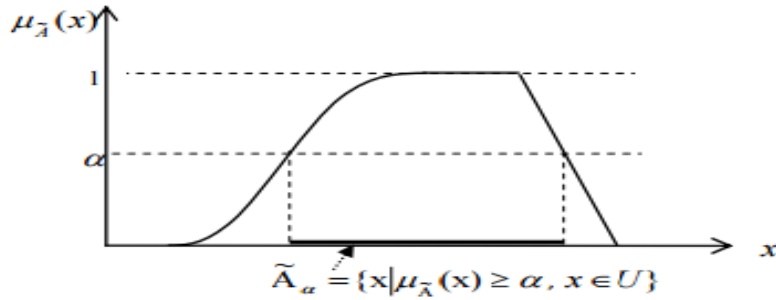
Seçilen her bir α değeri ile farklı bir α -kesim kümesi oluşturulur. α değeri, $\alpha \in (0, 1]$ koşuluyla tanımlanan gerçel bir sayıdır. Her bir α düzeyi ile üyelik fonksiyonunun farklı bir dilimi belirlenir. $\alpha_1 < \alpha_2$ olduğunda, $A_{\alpha_1} \subseteq A_{\alpha_2}$ şeklindeki kapsama ilişkisi geçerli hale gelir. Başka bir deyişle, α değeri arttıkça, α -kesimiyle oluşturulan bulanık olmayan

kümedeki eleman sayısı azalır. α -kesim kümesi, matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır (Özkan, 2003).

$$A_\alpha = \{X \in X | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (3.11)$$

Ve

$$\alpha \in (0, 1]$$



Şekil 10. α -kesim kümesinin gösterimi

Matematiksel gösterimdeki büyük eşit “ $\geq$ ” yerine büyük “ $>$ ” kullanılırsa, yani kesit kümesi üyelik dereceleri α ’dan sadece büyük olan elemanlardan oluşturuluyorsa α kesitinin bu çeşidine güçlü α -kesim kümesi denir ve $\tilde{A}_{\alpha+}$ ile gösterilir (Klir ve Yuan, 1995).

3.3. Bulanık Küme İşlemleri

Bu bölümde bulanık kümeler için, Klasik Küme Teorisi işlemleri genişletilecektir. Bulanık küme içerisinde mantıksal işlemlerde yine üyelik fonksiyonları önemlidir. Tüm işlemlerin eklentilerinin tutarlı bir kavram oluşturması için her zaman ki gibi üyelik dereceleri $\{0, 1\}$ olarak alınmalıdır. Bu nedenle Bulanık Küme Teorisinde küme işlemlerinin uzantıları aynı sembolle kullanılmalı X kümesinin bulanık alt kümeleri A ve B ’dir. Ve x boş küme içermemektedir (Fuller, 1998).

Bulanık kümeler üzerinde birleşim, kesişim ve tümleme (değilleme) işlemlerinin birkaç temel özelliği vardır. Bu özellikler Tablo 6’deki gibi ifade edilmektedir.

Tablo 6. Bulanık Küme İşlemlerinin Temel Özellikleri

Çift Değilleme	$\mu_{\bar{\bar{A}}}(x) = \mu_{\bar{A}}(x)$
Değişme	$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{B} \cup \tilde{A}}(x)$ $\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{B} \cap \tilde{A}}(x)$
Birleşme	$\mu_{(\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cup \tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A} \cup (\tilde{B} \cup \tilde{C})}(x)$ $\mu_{(\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cap \tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cap \tilde{C})}(x)$
Dağılma	$\mu_{\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cup \tilde{C})}(x) = \mu_{(\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cup (\tilde{A} \cap \tilde{C})}(x)$ $\mu_{\tilde{A} \cup (\tilde{B} \cap \tilde{C})}(x) = \mu_{(\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cap (\tilde{A} \cup \tilde{C})}(x)$
Yansıma	$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x)$ $\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x)$
Yutma	$\mu_{\tilde{A} \cup (\tilde{A} \cap \tilde{B})}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x)$ $\mu_{\tilde{A} \cap (\tilde{A} \cup \tilde{B})}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x)$
Yutma	$\mu_{\tilde{A} \cup U}(x) = \mu_U(x)$ $\mu_{\tilde{A} \cap Q}(x) = \mu_Q(x)$
Özdeşlik	$\mu_{\tilde{A} \cap U}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x)$ $\mu_{\tilde{A} \cup Q}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x)$
De Morgan Kuralı	$\mu_{\overline{\tilde{A} \cap \tilde{B}}}(x) = \mu_{\overline{\tilde{A}} \cup \overline{\tilde{B}}}(x)$ $\mu_{\overline{\tilde{A} \cup \tilde{B}}}(x) = \mu_{\overline{\tilde{A}} \cap \overline{\tilde{B}}}(x)$

Kaynak: Özkan, 2003

Yukarıdaki tablo incelendiğinde klasik küme işlemlerinden Orta Terimin Yokluğu Kuralı ($A \cup \bar{A} = U$) ve Çelişme Kuralının $A \cap \bar{A} = \emptyset$ bulanık kümelerde geçerli olmadığı görülmektedir. Klasik kümelerde bir kümeye ait olan bir eleman diğer kümeye ait değilken, bulanık kümelerde bir kümeye kısmi olarak üye olan bir eleman diğer kümeye de kısmi üye olabilmektedir. Şayet evrensel kümeyi her elemanın 1 üyelik derecesi ile üye olduğu ve boş kümeyi de elemanlarının üyelik derecesinin 0 olduğunu kabul edersek söz konusu kurallar şu şekilde ifade edilebilir (Özkan, 2003).

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{A} \cap \bar{\tilde{A}}}(x) &\neq \mu_{\emptyset}(x) \\ \mu_{\tilde{A} \cup \bar{\tilde{A}}}(x) &\neq \mu_U(x) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Bulanık kümelerde kesişim, birleşim ve tümlene işlemleri için tanım çeşitliliği, teorik açıdan varlığı, klasik mantıkta kullanılan küme işlemcilerinin bulanık küme halinde genişletilmesi, uygulamaya dayalı nedenlerle açıklanabilir. İki bulanık kümenin kesişim

veya birleşim kümesi belirlenirken, bu kümeler tarafından kapsanan en büyük /en küçük bulanık kümenin yerine diğer kesişim veya birleşim kümesinin seçilmesi daha etkin sonuçlar verebilir (Özkan, 2003).

3.3.1. Birleşim İşlemi

İki veya daha fazla alt kümenin bir temel küme içinde ortak noktaların olması halinde kümelerin birbirleri ile “veya” mantığı ile bağlanması sonucunda temel kümenin alt kümelerin en az biri tarafından kapsanan yerler olarak tanımlanır. Buradaki söz konusu olan sözel işlem “veya” kelimesinin mantıksal anlamından gelir. Bunun matematiksel olarak düşünüldüğünde klasik kümeler için $\cup$, bulanık kümeler için ise $\vee$ işareti ile olur. Buradaki $\cup$ ve $\vee$ işaretleri “veya” anlamına geldiği unutulmamalıdır. İki tane $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık alt kümenin birleşimi durumunda her bir kümeye ait ögenin $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ deki üyelik derecelerinin en büyüğü alınarak küme birleşimi gerçekleşir (Şen, 2004).

Üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{D}}(x)$ olan kümenin birleşimi ise $\tilde{D} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ olarak tanımlanır (Zimmermann, 1996):

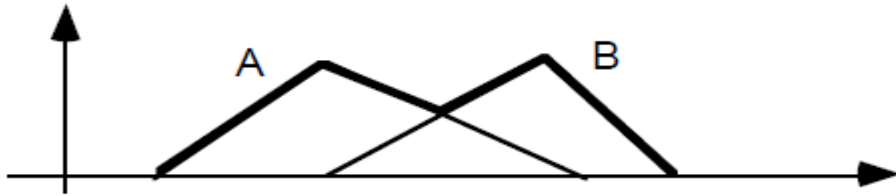
$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}, x \in X \quad (3.13)$$

veya başka bir gösterim şekli ile (Fuller, 1998);

A ve B nin birleşim işlemi,

$$(A \cup B)(t) = \max\{A(t), B(t) = A(t) \vee B(t), \forall t \in X\} \quad (3.14)$$

olarak tanımlanmakta olup Şekil 11’de gösterildiği gibi bir sonuç ortaya çıkar.



Şekil 11. İki üçgen bulanık sayının birleşimi(Fuller, 1998)

Bulanık birleşimi veren s-eşleşmeleri de $[0, 1]$ aralığında üyelik değerleri alır ve

$$s: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1] \quad (3.15)$$

ile gösterilen herhangi bir s-eşleşmesinin birleşim kümesi olarak kabul görmesi için, sınır, değişme, artan olmama, birleşme koşulların karşılanması gerekir (Özkan, 2003).

3.3.2. Kesişim İşlemi

Birleşim işleminden farklı bir işlem olarak iki alt kümenin “ve” ifadesi ile bir araya getirilmesi söz konusudur. Burada “ve” ifadesi, iki veya daha fazla alt kümelerde bulunan ortak öğelerin teşkil ettikleri kümedir. Böylece iki alt kümeden daha dar kapsamlı bir alt kümenin elde edileceği anlaşılır. İki bulanık kümeye ait olan öğelerin en küçüklenmesiyle ortaya kesişim işlemi çıkmaktadır (Şen, 2004b).

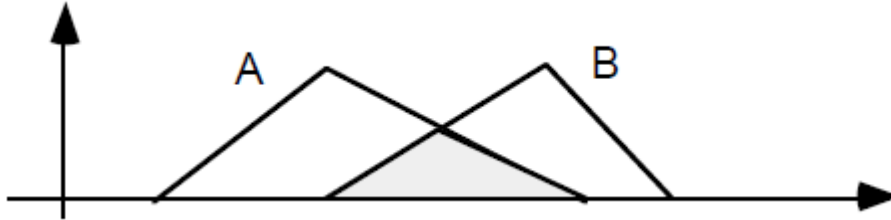
Üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{C}}(x)$ olarak tanımlanan kümenin kesişimi ise $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ olarak tanımlanır (Zimmermann, 1996):

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}, x \in X \quad (3.16)$$

veya başka bir gösterim şekli ile;

$$(A \cap B)(t) = \min\{A(t), B(t)\} = A(t) \wedge B(t), \forall t \in X \quad (3.17)$$

olarak tanımlanmaktadır ve Şekil 12’de gösterildiği gibi bir sonuç ortaya çıkar (Fuller, 1998)



Şekil 12. İki üçgen bulanık sayının kesişimi (Fuller, 1998)

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ kümelerine ilişkin üyelik fonksiyonlarını $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ kesişim kümesinin üyelik fonksiyonuna dönüştüren eşleşme

$$t: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1] \quad (3.18)$$

olarak tanımlanır. Buradaki her bir $[0, 1]$ terimi sırasıyla $\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ bulanık kümelerinin alabileceği üyelik değerlerini ifade etmektedir. Bilindiği üzere, iki bulanık kümenin kesişimi yeni bir bulanık kümeyle sonuçlanır. Bu nedenle, $[0, 1]$ aralığında değerler alabilen $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin kesişim kümesi de $[0,1]$ aralığında değerler alır (Özkan, 2003).

3.4. Bulanık Sayılar ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık sayılar; dışbükey, normalleştirilmiş, sınırlı sürekli üyelik fonksiyonu olan ve gerçel sayılarla tanımlanmış, ayrıca bulanık kümelerin özel bir alt kümesi olarak ifade edilir. Bulanık kümelerde geçerli olan birleşim, kesişim, α -kesimi, genişleme kuralı gibi küme teorik işlemleri, bulanık sayılara da kolayca uygulanır (Çevik ve Yıldırım 2010).

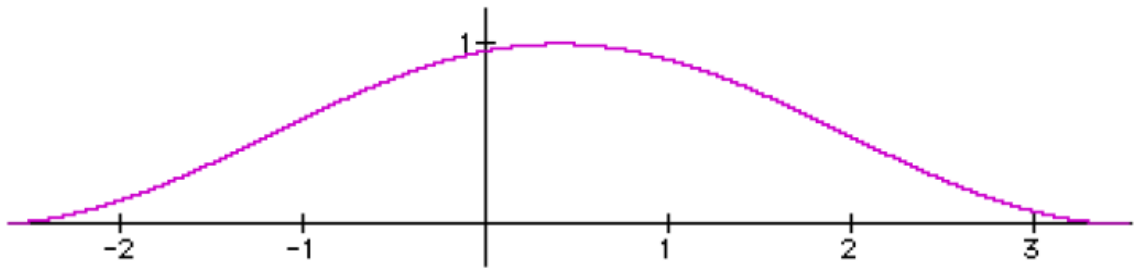
R 'de tanımlı bir bulanık kümenin bulanık sayı olarak ele alınabilmesi için, asgari olarak aşağıdaki üç şartı sağlaması gerekir (Klir ve Yuan, 1995, Zimmermann, 1996):

1. $\tilde{A}$, normal bir bulanık küme olmalıdır. X in en az bir elemanı 1 değerini aldığı için normallik söz konusudur.
2. $\tilde{A}$, her üyelik derecesi kesiminde kapalı aralık olmalıdır.
3. $\tilde{A}$ 'nın destek kümesi sınırlı olmalıdır.

Bulanık sayılar F ile gösterilir. Bir bulanık olmayan sayıyı, bulanık sayıdan ayırt etmek için bazen yaklaşık ($\sim$) yaklaşık işareti ile ifade edilir (Fuller, 1998).

Bulanık Küme Teorisinde kesin sayısal değerlerin yerine doğal dilde ifadeleri içeren dilsel değişkenler kullanılır. Bu ifadeler bulanık sayılara dönüştürülerek çözümlemeler yapılır. Bulanık sayı özel bir bulanık kümedir. $(\tilde{A} = x \in R | \mu_{\tilde{A}}(x))$. Burada x reel doğru üzerindeki $R_1: -\infty < x < +\infty$ değerlerdir. Üyelik fonksiyonları ise $\mu_{\tilde{A}}(x), [0, 1]$ aralığındaki bir sayı ile eşlenir (Akyüz, 2012).

Üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0, \forall x < 0 (\forall x > 0)$ böyle ise $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki bulanık sayıya pozitif/negatif denir (Zimmermann, 1996).



Şekil 13. Bulanık sayılar (Fuller, 1998)

Bulanık kümenin elemanlarının üyeliklerinin belirlenmesinde üye ve üye değildir gibi kesin ifadelerden ziyade üyelik fonksiyonlarını kullanarak üyelik dereceleri oluşturulur ve sayıların komşuluğu yaklaşımından faydalanılır (Yıldız ve Deveci, 2013).

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ sürekli bir değişken için üyelik derecesi üyelik fonksiyonuyla ifade edilir. Bulanık sayılar üçgen ve yamuk bulanık sayılar olmak üzere iki türdür (Zimmermann, 1996).

3.4.1. Üçgensel Bulanık Sayı ve Üyelik Fonksiyonu

Üçgensel bulanık sayı özel bir durumdur. İşle kolaylığı sağlaması nedeniyle en çok kullanılan bulanık sayı türüdür (Zimmermann, 1996).

Bir üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonu $\tilde{A}$ ile üçgensel bulanık sayılar ise basitçe l, m, u olarak ifade edilir (Özdemir ve Yalçın Seçme, 2009). l, m, u ile ifade edilen bu üç gerçek sayı sırasıyla en küçük, en geniş veya en çok beklenen değeri ve en büyük değeri temsil etmekte ve $l \leq m \leq u$ şeklinde sıralanır. Üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonu aşağıda tanımlanır (Özbek, 2016):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & , x < l \\ \frac{x-l}{m-l} & , l \leq x \leq m \\ \frac{m-x}{u-m} & , m \leq x \leq u \\ 0 & , x > u \end{cases} \quad (3.19)$$

l, m, u parametreleri sırasıyla;

l : Mümkün olan en küçük değerdir.

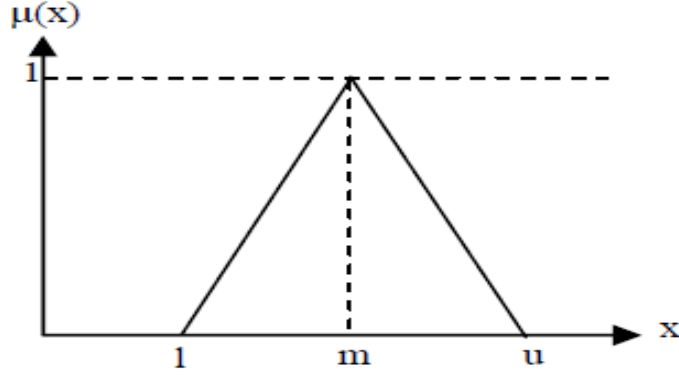
m : Beklenen en geniş değerdir.

u : Beklenen en büyük değeri temsil etmektedir. Buna göre; $\tilde{A}$ üyelik fonksiyonu

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = R \rightarrow [0, 1] \quad (3.20)$$

olarak belirlenir.

Her parametrenin çeşitli değerleri için 0 ile 1 arasında üyelik değeri elde edilir. Olasılıkların ifade edilebilmesi için üyelik değerlerinin, belirgin sayılara dönüştürülmesi gerekir (Acar ve Durucasu, 2015).



Şekil 14. l,m,u üçgen bulanık sayısı(Çanlı ve Kandakoğlu, 2007).

Üçgensel bulanık sayıların işlemlerinin özelliklerinden bahsetmek mümkündür. Bunlar (Lee, 2005);

1. Üçgensel bulanık sayılar arasındaki toplama veya çıkarma işlemlerinin sonuçları yine bir üçgensel bulanık sayıyı verir.
2. Çarpma ve bölme işlemlerinin sonuçları, üçgensel bulanık sayıyı vermeyebilir.
3. Maksimum ve minimum işlemlerinin sonuçları, üçgensel bulanık sayıyı vermek zorunda değildir.

Bazı çalışmalarda üçgen bulanık sayılar için temel aritmetik işlemlerine gerek duyulmaktadır. $\tilde{A} = (l_a, m_a, u_a)$ ve $\tilde{B} = (l_b, m_b, u_b)$ iki üçgen bulanık sayılar arasındaki temel aritmetik kurallar şu şekilde tanımlanır (Akyüz, 2012):

$$\text{Toplama : } \tilde{A} + \tilde{B} = (l_a, m_a, u_a) + (l_b, m_b, u_b) = l_a + l_b, m_a + m_b, u_a + u_b$$

$$\text{Çıkarma : } \tilde{A} - \tilde{B} = (l_a, m_a, u_a) - (l_b, m_b, u_b) = l_a - l_b, m_a - m_b, u_a - u_b$$

$$\text{Çarpma : } \tilde{A} \times \tilde{B} = (l_a, m_a, u_a) \times (l_b, m_b, u_b) = l_a \cdot l_b, m_a \cdot m_b, u_a \cdot u_b$$

$$\text{Bölme : } \tilde{A}/\tilde{B} = (l_a, m_a, u_a)/(l_b, m_b, u_b) = l_a/l_b, m_a/m_b, u_a/u_b$$

$$\text{Tersini alma : } \tilde{A}^{-1} = 1/l_a, 1/m_a, 1/u_a$$

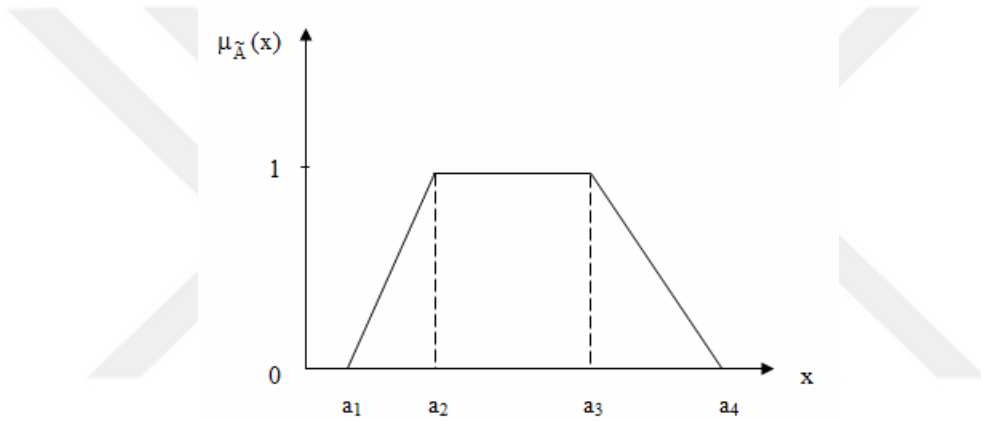
3.4.2. Yamuk Tipi Bulanık Sayı ve Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu, $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ gibi dört parametre ile tanımlanır. a_1, a_2, a_3, a_4 için karar verilecek olan farklı değerler, simetrik veya simetrik olmayan yamuk üyelik fonksiyonu elde edilmesine sebep olmaktadır (Başkaya ve Öztürk, 2011).

Yamuk üyelik fonksiyonunun parçalı fonksiyon şeklindeki ifadesi (3.21)'de verilir (Yaralıoğlu, 2004):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & , a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} & , a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & , x > a_4 \end{cases} \quad (3.21)$$

Yamuk bir üyelik fonksiyonu ve bileşenleri Şekil 15’de gösterilir.



Şekil 15. Yamuk üyelik fonksiyonu(Başkaya ve Öztürk, 2011)

Yamuk bulanık sayılarda işlemlerin özellikleri (Lee, 2005);

1. İki yamuksal bulanık sayı arasındaki toplama ve ya çıkarma işlemleri yine bir yamuksal bulanık sayıyı verir.
2. Çarpma, bölme ve ters alma işlemlerinin sonucu yamuk bulanık sayıyı vermeyebilir.
3. Maksimum ve minimum işlemlerinin sonuçları üçgensel bulanık sayıyı vermek zorunda değildir.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ iki yamuk bulanık sayı olmak üzere yamuk bulanık sayılarla yapılan bazı temel işlemler aşağıda tanımlanır (Ecer, 2007)

Toplama: $\tilde{A} + \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4)$

Çıkarma: $\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_4)$

Çarpma: $\tilde{A} \times \tilde{B} = (a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_3 \cdot b_3, a_4 \cdot b_4)$

Hesaplama verimliliği ve toplama kolaylığı için yamuk üyelik fonksiyonları sık sık kullanılır (Zimmermann, 1996).

3.5. Bulanık Matematiksel Programlama

Matematiksel programlama, Bulanık Küme Teorisi içerisinde yaygın olarak kullanılır. Bunun en önemli sebeplerinden birisi, Bulanık Matematiksel Programlama kısıtlarda ve amaç fonksiyonunda esnekliğe izin verir ve böylece bulanık ortamda karar vermek daha da kolay bir hal alır. Gerçek hayatta karşımıza çıkan problemlerin verileri ve parametreleri genellikle kesin bilgiler içermeyebilir. Bu yüzden literatüre bakıldığında Bulanık Matematiksel Programlama modellerinin pratik problemlere uygulandığı çalışmalar gün geçtikçe hızla arttığı görülmektedir (Sungur, 2008).

Bulanık Matematiksel Programlama, Zimmermann tarafından, karar vericinin ulaşmak istediği amaç fonksiyonunun değeri için bir istek seviyesinin (aspirasyon seviyesi) oluşturulabileceğinin ve kısıtların her birinin bir bulanık küme olarak modellenebileceğini ortaya atarak yaygınlaşmasına katkıda bulunmuştur (Sarıkaya, Çalıklan ve Türkbey, 2014).

Zimmermann, çok amaçlı bir fonksiyona sahip olan problemleri çözebilmek için Bulanık Matematiksel Programlama modelini geliştirmiştir. Zimmermann, eşit amaçlara sahip doğrusal vektör problemi için kesişme operatörü temelinde operasyonel bir Bulanık Doğrusal Programlama modelini ortaya koymuştur. Yager, amaçlar üzerinde bulanık sınırlamalı ve tercihli matematiksel programlama üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Narasimhan, çalışmasında bulanık ortamda amaç programlama problemini tartışmıştır. Diğer bir çalışmada, Rubin ve Narasimhan tarafından, bulanık amaçlar ve bunların öncelikleri üzerine yapılmıştır. Feng ve YingYun, vektör en iyileme problemlerini Bulanık Matematiksel Programlama tekniği kullanarak çözmüşlerdir (Dağdeviren, Akay, Çetinyokuş ve Kurt, 2002).

Bulanık Matematiksel Programlama modelinin en genel formülasyonu a_{ij} , d_i ve c_j bulanık olmak şartıyla aşağıdaki gibidir (Sungur, 2008):

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j \tilde{x}_j \quad (3.22)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j \leq \tilde{d}_i \quad i=1,2,\dots, m$$

$$x_j \geq 0$$

Burada, c_j amaç fonksiyonunun kar katsayısı, d_i mevcut kısıt kaynak miktarı ve a_{ij} ise teknik katsayı olarak tanımlanır. Bu girdiler (c_j, d_i, a_{ij}) eksik ya da elde edilememiş bilgiler olabileceğinden genellikle bulanıklık söz konusudur. Bu bulanık sayıların formüle edilebilmesi için üyelik fonksiyonları $(\mu_i(X))$ kullanılır (Sungur, 2008).

3.6. Bulanık Doğrusal Programlama

Gerçek yaşamda kısıtlar her zaman doğrusal programlama da olduğu gibi katı kurallara bağlı değildir. Bulanık Doğrusal Programlama, amaç ve kısıtlarda esnekliğe izin verir ve çatışan amaç ve kısıtlar arasında uzlaşık bir çözüm getirir (Erdoğan ve Öğütlü).

Doğrusal programlama modelleri için bulanıklık ifadesi, amaç fonksiyonu ve kısıt katsayılarının tam olarak bilinmediği ve model içerisinde kullanılan bazı eşitsizlikler ve eşitlikler için sınırlarının kesinlik bildirmeyen değerlerle tanımlanabildiği anlamını taşır (Özkan, 2003).

Bulanık Doğrusal Programlama, bulanık mantık ve doğrusal programlamanın birleşimi olup, Klasik doğrusal programlamanın genişletilmiş halidir. Bulanık Doğrusal Programlama, doğrusal programlama yöntemi kullanılarak çözümlenebilen problemlere karar süreçlerinde görülen belirsizlik dahil edildiğinde kullanılan bir yöntemdir. Bulanık Doğrusal Programlama modelinin en genel hali şöyle formüle edilebilir (Çevik ve Yıldırım 2010):

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j x_j$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j (\leq, =, \geq) \tilde{b}_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.23)$$

Doğrusal programlama modelinden farklı olarak, Bulanık Doğrusal Programlama modelinde bulanıklık simgesi ($\sim$) konulur. Burada $\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_i, \tilde{c}_j$ bulanık sayılardır ve x_j değerleri bulanık sayıların halleridir (Çevik ve Yıldırım 2010).

Klasik Doğrusal Programlama problemlerinde optimal sonuç bulunurken doğrusal eşitsizlik ve eşitliklerle ifade edilen çeşitli kısıtlar altında, bir doğrusal fonksiyonun maksimum ya da minimum değeri tespit edilmeye çalışılır. Fakat kimi zaman pratikte karşımıza çıkan durumlarda bu denklemlerde kullanılan parametrelerin kesin ve net olarak ifade edilmesi mümkün değildir. Bu tip durumlarda Bulanık Doğrusal Programlamanın kullanılması gerekir (Klir ve Yuan, 1995).

Bulanık Doğrusal Programlama konusunda ilk çalışma 1970 yılında “Decision Making in a Fuzzy Environment” adlı makale ile yapılmıştır. Bu makalenin yayınlanmasının ardından bulanık ortamda karar verme doğrusal programlama problemlerine uygulanmaya başlamıştır. İlk olarak Zimmermann 1974 yılında Klasik Doğrusal Programlama problemlerine Bulanık Küme Teorisini sunmuştur (Çevik ve Yıldırım 2010). Bulanık Doğrusal Programlama modellerini simetrik modeller ve simetrik olmayan modelleri şeklinde ilk kez Zimmermann tarafından sınıflandırılmıştır.

Zimmermann’a göre amaç fonksiyonu ve kısıtların her ikisinin de bulanık olması halinde simetrik model ortaya çıkmaktadır (Özkan, 2003).

Daha sonra çalışmalar hızla yaygınlaşmıştır. Tanaka, Okuda ve Asai 1974 yılında bulanık kısıtlarda Bulanık Doğrusal Programlamanın bir formülasyonunu öne sürmüş ve bulanık sayılar arasındaki eşitsizlik ilişkilerine dayalı çözümüne ilişkin bir yöntem sunmuştur. Zimmermann 1978 yılında bulanık optimizasyonun temellerini oluşturarak çok amaçlı ve doğrusal üyelik fonksiyonlu bir bulanık optimizasyon problemine indirgenebileceğini kanıtlamıştır. Orlovsky(1978), Yager(1979), Freeling(1980), Dubois ve Prade(1980) Bulanık Doğrusal Programlama konusunda çalışmalar yapmışlardır. Negotia 1981 yılında bulanık katsayılarda doğrusal programlama problemini formüle etmiş ve robust programlama olarak tanımlamıştır. 1981 yılında Hannan, 1984 yılında Nakamura parçalı üyelik fonksiyonlu Bulanık Doğrusal Programlama problemlerini ele almışlardır. Chanas 1983 yılında Bulanık Doğrusal Programlamada parametrik programlamayı kullanmıştır. Tanaka ve Asai 1984 yılında teknoloji matrisi ve amaç fonksiyonu katsayılarını, sağ taraf sabitlerini bulanık sayılar olarak alıp, kısıtları bulanık fonksiyon olarak düşünmüşlerdir.

Ayrıca Tanaka ve Asai 1984 yılında amaç fonksiyonuna bir tatmin düzeyi vererek bunu da bir kısıt gibi düşünen bir yöntem önermiştir. 1989 yılında Werners tarafından, amaç ve sınırların bulanık olduğu modellerin çözümünde etkileşimli bir matematiksel model önerilmiştir. 1989 yılında Delgado, Vergeday ve Vila tarafından Bulanık Doğrusal Programlama problemlerinin çözümü için genel bir model geliştirilmiştir (Çevik ve Yıldırım 2010).

Bulanık Doğrusal Programlamanın uygulama alanına gelince, Klasik Doğrusal Programlamanın kullanıldığı her alanda kullanılabilir. Bulanık Doğrusal Programlama tarımsal ekonomiler, atama problemleri, bankacılık ve finans, çevre yönetimi, personel yönetimi, üretim gibi birçok alanda uygulamaya konulmuştur (Çevik ve Yıldırım 2010).

3.6.1. Bulanık Doğrusal Programlama Modellerinde Yaklaşımlar

Bulanık Doğrusal Programlama modellerinde yer alan yaklaşımları Zimmermann yaklaşımı, Verdegay yaklaşımı ve Werners yaklaşımı şeklinde incelenebilir.

3.6.1.1. Zimmermann Yaklaşımı

Bulanık Doğrusal programlama bir karar modeli olarak ilk kez Zimmermann tarafından ele alınmıştır. Zimmermann çalışmasında bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama modellerinde, karar vericinin amaç fonksiyonu için hedeflemiş olduğu seviyeyi ve tolerans miktarını çözüm öncesinde belirleyebildiğini savunmuştur (Çevik ve Yıldırım, 2010).

Bulanık Doğrusal Programlama modellerinin çözümü için Zimmermann'ın sunduğu yöntemin az sayıda varsayım ve işlemsel kolaylık sağlama gibi avantajları olmasına rağmen, bu yönteme literatürde iki açıdan eleştiri getirilmiştir. İlk eleştiri, amaç fonksiyonunun erişim düzeyi ile maksimum tolerans miktarının karar vericiden başlangıçta istenmiş olmasıdır. Karar vericinin bu değeri doğru olarak belirlemesi mümkün olmayabilir. Ayrıca amaç fonksiyonunun erişim düzeyinin çok büyük olması problemin çözümünün belirlenememesine sebep olabilir. İkinci eleştiri ise, bulanık karar kümesi tamamen belirlenememekte, bunun yerine bulanık karar kümesinin en büyük üyelik dereceli elemanı belirlenir (Özkan, 2003).

Zimmermann'a göre bulanık amaç fonksiyonunun b_0 , amacı ve p_0 tolerans miktarı ile tüm kaynakların b_i ve p_i değerleri başlangıçta belirlenerek bulanık amaç ve bulanık kısıtların birbirinden farksız olduğuna karar verilir. $\forall_i$ için $[b_i, b_i + p_i]$ aralıklarıyla tanımlanır. Dolayısıyla (Karaatlı, Ömürbek ve Yılmaz, 2014);

$$\text{Maximum } Z = c^T x$$

Kısıtlar;

$$(Ax)_i \lesseqgtr b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.24)$$

$$x \geq 0$$

eşitliği x 'in bulunması problemine dönüşür.

X' , bul;

$$c^T x \lesseqgtr b_0$$

$$(Ax)_i \lesseqgtr b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.25)$$

$$x \geq 0$$

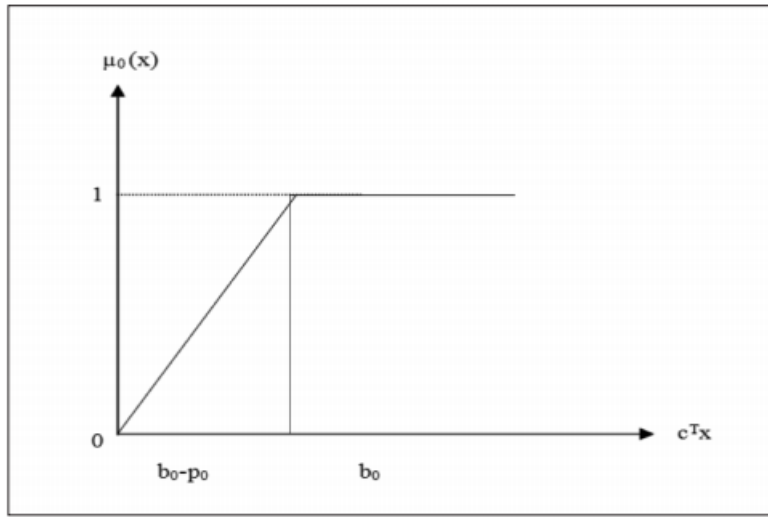
burada gösterilen $\sim$ bulanıklaştırma işareti olup, $\leq$ işaretinin bulanıklaştırılmış hali $\lesseqgtr$ dönüşür. ' $(Ax)_i$ kısıtlayıcısı b_i civarında ve daha azdır', $c^T x$ amacı ise b_0 civarında veya daha fazladır şeklinde yorumlanır.

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları belirlenir ve karar verici tarafından belirlenen sabit değerli tolerans miktarına göre bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları aşağıda verildiği gibidir (Lai ve Hwang, 1992)

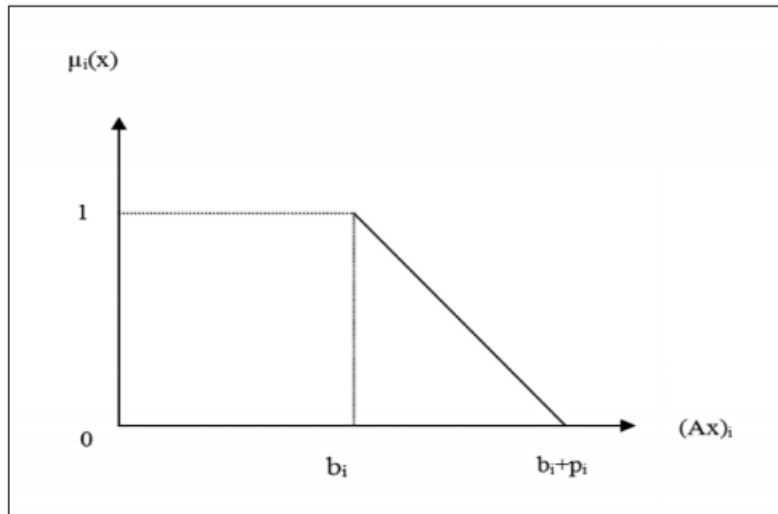
$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1 & , c^T x > b_0 \\ 1 - \frac{b_0 - c^T x}{p_0} & , b_0 - p_0 \leq c^T x \leq b_0 \\ 0 & , c^T x < b_0 - p_0 \end{cases} \quad (3.26)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & , (Ax)_i < b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & , b_i < (Ax)_i \leq b_i + p_i \\ 0 & , (Ax)_i > b_i + p_i \end{cases} \quad (3.27)$$

Bulanık amaç fonksiyonuna ilişkin üyelik fonksiyonları artan sürekli doğrusal fonksiyon iken ve bulanık kısıtlayıcı için üyelik fonksiyonu azalan doğrusal bir fonksiyondur. Bulanık amaç ve bulanık kısıtlar için üyelik fonksiyonları Şekil 16’da ve Şekil 17’de görülmektedir (Özkan 2003).



Şekil 16. $c^T x \geq b_0$ şeklindeki bulanık amacın üyelik fonksiyonu (Özkan 2003)



Şekil 17. $A(x)_i \leq -b_i$ şeklindeki bulanık kısıt için üyelik fonksiyonu (Özkan 2003)

Simetrik Bulanık Doğrusal Programlama modellerinde ilave bir değişken olan λ ifadesi kullanılarak, bulanık amaç ve bulanık kısıt üyelik fonksiyonlarının yerine yazılması ile aşağıdaki modele dönüştürülür ve model son halini alır (Çevik ve Yıldırım, 2010).

$$\text{Max } \lambda$$

Kısıtlar;

$$c^T x \geq b_0 - (1 - \lambda)p_0 \quad (3.28)$$

$$(Ax)_i \leq b_i + (1 - \lambda)p_i$$

$$(Ex)_i \leq b_i; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\lambda \in [0, 1]$$

$$x \geq 0$$

$(Ex)_i \leq b_i$ bulanık olmayan kısıtlayıcı şeklinde modele dahil olur. Yukarıda verilen doğrusal programlama modeli klasik bir doğrusal programlama problemidir (Özkan, 2003).

3.6.1.2. Verdegay Yaklaşımı

Vergeday yaklaşımında, betimleme teoremi ve parametrik programlamadan yararlanarak; bulanık kısıtlayıcı bir doğrusal programlama modelinin bulanık çözümünün bulunması için, bulanık kısıtlayıcıların α -kesim kümelerine ayrılması gerektiğini savunulmuştur. Vergeday yaklaşımında parametrik programlama yardımıyla hesaplanan çözümlerden hangisinin Bulanık Doğrusal Programlama probleminin çözümü kabul edileceği, tamamen karar vericiye aittir (Karaatlı vd., 2014). Verdegay(1982), sağ taraf değerleri bulanık olan DP problemlerinin kesin parametrik programlama problemine eşdeğer olduğunu ilk olarak kanıtlayan kişidir (Lai ve Hwang, 1992).

Bulanık parametrelili doğrusal programlama problemleri şu şekilde ifade edilir (Özkan, 2003).

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j \tilde{x}_j$$

Kısıtlar;

$$(3.29)$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j \leq \tilde{b}_i, i=1,2,\dots, m$$

$$x \geq 0$$

Verdegay'ın önerdiği, bulanık kısıtlara ait üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Lai ve Hwang, 1992).

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & , (Ax)_i < b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & , b_i < (Ax)_i \leq b_i + p_i \\ 0 & , (Ax)_i > b_i + p_i \end{cases} \quad (3.30)$$

Bu üyelik fonksiyonları kullanılarak düzenlenen model de aşağıdaki hali alır (Lai ve Hwang, 1992).

$$\text{Maximum } Z = c^T x$$

Kısıtlar;

$$(Ax)_i \leq b_i + (1 - \alpha)p_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.31)$$

$$\alpha \in [0, 1]$$

$$x \geq 0$$

Bu model, $\alpha = 1 - \theta$ alındığında parametrik programlama problemine ulaşılır ve sonuç θ parametresine bağlı olarak elde edilir (Lai ve Hwang, 1992).

3.6.1.3. Werners Yaklaşımı

Werners modelde bulanık kısıtların tolerans düzeyleri (p_i) ve üyelik fonksiyonları ($\mu_{\text{kısıt}}$) karar verici tarafından belirlenebildiğini savunmuştu ancak, bulanık amaç fonksiyonuna ilişkin üyelik fonksiyonları, karar verici tarafından önceden belirlenememektedir. Werners, amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonunu Orlovski'nin önermiş olduğu bulanık karar kümesini temel almıştır. Orlovski, bulanık kısıtlayıcıların oluşturduğu tanım kümesinin her bir α -kesim kümesi için, amaç fonksiyonunu optimal değerlerini belirler. Optimal değerlerle eşit üyelik dereceli olan çözüm uzayının α -kesim kümesini bulanık karar kümesi olarak ele almayı önermiştir (Oruç ve Yılmaz 2013).

Werners, amaçların gerçekleşebilir en küçük ve en büyük değerlerini bularak üyelik fonksiyonunu oluşturmuştur. Werners yöntemi, Bellman ve Zadeh'in bulanık karar; bulanık hedef ve bulanık kısıtların kesişimidir (Sarucan, Atak ve Yılmaz).

Werners'e göre bulanık kısıtlı doğrusal programlama problemlerinde kısıtların bulanık olması sebebiyle, amaç fonksiyonunda bulanık olmasını gerektirir. Bu sebeple, bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama problemleri bulanık amaç fonksiyonlu ve bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama problemleri olarak ele alınabilir. Werners'in Bulanık Doğrusal Programlama yaklaşımı aşağıdaki gibi modellenir (Özkan, 2003).

$$\text{Maximum } Z = c^T x$$

Kısıtlar;

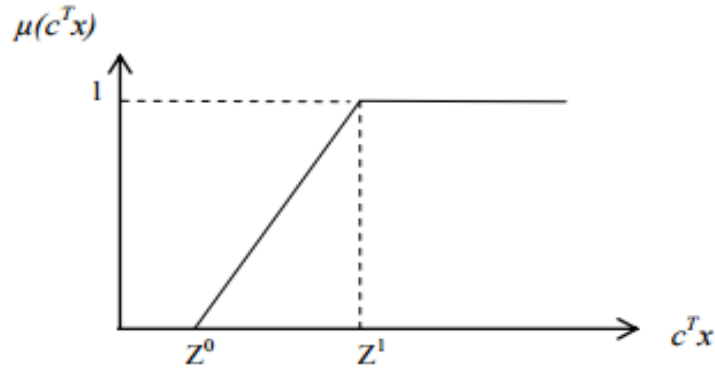
$$(Ax)_i \lesseqgtr b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.32)$$

$$x \geq 0$$

Optimal değer Z^0 ve Z^1 arasında değer alacağından bu aralıkta amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonu sürekli artan doğrusal üyelik fonksiyonudur. Bu durumda amaç fonksiyonunun ve bulanık kısıtların üyelik fonksiyonu aşağıda tanımlanmıştır (Çevik ve Yıldırım, 2010):

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1 & , c^T x > Z^1 \\ 1 - \frac{Z^1 - c^T x}{Z^1 - Z^0} & , Z^0 \leq c^T x \leq Z^1 \\ 0 & , c^T x < Z^0 \end{cases} \quad (3.33)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & , (Ax)_i < b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & , b_i < (Ax)_i \leq b_i + p_i \\ 0 & , (Ax)_i > b_i + p_i \end{cases} \quad (3.34)$$



Şekil 18. Amaç fonksiyonu için üyelik fonksiyonu(Lai ve Hwang, 1992)

Optimal çözüm, Z^0 ve Z^1 arasında bir değer alacağı için optimal çözümün değeri arttıkça memnuniyet de artacaktır (Lai ve Hwang, 1992).

Optimal kararın belirlenmesinde max (min) işlemcisi kullanılır. Bu yüzden Werners'in yöntemi, simetrik bir yöntemdir. Bunun anlamı ise; hem amaç fonksiyonunun, hem de kısıtların birlikte doyumunu sağlayan bir Bulanık Doğrusal Programlama modelidir. Optimal karara ulaşmak için Bellman ve Zadeh tarafından önerilen min işlemcisi ele alınarak, μ_D üyelik fonksiyonu ile D karar alanı elde edilir (Çevik ve Yıldırım, 2010):

$$\mu_D = \text{Min} (\mu_0, \mu_1, \dots, \dots, \mu_m) \quad (3.35)$$

Werners modelini Klasik Doğrusal Programlama modeline dönüştürmek için λ değişkeni kullanılarak, μ_D eşitliğinin optimal çözümün maksimum olduğu kararının seçilmesi halinde model aşağıdaki gibi ifade edilir (Çevik ve Yıldırım, 2010):

$$\text{Max } \lambda \quad (3.36)$$

Kısıtlar;

$$\mu_0 \geq \lambda$$

$$\mu_i \geq \lambda \quad \lambda, \mu_0 \text{ ve } \mu_i \in [0, 1], \quad \forall_i \text{ için}$$

$$x \geq 0$$

BÖLÜM 4

BULANIK UZLAŞIK PROGRAMLAMA

4.1. Bulanık Uzlaşık Programlama Yaklaşımı

Uzlaşık Programlama da karar vericinin değer sistemi ve kriter değerlerindeki belirsizlikleri gidermek için genel bir bulanık yaklaşım uygun görülmektedir (Simonovic, 2009). Ayrıca uzlaşık programlama yaklaşımındaki belirsizlik durumlarının ve karar vericilerin değişebilen kararlarının üstesinden gelebilmek için Bulanık Uzlaşık Programlama (BUP) yöntemine başvurulur. Uzlaşık Programlama da bulanık yaklaşım, genel olarak orijinal formülasyona benzerlik gösterir. Bununla birlikte girdi verileri, kriter değerleri, ağırlıkları ve olası kriter değer aralıklarının bulanık kümeleridir. Girdi verileri göz önüne alındığında bir merkez yöntemi kullanılarak, alternatiflerin sıralanması, bulanık mesafe metriklerine dayanır. Bulanık mesafe metrikleri, deterministik ayırma ölçüsünü genişleterek elde edilir. Buna ek olarak bulanık girdi, çelişkili görüşleri ifade ederken, beklenen değerler için de bilgi sağlar. Bu çelişen tercihleri yansıtacak şekilde tasarlanmış üyelik işlevleri, grubun karar vermesini kolaylaştırır (Malczewski, 1999).

Bulanık Uzlaşık Programlama, bulanık ortamda, Uzlaşık Programlamanın bir uzantısıdır. Net girdiler yerine bulanık sayıları kullanarak sonuç matrisinin formülasyonu açısından uzlaşık programlamadan farklıdır (Kumar ve Raju, 2010). Şekil 2.1'deki çok amaçlı problem, ideal çözüm için artık tek bir nokta olarak düşünülmemektedir ve her alternatif çeşitli derecelerde küçük bir bölge sahasını kaplamaktadır. Bulanık ideal ile alternatiflerin bulanık performansları arasındaki mesafelerin ölçümleri için tek bir değer verilememektedir. Çünkü pek çok mesafe vardır ve en azından belirli bir geçerliliğe sahiptir. İdeale en yakın mesafeyi seçmek için, çakışmalar ve olasılık derecelerinin çeşitliliği nedeniyle artık mesafe metriklerinin doğrudan sıralanması ile mümkün değildir. (Simonovic, 2009). Bulanık mesafe metriği, kararın sonuçları hakkında çok miktarda ek bilgiler içerir (Bender, 2002).

BUP yaklaşımında tüm girdiler, kesinlikten bulanık hale getirilerek ve bulanıklık genişletme ilkesini kullanarak, bir mesafe metriğinin bulanık kümeye dönüşümü gerçekleştirilir. Bununla birlikte bazı girdilerin deterministik bir biçimde kalabildiklerini belirtmek gerekir ki, doğrulukları hakkındaki güven düzeyi tatmin edici derece de yüksektir.

Bender ve Simonovic (2000), tarafından geliştirilen Bulanık Uzlaşık Programlama tekniği, Uzlaşık Programlama mesafe metriğini bulanık uzatma ilkesinin uygulaması yoluyla tüm girdileri değiştirerek bulanık kümeye dönüştürülür. Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımı, birçok belirsizliğin üstesinden gelebilir (Simonovic, 2002). Bu şekilde bulanık ve deterministik girdilerin birleşimi, Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımıyla ele alınabilir (Nirupama ve Simonovic, 2002).

Bender ve Simonovic (2000), çok kriterli uzlaşığa dayalı karar verme tekniğine yenilikçi bir değişiklik getirmişlerdir. Tamamen programlamaya uyum sağlayan Bulanık Uzlaşık Programlamayı formüle etmişlerdir. Klasik bir ortamdan bulanık bir ortama dönüştürmenin zorluğu sebebiyle karar verme de öznel verilerin doğru bir şekilde verilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Öznel veriyi iyi temsil eden ise bulanık küme teorisidir. Böylece Uzlaşık Programlama, mesafe metrik denkleminde net sayılar kullanmak yerine bulanık sayılar kullanılır. Klasik aritmetik kurallar kullanmak yerine bulanık aritmetik kurallar uygulanır. Basitçe mesafe metriklerini sıralamak yerine bulanık mesafe metriklerini sıralamak için bulanık küme sıralama yöntemleri uygulanır. Diğer bir deyişle, bulanık dönüşüm, sonuçların toplanıp yorumlanmasını ve karar verme sürecini daha gerçekçi bir şekilde modellenmesini sağlamaktadır (Simonovic, 2007).

Bulanık Uzlaşık Programlama yönteminin temel fikri, mümkün olan çözüm kümesi ile ideal çözüm kümesi arasındaki mesafeyi hesaplayarak ve ideal çözüme en yakın olan uygun çözümü nihai çözüm olarak belirleyip genel optimumu elde etmektir (Yu, Tian, Xing ve Gao,2016).

Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımı, geleneksel (bulanık olmayan) Çok Kriterli Karar Verme tekniklerine kıyasla çok sayıda karşılaştırma avantajına sahiptir. En önemlisi belirsizlik ve belirsizlik durumlarının doğrudan ve çoğunlukla sezgisel olarak karar verme sürecine dahil edilir. Gerçek kararlarda kriterlerin birçoğu öznel niteliktedir. Doğası gereği öznel kriterler bulanıktır. Bulanıklık derecesine izin vererek tekniğin alternatif tercihleri yayma becerisine daha fazla gerçekçilik eklenir (Bender, 2002).

Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımı, “algılamadaki en sağlam belirsizliklere” ve “algı ve performanstaki en sağlam belirsizliklere” Çok Kriterli Karar Verme geribildirimini uygulanır. Riskten kaçınma derecesinde duyarlılığın değerlendirilmesi, belirli bir sorunun bağlamında sağlam olan alternatiflerin seçilmesine ve hem kriter vurgusuna hem de kriter ölçümüne sağlamlık getiren daha geleneksel dayanıklılığa izin verilir (Bender, 2002).

Grup karar verme durumuna geldiğinde Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımı, mevcut alternatifleri ve bunlarla ilişkili risklerin birlikte araştırılmasını kolaylaştırır. Kolektif görüşler, girdilerin bulanıklığının artırılması (azaltılması) yoluyla veya aralıkları veya çoklu görüşlerin konumlarının belirlenmesiyle dahil edilmiştir. Bulanık kümeler bu tür bilgileri işleyebilir. Etkili ve sezgisel olarak sunabilir (Bender, 2002).

Çok amaçlı optimizasyon problemlerini bulanık kısıtlarla çözmek için, Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımı önerilir. Hedefler arasındaki çatışmalar ideal bir çözümün temelinde uzlaşık bir çözümün türetilmesi yoluyla çözülür. Kısıtlar bulanık olduğundan fikir çözümü tam olarak gerçekleşmemektedir. Mesafe ölçümü ile ilgili olarak bulanık idealin belirli bir unsura uzaklığı en aza indirgeyerek uzlaşmaya dayalı bir çözüm kümesi bulunur. Bahsedilen unsura bağlı olarak, farklı uzlaşık çözüm kümeleri elde edilebilir. İdeal ve uzlaşık çözümler eksik veya hatalı olsa da çatışmaların çözümünde büyük ölçüde esneklik artmaktadır (Leung, 1984).

Bulanık çok amaçlı analiz; çok amaçlı problemlerin formülasyonun da parametrelerin niteliğinin kesin olmayan ve bulanık olarak anlaşılmasını içerecek şekilde genişletilmiştir. BUP, çeşitli belirsizlik kaynaklarına izin veren ve grup karar verirken esnek olmasını sağlayan programdır. Olası bir durumu bulanık kümeler aracılığıyla toplu görüşleri ve çelişkili kararları yansıtacak şekilde tasarlanmış gözden geçirme olanağı tanır.

Bulanık kümeler için rastgele sıralamalar üretmek ve alternatif seçimleri değerlendirmek için sıralama ölçütlerinden yararlanılır. Sıralama ölçütleri farklı karar vericilerin riskten kaçınma etkisini gösterir. Hedeflerin değerleri, karar vericilerin tercihleri ve mesafe metriğinin yorumu için bulanık kümelerin farklı şekilleri ile denemeler yapmak mümkündür (Simonovic, 1997).

Bulanık Uzlaşık Programlama da, en küçük mesafe metrik değerlerini elde etmek, çok ta kolay değildir. Çünkü mesafe metrikleri de bulanıktır. Gruptaki mesafe metriklerinden en küçük mesafe metriğini seçebilmek için, bulanık küme sıralama yöntemlerini kullanmak

gerekir. Prodonavic ve Simonavic tarafından yapılan bir çalışma da, Bulanık Uzlaşık Programlama da bulanık küme sıralama yöntemlerinin kullanılması kararlaştırılmıştır (Simonovic 2007).

Leung “Bulanık Uzlaşık Programlama” olarak ifade edilen “bulanık ideal kavramını ortaya atmıştır. (Delgado, Verdegay ve Vila, 1990) Wang ve Yang 2009 yılında tedarikçi seçimi için AFP yöntemi ve Bulanık Uzlaşık Programlama yöntemini kullandı. Aynı zaman da seçim modelleri, miktar indirim oranları ile tedarikçiler arasında sipariş miktarları tahsis etmektedir. Terol, Gladish, Parra ve Uria 2006 yılında portföy seçim problemini çözmek için BUP yaklaşımını kullanmışlardır (Alptekin, 2012).

BUP yaklaşımı, bireysel amaçları marjinal bir şekilde değerlendirerek ve ardından tüm hedefleri küresel olarak değerlendirip, çeşitli amaçları dikkate alır. Küresel zel değerlendirmede karar vericinin tercihleri yansıtılır ve çeşitli hedefler göz önünde bulundurulur (Yu vd., 2016). Özel faktörleri olabildiğince önleyebilmek için, BUP her optimizasyon amacına çeşitli ağırlık katsayıları verir. Daha sonra çok amaçlı optimizasyon problemi tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülür (Yu vd., 2016).

BUP yaklaşımı, amaçları ve kısıtları kesin olmayan ortamlarda uygun bir çözüm yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bulanık parametrelerdeki belirsizlik sürekli olarak olasılık dağılımını temsil eder. Bu nedenle, parametrelerin kabul edilebilir olası değerleri için, kısıtlamaya yer verilerek, bulanık sayılarla hesaplama gerçekleştirilir (Bilbao Terol, Perez Gladish ve Antomil Ibias, 2006). Böylece modelin kurulabilmesi ve bulanıklık durumunda ideal bir çözümün sunulabilmesi için Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımı analiz edilir (Gharakhani ve Sadjadi, 2013).

Bulanık Uzlaşık Programlama, her türlü belirsizlik ortamı için kullanılabilecek bir yöntemdir.

Örneğin; sel yönetiminde meydana gelen doğal hidrolojik süreçler, veri izleme sistemleri, doğru ekipman seçimi ve bilgi eksikliği gibi durumlar Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımı ile ilişkilendirilir (Simonovic, 2002).

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü karmaşık olduğundan, genellikle çözüme ulaşabilmek için kombinasyon yöntemi kullanılır. Her bir optimizasyon amacına ağırlık katsayıları verilerek çok amaçlı optimizasyon problemi tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülür. Her hedefin boyutları genellikle farklıdır. Bu nedenle çok

amaçlı optimizasyon problemlerini bir araya getirmek için Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımına başvurulur (Yu vd., 2016).

Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımını benimsemenin faydaları çoktur. Muhtemelen en belirgin olanı, karar belirsizliğinin genel olarak incelenmesidir. Olasılık değerlerini bulanık girdilerle ifade etmek, tecrübeye dayanan girdi bilgilerinin ifade edilmesinde önemli bir rol oynamasına olanak tanır. Bulanık küme şekli, karar vericinin deneyimini ve yorumunu ifade eder. Çelişkili veriler veya tercihlerde, grubun kolayca karar verebilmesinde uyumun ve esnekliğin sağlanabilmesinde bulanık kümelerin kullanılmasında, Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımından yararlanarak elde edilir (Bender, 2002).

Bulanık Uzlaşık Programlama modelinin, bir diğer özelliği; karar vericinin, görüşünün yanı sıra karar vericinin analizi ve buna bağlı tercihleridir (Bilbao-Terol, Perez-Gladish, Arenas-Parra ve Rodriguez-Uria, 2006).

Modellemenin sağladığı avantajlardan biri çok amaçlı problemin, tek amaçlı probleme dönüştürülmesi ve olağan optimizasyon teknikleri ile çözülmesidir. Bulanık Uzlaşık Programlamanın kullanılması tedarik zinciri planlama sisteminde ele alınan iki farklı amaç arasında homojen olmayan ölçüm ölçeklerinin varlığını engelleyerek daha objektif bir uzlaşık çözümün oluşturulmasını kolaylaştırır (Elahi, Pakzad-jafarabadi, Etaati ve Seyed-Hosseini, 2011a).

Bulanık Uzlaşık Programlama tekniği, çoklu alternatifleri yargılamak için birden fazla kriterin kullanıldığı karar verme listesine güçlü ve esnek bir katkı sağladığı kanıtlanmıştır (Simonovic, 2002).

Çeşitli belirsizlik kaynaklarına izin vermek ve grup karar desteğini esnek bir biçimde kolaylaştırmak amacıyla, Bulanık Uzlaşık Programlamadan yararlanılır.

BUP yaklaşımı, olası koşulların gözden geçirilmesini sağlar ve grup görüşleri ve çelişkili yargıları yansıtacak şekilde tasarlanmış bulanık kümeler yoluyla grup kararları desteklenir. Rastgele sıralamaları üretmek için alternatiflerin değerlendirilmesi bulanık kümeler için iki sıralama yöntemi ile gerçekleştirilir. Sıralama yöntemleri farklı karar vericilerin riskten kaçınma düzeylerine etkisinin olduğunu göstermiştir. Sıralamaya ait iki ayrı yöntem kullanılır. Bu yöntemler merkez ölçüsü ve bulanık bir hedefe dayanan bulanık karşılaştırma ölçütüdür (Bender, 2002).

BUP, tüm girdi parametrelerini sadece kriter değerleri ile değil, bulanık kümeler olarak da değerlendirilir. Bu yaklaşım, modelin mümkün olduğunca çok bilgi kullanmasını sağlayan çeşitli parametrelerin temsili olarak bulanık kümelerin kullanılmasından yararlanır. Uzmanın belirli bir parametre değerinde ne kadar çok keskin olursa bulanık sayıya daha az bulanıklık atanır ve böylece daha odaklanılmış bir çözüm ortaya çıkar. Bu yaklaşımın dezavantajı; mesafe ölçümlerinin bulanık olması, böylece α -kesim değerine dayanan ağır bir hesaplama yükü getirmesidir (Ben-Arieh ve Chen, 2014).

4.2. Bulanık Mesafe Metrikleri

Mesafe metriği, belirli bir çözümün genelde uygulanabilir (ideal) çözümle yakınlığını belirlemektedir (Simonovic, 2009).

Girdiler bulanık kümeleri oluşturma sürecinde önem arz eder. Kesinlikle rastgele atama basittir ve olasılık aralığını kapsayabilir. Ayrıca bir sürü bilgiyi bulanık küme de kodlamak mümkündür. Uygun bulanık kümeler üretme, mevcut verileri, buluşsal bilgileri veya çelişkili görüşleri barındırma süreci bilgiyi doğru bir şekilde sunma yeteneğine sahip olmalıdır. Bulanık küme oluşturulması için ele alınan uygun teknikler sorunun türüne, farklı karar vericilerin varlığına spesifik olduğu düşünülmelidir. Bulanık mesafe ölçümlerinin özellikleri ile ilgili tartışmalar maksimizasyon problemleri içindir. Diğer bir deyişle kriterler için daha büyük değerlerin, küçük değerlerden daha iyi olduğu varsayılır ve ideal çözüm alternatiflerden daha büyük değerlere sahip olma eğilimindedir (Bender, 2002).

Kriterlerin/hedeflerin değerlerinin bulanıklaştırılması muhtemelen karar verme problemlerinde bulanık kümelerin en bariz kullanımudur. Bulanık kümeler, alternatifler arasında kriterlerin algılanan değerinde birçok göreceli farklılık kalitesini yakalar.

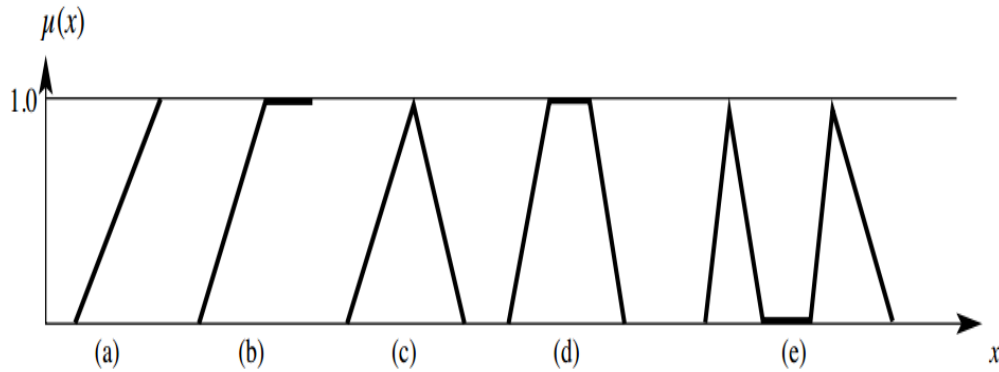
Model değerlerinin yerleştirilmesi, üyelik işlevlerinin eğriliği ve bu eğrilik ile birlikte, karar vericilerin öznel kriter değerleri için olasılık derecesini korumalarına izin verebilir (Bender, 2002).

Kriter ağırlıkları seçimi genellikle belli aralıklarla derecelendirilen öznel bir yönü ifade edilir. Öznel bir değer olarak, kriter ağırlıkları, bulanık kümeler ile daha doğru temsil edilebilir. Bu bulanık kümeleri üretmekte öznel bir unsurdur. Bir karar vericiden bulanıklık derecesi hakkında dürüst fikir almak zor olabilir. Birden fazla karar vericinin

katıldığı durumlar da, ağırlıklar için bulanık kümeler oluşturmak daha net olabilmekte ve daha sonra oylama yöntemleri ile diğer teknikleri birleştirerek toplu bir fikir üretmek mümkün olmaktadır. Sonuç olarak bulanık kümelerdeki geçerli ağırlıklar hakkında fazlaca net bilgiler sağlanabilir (Bender, 2002).

Kriterler için daha büyük değerlerin, daha küçük değerlerden daha iyi olduğu varsayılır ve ideal çözüm, alternatifler içerisinde daha büyük bir değere sahip olma eğilimindedir (Simonovic, 2009).

Bu çerçeveye formüle edilen çok amaçlı problemlerin, tüm parametrelerini türetmek mümkündür ve bu durum arzulanabilir. Şekil 19'daki, kriter değerleri, ağırlıkları, Bulanık Uzlaşık Programlamanın olumlu idealleri ve olumsuz idealleri için kullanılacak bulanık kümelerinin, girdilerinin tipik şekillerini göstermektedir. Gösterilen bulanık kümeler, (a) ve (b) tek taraflı doğrusal, (c) üçgen, (d) yamuk veya (e) çelişkili iki üçgen setini birleştiren parçalı doğrusallardır. Doğrusal olmayan bulanık kümeler de kullanılabilir, ancak bu seçim farklı şekilde özellikleri belirtilir (Simonovic, 2009).



Şekil 19. Tipik bulanık girdi şekilleri (Simonovic, 2009)

Bir karar vericinin perspektifinden farklı alternatiflerin göreceli performansının inceliklerini yakalamak için yeterli seçenek olmayabilir. Aynı şekilde, eğer çok sayıda seçenek sağlanırsa, dilsel anlamda özelliğin takdiri kaybolur. Bulanık kümeler, alternatifler arasında kriterlerin algılanan değerlerinde birçok göreceli farklılık kalitesini yakalamaktadır. Şekle değerlerin yerleştirilmesi, üyelik işlevlerinin eğriliği ve eğriliği ile birlikte, karar vericilerin öznel kriter değerleri için ne derece olma ihtimalini göz önünde bulundurmalarına izin verebilir. Kantitatif kriterler, nitel kriterlerden biraz farklı özelliklere sahiptir.

Kantitatif kriterlerin doğrudan ya da bazlı hesaplamalar yoluyla bir şekilde ölçülmüş olduğu varsayılabilir. Bunlar, örneğin gelecekteki belirsizliklere dayalı olarak, değerlerin oluşma ihtimalini tanımlayan stokastik özelliklere sahiptir. Ayrıca ölçümlerinde veya modellemelerinde bir derece yanlılığı vardır. Bu şekilde nicel kriterler hem stokastik hem de bulanık özelliklere sahip olabilir. Birçok karar verme probleminin komplikasyonunu önlemek için, çeşitli belirsizlikler bulanık kümelerle temsil edilebilir. Genel olarak, bulanık bir yaklaşımla nicel kriterlerin uygulanması, nicel kriterlerin, nitel kriterlere göre daha bulanık olduğunu varsayabilir (Simonovic, 2009).

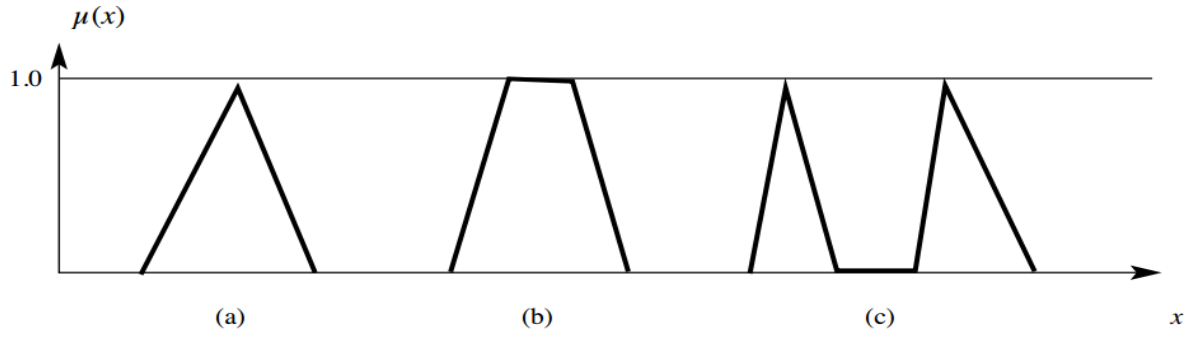
Kriter ağırlıkları, Bulanık Uzlaşık Programlama yönteminin önemli bir özelliğidir. Görevleri, genelde bir aralık ölçeğinde derecelendirmeli olarak tamamen öznel. Öznel bir değer olarak, kriter ağırlıkları bulanık kümelerle daha doğru temsil edilebilir. Bu bulanık kümeleri üretmek de öznel bir süreçtir. Kararın bulanıklığı derecesinde dürüst fikir almak zor olabilir. Birden fazla karar vericiler söz konusu olduğunda ağırlıklar için bulanık kümeler üretmek daha kolay olabilir. Daha sonra, en azından, oylama yöntemleri ve diğer teknikler, toplu bir ortak görüş oluşturmak için kullanılabilir. Bulanık kümelerdeki geçerli ağırlıklar hakkında daha net bilgiler verildiğinden, daha fazla bilgiye de sahip olunmaktadır (Simonovic, 2009).

Bulanık kriter ağırlıkları çeşitli amaçlara hizmet edebilir. İçeriğe duyarlı ağırlıklandırma dikkate alınarak geçerli değer aralıkları üretilir. İdeal olarak, doğru ağırlık, kararın ve mevcut bilgilerin bağlamında şarta bağlıdır, ancak bu normal olarak kötü tanımlanmış ve az anlaşılmıştır. Ağırlıklar daha sonra seçilebilir ve tek bir karar vericinin potansiyel olarak geçerli ağırlıklarının bulanık bir kümesi olarak düşünülebilir. Birden fazla karar vericinin tercihlerinden emin oldukları göz önüne alınmalıdır (Simonovic, 2009).

Kriter değerleri ve kriter ağırlıkları için üyelik işlevleri, her biri üç farklı biçimde ifade edilebilir. Bunlar (Bender,2002):

1. Belirsiz (Burada, küçük bir bulanıklık derecesine sahip özel bir durum olduğu bilinir);
2. Bilinmeyen;
3. Çelişkili;

Hem (b) hem de (c) geçerli durum hakkında biraz çelişkili bir durum üretmektedir.

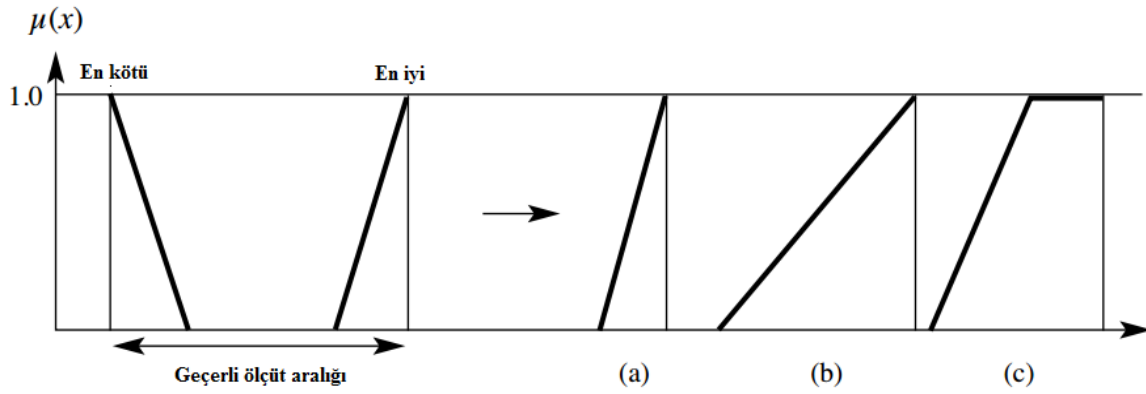


Şekil 20. Bulanık kriter değerleri ve ağırlıkları (Simonovic, 2009)

Belirsizliğin ideal çözüme dahil edilmesi, alternatiflerin sıralamalarını etkileyen bir unsurdur. İdeal çözümün (hem pozitif hem de negatif) konumuna bulanıklık kattığımızda, ideal nokta için geçerli alan - ölçüt alanındaki - alternatiflere olan uzaklığın ölçülmesini etkiler. Örneğin, taşkın hasarının azaltılması bir kriter ise, o zaman hasar azaltmanın ideal miktarı nedir? Tipik olarak, (keskin) Uzlaşık Programlama uygulamaları, alternatifler arasında en büyük kriter değerini ideal değer olarak kullanır. Bu rasgele yerleştirme durumu, muhtemelen geçerli değildir ve aynı zamanda genel ideal arasındaki göreceli mesafeleri de etkiler. Başka bir örnekte, öznel bir ölçüt, $\{1,2,3,4,5\}$ ölçeğinde derecelendirilir ve her biri için dilsel yorumlamalar yapılır ve tüm alternatifler $\{3\}$ veya $\{4\}$ olarak derecelendirilirse, pozitif ve negatif $\{4\}$ ve $\{3\}$ idealleri genel olarak alternatif performansını gösteren mesafe ölçümlerini üretmemektedir (Simonovic, 2009).

Şekil 21’de pozitif ve negatif ideallerin tekli bulanık kümeler olarak nasıl ifade edilebileceğini göstermektedir.

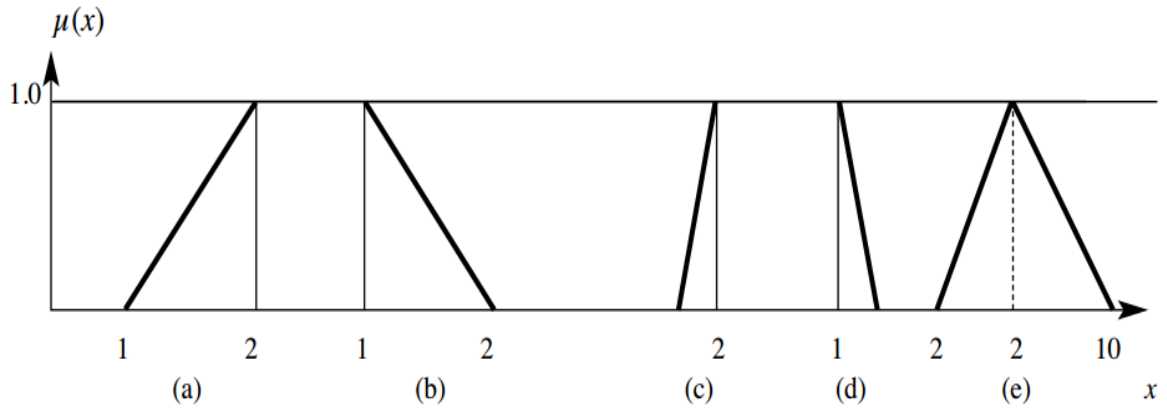
Üç seçenek vardır: (a) belli, (b) belirsiz ve (c) bilinmeyen. Belirsizlik, bulanık bir hedef olarak da düşünülebilir. Kriter değerindeki bir iyileşme tatmin düzeyini artırmamıştır çünkü; amaca tamamen ulaşılmıştır. İdeallerin bilinmekte olan kesinlik derecesi, geçerli değerler aralığında ifade edilir. (Bender, 2002) Pozitif ve negatif idealler aynı zamanda üçgensel, doğrusal olmayan veya diğer karmaşık üyelik işlevlerine uyabilir ancak genelde pozitif ideal çözüm olarak daha büyük bir değerin daha az geçerli olduğunu ya da negatif ideal olarak daha küçük bir değerin daha az geçerli olduğu varsayılır (Simonovic, 2009).



Şekil 21. Bulanık pozitif ve negatif ideallerle tanımlanan geçerli kriter değerleri aralığı (Simonovic, 2009)

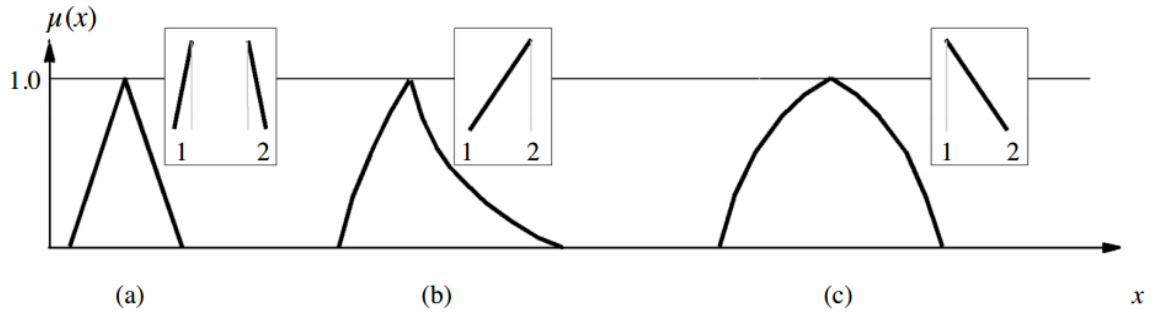
Mesafe metrik üssü olan p , mesafe metriğinin hesaplanmasında en belirsiz unsurdur. Mesafe metriğini tanımlamak için kullanılan $üs$, kriterler arasındaki telafi seviyesini gösterir. Telifinin genel seviyesi bulanık olabilir. Neredeyse her tür problem için p kabul edilebilir tek bir değer yoktur ve bu durum kolayca yanlış anlaşılmasına sebep olabilir. Dolayısıyla, p 'nin olası değerler aralığının üzerindeki tanımı, doğal olarak bulanık bir formülasyona uymaktadır (Simonovic, 2009). Ayrıca, mesafe yorumlaması üzerinde parametrik kontrol sağlanabilmektedir bunun dışında problem bilgisiyle hiçbir şekilde ilişkili değildir. Mesafe metrik üssü $\tilde{p}$ 'nin bulanıklaştırılması pek çok formda olabilir (Bender, 2002). Ancak pratik bir şekilde Şekil 22'de gösterilen beş seçenekten birinde tanımlanabilir. Seçenekler (a) ve (c), $p = 2$ eşitliği kullanılarak yaygın bir uygulama gösterilir. Bununla birlikte, (a) 'da, mesafe metrik üssünün 1 kadar küçük olma ihtimali olduğu kabul edilir. Seçenekler (b) ve (d) $p = 1$ ile eşdeğeridir. Seçenek (e), bulanık uzlaşık formülasyonunun net olanın üzerinde teorik bir avantaj sunmaktadır (Simonovic, 2009)

Örneğin; üçgensel bir üyelik fonksiyonu kullanılarak, Bulanık Uzlaşık Programlamanın temel formülasyonu, $1 \leq p \leq \infty$ parametresi için değer aralığını ayarlamak yönelik bir değiştirme sağlar. P 'nin daha büyük değerlerinin, yönetilemeyen bulanıklık derecesine (olası değerler aralığına) yol açabileceğini ve mesafe metriğinin yorumlanmasının zor olduğunu belirtmek önemlidir (Simonovic, 2009). P 'nin daha büyük değeri de geçerli olabilir, ancak büyük üsler için, bulanık üssel işlemler, yönetilemeyen derece de bulanıklık (olası değerler aralığı) ile sonuçlanır, bu durum da mesafe metriğinin yorumlanmasını zorlaştırır (Bender, 2002).



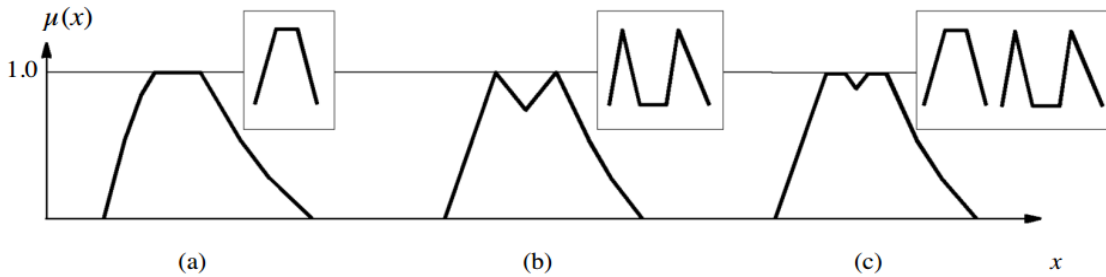
Şekil 22. Bulanık mesafe metrik üssü (Simonovic, 2009)

Elde edilen bulanık mesafe metriğinin şekli üzerindeki bulanık girdilerin etkisi, Şekil 23'te ve 24'te gösterilmektedir. Şekil 23'te $\tilde{L}$ için verilen üçgen ağırlıkları ve kriter değerleri için $\tilde{p}$ için farklı yorumlar kullanarak tipik şekilleri gösterilir (Bender, 2002).



Şekil 23. $\tilde{p}$ 'nin farklı bulanık tanımları için bulanık mesafe metrikleri (Simonovic, 2009)

Şekil 24'te, bilinmeyen ve belirsiz ağırlıkların veya kriter değerlerinin etkisini göstermektedir. Doğrusal üyelik işlevleri için, mod değeri ile ilgili alanlar etkilenir. Mod yayılabilir, bölünebilir veya her ikisi birden olabilir (Simonovic, 2009)



Şekil 24. Farklı çok modlu kriter değerleri ve ağırlıkları için bulanık mesafe metrikleri (Simonovic, 2009)

Kriter değerlerindeki belirsizlik kaynakları kolayca belirlenebilmektedir (özellikle öznel nitel kriterler için), ancak diğer girdilerde de belirsizlik veya belirsizlik durumu vardır. Bu genellikle dikkate alınmaz veya duyarlılık analizi kullanılarak değerlendirilir. Her senaryo, özel düşünceler olmadıkça, normalde eşit ihtimalle değerlendirilir. Bulanık Uzlaşık Programlama, her olası senaryoyu olasılık derecesine göre inceler (Simonovic, 2009).

Olasılık değerlerini, bulanık girdilerle ifade etmek, deneyimin girdi bilgilerinin ifade edilmesinde önemli bir rol oynamasını sağlar. Bulanık kümenin şekli, bir karar vericinin deneyimini veya yorumunu ifade eder. Çakışan veriler veya tercihler, çok karmaşık bulanık kümeler kullanılarak kolayca ifade edilebilir (Simonovic, 2009).

Bulanık kriter değerleri, veri kalitesi ve kriter değerlerini hesaplamak için kullanılan modeller hakkında bilgi ve güveni yansıtmaktadır. Bulanık kriter değerlerini kullanmada bir varsayım, niceliksel ölçütlerin öznel ölçütlerden daha az bulanık olmasıdır. Bu, birçok çok amaçlı yöntem üzerinde büyük bir iyileşme ile sonuçlanır. Hem niceliksel hem de niteliksel kriterleri içeren problemleri değerlendirme eğilimi öznel ağırlık ölçütlerini belirlemektir. Tek bir karar verici probleminde kesin olarak bilinen kriter değerleri bile, kriterlerin değerlendirilmesi konusunda hem fikir olmayan ek karar mercileri düşünüldüğünde belirsiz olabilir.

Bulanık Uzlaşık Programlama, öznellikteki farklılıkları ifade etmek için daha iyi seçenekler sunar, çünkü göreceli önemdeki belirsizlik, ağırlıklardan karşılanır ve göreceli değerdeki belirsizlik ölçüt değerleri tarafından sağlanır (Simonovic, 2009).

Bulanık kriter ağırlıkları çeşitli amaçlara hizmet edebilir. Bağlam-duyarlı ağırlıklandırma dikkate alınarak geçerli değer aralıkları üretilir. İdeal olarak, uygun ağırlık, kararın ve mevcut bilgilerin bağlamında şarta bağlıdır, ancak bu normal olarak kötü tanımlanmış ve az anlaşılmıştır. Ağırlıklar daha sonra seçilebilir ve tek bir karar vericinin potansiyel olarak geçerli ağırlıklarının bulanık bir kümesi olarak kabul edilebilir. Birden çok karar verici göz önüne alınacak olursa, tüm karar vericiler tercihlerinden emin olsa bile, bulanık ağırlıklandırma ile sonuçlanır (Simonovic, 2009).

4.3. Bulanık Mesafe Metriklerini Karşılaştırılması

Ortaya çıkan bulanık mesafe metriği (denklem 4.1), bir kararın sonuçları ve özneliliğin etkisi hakkında çok sayıda ek bilgi içermektedir. Geleneksel (bulanık olmayan) uzlaşık programlama mesafe metrikleri ideal bir noktadan mesafeyi ölçer, burada ideal bir alternatif, bir uzaklık metriğine neden olur $L: X \rightarrow \{0\}$ ile sonuçlanır (Nirupama ve Simonovic, 2002).

Bulanık Uzlaşma Programlamada, olasılık derecesi veya üyelik değeri ile gösterilen olası tüm geçerli değerlendirmeleri temsil edecek şekilde mesafe bulanıktır. İdeale daha yakın olma eğilimi gösteren alternatifler seçilir. Bu bulanıklaştırılmış mesafe metriği, bulanık olmayan uzlaşık programlama durumunda duyarlılık analizine benzetilmektedir (Bender, 2002).

$$\tilde{L}_p(x) = \left[\sum \tilde{w}_i^{\tilde{p}} \left(\frac{\tilde{Z}_i^* - \tilde{Z}_i(x)}{\tilde{Z}_i^* - \tilde{Z}_i^{**}} \right)^{\tilde{p}} \right]^{1/\tilde{p}} \quad (4.1)$$

Burada $\tilde{L}_p$, bulanık mesafe metriğini, $\tilde{Z}_i^{**}$ kriteri, bulanık en kötü değer, $\tilde{Z}_i$ bulanık değerdir. $\tilde{Z}_i^*$ 'i kriteri için bulanık optimal değer; $\tilde{p}$ bulanıklaştırılmış bir parametredir ($1 \leq p \leq \infty$); $\tilde{w}_i$ karar verici tercihlerinin bulanıklaştırılmış ağırlıklarını belirtir (Nirupama ve Simonovic, 2002).

Bulanık mesafe metriği ($\tilde{L}_p$), her biri üye olma olasılığı olan geçerli tüm değer aralığına sahiptir ve böylece olası tüm değerler ideal çözüm ile pozitif bir uzaklık arasında (bulanık hale gelir) olur.

Bulanık girdiler arasında, kriter ağırlıklarının belirsizliği, $\tilde{w}_i$, pozitif idealler ile, $\tilde{Z}_i^*$ ve negatif ideallerin, $\tilde{Z}_i^{**}$ belirsizliği, z ve uygun mesafe metrik üssündeki belirsizlik yer alır. Elbette, herhangi bir girdi kesin olarak biliniyorsa, $\tilde{L}$ daha az bulanık hale gelir (Simonovic, 2009).

Girdi için bulanık kümelerin üretilme süreci önemlidir. Rastgele atama basittir ve olasılık aralığını kapsayabilir, ancak bulanık kümede bir sürü bilgi vardır. Bu bilgiyi, kodlamak mümkündür. Eldeki verileri, sezgisel bilgileri veya çelişkili görüşleri barındıran uygun bir bulanık küme oluşturma süreci bilgiyi hem ayrıntıda hem de genel olarak doğru bir şekilde saklayabilir ve sunabilir olmalıdır. Bulanık küme üretimi için ele alınan uygun

teknikleri, sorunun türünü, farklı bilgi türlerinin bulunabilirliğini ve farklı karar vericilerin varlığını spesifik olarak görmektedir (Simonovic, 2009).

Bulanık küme üyelik fonksiyonlarını, mesafe metrik hesaplama (4.1) denklemine yönelik çeşitli girdiler için, karar verici birtakım varsayımlar yapmalıdır. Normal bulanık kümeler kabul edilir. Olasılıksal deneyler için beklenen değer örneğine benzer şekilde, tamamen geçerli bir değer bulunduğunu kabul eder. En azından bir karar noktasının bulunamadığı durumlarda, kısmen değerlendirmeleri yorumlamak için, muhtemel değerler aralığında (söylem evreni) düşük üyelik değerlerini atamaktan çok modsal puan atamak daha iyidir. çok modlu bulanık kümeler, birden fazla modsal nokta veya sürekli bir dizi moddan oluşabilir. Söylem evreninin sınırlarının seçimi aynı zamanda varsayımları söylem evreni hakkında mevcut bilgi verir. Sınır ve modsal nokta seçimi, bulanık kümelerin şekli ile birlikte, gerçek dünya davranışının karakteristik bulanıklığını umutla temsil eden bir bulanıklık derecesini tanımlar (Simonovic, 2009).

Gerçek dünya sorunlarıyla uğraşırken, bulanık kümeler, bir parametrenin geçerli değerleri için olasılık derecesini tanımlar. En azından basit stokastik uygulamalar için şartlı olasılıklar gibi özelliklere sahip değildir. Tipik duyarlılık analizleri, tüm değer kombinasyonlarının keşfedilmesi ve koşullu özellikler oluşturmak için genellikle yeterli bilgi yoktur, bu kabul edilebilen bir durumdur. Gelişmiş bulanık bir uygulamada, koşullu bulanık kümeleri sağlamamak için hiçbir neden yoktur (Simonovic, 2009).

Şekil 25'te iki $\tilde{L}_s$ 'yi de göstermektedir. Bir seçenek seçilecekse, en iyi alternatif olan A, makul derecede sezgisel bir seçenek olabilir. Basitçe A ve B'nin aynı şekil ve derece bulanıklığa sahip olduğunu düşünülürse, ancak A, $x = 0$ yakınında yüksek bir üyelik değerinin arzu edildiğini varsayarak, ideal bir çözüm olan kökene kaydırılmıştır. Bununla birlikte, alternatif seçmek genelde o kadar basit değildir. Bulanıklık veya karakteristik derecesi mevcut alternatifler farklı ise, en iyi uzlaşık çözümü seçerken zor olabilir (Simonovic, 2009).

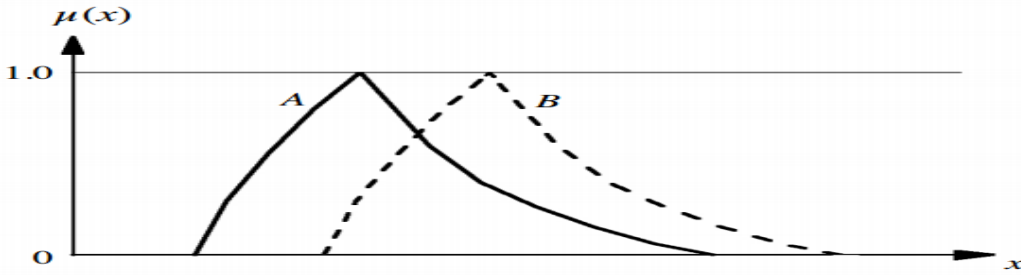
Hangi $\tilde{L}$ 'nin bir dizi alternatif arasında en iyi olduğuna karar vermek için arzu edilen özellikler tanımlanır. Göz önüne alınması gereken en önemli özellikler şunlardır (Simonovic, 2009):

1. Olabilirlik değerleri, ideal olan $x = 0$ 'a yakın olma eğilimindedir.
2. Olasılık değerleri nispeten küçük bir bulanıklık derecesine sahiptir.
3. Tipik değerler idealin yakınındadır.

4. Olasılıklar zayıf çözümlerden çok uzaktır.

Bulanık mesafe metriklerini karşılaştırmanın bir yönü, bulanık kümeler arasındaki ilgisizlik noktalarının olası durumudur (Bender, 2002).

L_1 'in yükselen kolu ile L_2 'nin yükselen kolu kesişirse (İdealden biraz uzak nokta da üyelik değerlerine eşit olur.) ilgisizlik noktası olacaktır. Bu fark, kavramı değiştirebilir. “en iyi” yorumu, karşılaştırma da en iyisinin değerlendirilmesinde ilgisizlik noktasının hangi tarafında yer aldığıdır. Modların eşit olduğu özel durumda, yükselen ve alçalan kolların büyük ölçüde değişirken, kümelerin sıralanmasında ilgi noktası olarak mod seçimi iki bulanık kümenin eşit derecede sıralanmasına neden olacaktır. Alternatifleri sıralarken bu ilgisizlik noktalarının farkında olma durumu doğrudan belirgin olmayabilir, ancak ilgisizlik noktaları (konumlarına bağlı olarak), bulanık kümelerin farklı “aydınlatma” koşulları altında incelendiğinde sıralama değişebilir (Bender, 2002).



Şekil 25. İki alternatif için bulanık mesafe metriği karşılaştırması (A ve B) (Simonovic, 2009)

Deneyimli bir kişi, alternatiflerin göreceli olarak kabul edilebilirliğini, görsel olarak ayırt edebilir, ancak her $\tilde{L}$ 'in pek çok alternatifin benzer özelliklere sahip olduğu durumlarda, görselliğe göre seçim yapmak pratik değildir, hatta bu durum istenmeyebilir. $\tilde{L}$ 'yi karşılaştırarak alternatifleri sıralamak için kullanılan yöntem, sıralama bilgisini daha erişilebilir hale getirir, birçok görsel yorumu otomatikleştirir ve tekrarlanabilir sonuçlar oluşturur (Bender, 2002).

Yatay yöntemler, eşit üyelik değerinde bir geçerlilik sınaması yaparak, bulanık kümenin bulanıklaştırılması ile ilgilenmektedir. Dikey yöntemler, ağırlık merkezinin olduğu gibi, değerlendirme için, temel olarak bir üyelik fonksiyonu altındaki alanı kullanma eğilimindedir. Karşılaştırmalı yöntemler, bulanık bir hedef gibi bulanık kümenin performansını değerlendirmek için diğer yapay ölçütleri getiren yöntemlerdir (Simonovic, 2009).

Bender ve Simonovic, Bulanık Uzlaşık Programlama ile ağırlıklı çekim merkezinin ve bulanık kabul edilebilirliğini araştırmışlardır. Prodanovic ve Simonovic, dokuz farklı yöntem karşılaştırmış ve Chen ve Chang ve Lee yöntemlerini tam olarak sınıamışlardır. Karşı konulmaz sonuç, çoğu yöntemin şüpheli olmayan durumlarda oldukça iyi davrandıkları ve aynı sıralamayı ürettiği anlamına gelir. Bununla birlikte, sezgi belirgin olmadığında, sonuçlar çoğunlukla dağınıktır. Bu, zor durumlarda farklı yöntemlerin, farklı sıralamalar ürettiği anlamına gelmektedir. Bu tür zor durumlarda bulanık kümelerin karmaşıklığı nedeniyle, derecelerin değişkenliğini hesaba katmak için yöntem derecelerine, kendiliğinden dahil edilir. Şüpheli durumlarda, sıralamanın sırası, risk derecesinde, değişikliklere duyarlı değildir (Simonovic, 2009).

4.4. Bulanık Uzlaşık Programlamanın Çözüm Süreci

Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımı, kriter ağırlıkları ölçülerek, marjinal fayda fonksiyonunun derecesini belirlemek için uygulanan Bulanık Doğrusal Programlama probleminin yeniden formüle edilmiş halidir. Her kriterin marjinal fayda fonksiyonunu belirlemek için Bulanık Uzlaşık Programlama kullanılır (Elahi, Seyed-Hosseini ve Makui, 2011b)

Diğer Çok Amaçlı Karar Verme yöntemlerinin kullanıldığı gibi mevcut alternatifler belirlenir ve en önemli kriterler seçilir (Stanujkic ve Magdalinoviç, 2012). Kısıtların sınırları dahilinde amaç fonksiyonları belirlenir.

Önce minumum değerler ve maksimum değerler sırasıyla hesaplanır. Çok amaçlı programlama problemindeki Z_s amacı için, $Z_{s \max}$ ve $Z_{s \min}$ ile gösterilen üst ve alt sınır değerleri atanır. Ardından, ideal değer vektörü, tüm amaç fonksiyonların $Z_{s \min}$ olarak adlandırılan alt sınır değerleri oluşturulur. Benzer şekilde zıt ideal değer vektörü, amaç fonksiyonların $Z_{s \max}$ olarak belirtilen üst sınır değerleri oluşturulur (Yu, vd., 2016).

$$\begin{aligned}
 Z_{\min} &= (z_1, z_2, z_3, z_4) \\
 &= (Z_{1 \min}, Z_{2 \min}, Z_{3 \min}, Z_{4 \min}) \\
 Z_{\max} &= (z'_1, z'_2, z'_3, z'_4) \\
 &= (Z_{1 \max}, Z_{2 \max}, Z_{3 \max}, Z_{4 \max})
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Bilindiği üzere doğrusal, hiperbolik ve parçalı doğrusal gibi birçok üyelik fonksiyonu bulunur. Uygulanabilirlik ve basitlik için genelde doğrusal üyelik fonksiyonu benimsenir. Her bir Z_s amacı için, üst ve alt sınır değerleri ile marjinal değerlendirme elde edilir (Yü vd.,2016).

Üyelik fonksiyonları,

$$F = \{ U_{s1}, U_{s2}, \dots, U_{sm} \} \quad (4.3)$$

olarak gösterilir.

Her hedefteki marjinal fayda derecesini elde etmek için ilk önce çok amaçlı bir probleme bulanık bir yaklaşım getirilecektir. İkincisi, karar verme parametrelerinin uygun bir kombinasyonunu uygulayarak, bu marjinal fayda dereceleri bütün hedefler için küresel bir faydayı elde etmek için toplanabilir. Üçüncü olarak, elde edilen küresel faydayı temel alarak, çok amaçlı probleme yönelik Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımı oluşturmak mümkün olacaktır.

Bu düşünceye göre her bir amaç fonksiyonu Z_s 'nin değeri $Z_s^{\min}$ 'den Z_s^{Nadir} 'in doğrusal olarak değişikliği dikkate alınırsa (çok amaçlı problemi tek amaçlı olarak çözmek için, diğer hedefleri göz ardı ederek ve tüm objektif fonksiyonlar için bir sonuç tablosu oluşturularak elde edilir) bu değeri doğrusal üyelik fonksiyon tabanı tercihi veya faydası ile bulanık bir sayı olarak hesaba katmak mümkündür (Elahi, vd., 2011a).

Her amaç fonksiyonunun değeri Z_s ile gösterilirken, $Z_s^{\min}$ değeri doğrusal olarak değişir ve buna göre Z_s^{Nadir} değerleri alınır. Z_s^{Nadir} , amaç ve hedeflerin maksimize problemleri için bir alt sınır iken minimize problemler için bir üst sınırdır. Diğer hedefler ihmal edilir ve tüm nesnel amaçlar için sonuç tablosu oluşturularak elde edilmektedir. Bu değer için doğrusal üyelik fonksiyonu ile bulanık sayıdan yararlanılması tercih edilmektedir (Elahi, vd.,2011b).

Ayrıca her amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyon denklemi aşağıdaki formülde tanımlanmaktadır (Elahi, vd., 2011b):

$$U_s(x) = \begin{cases} 1 & , \text{eğer } Z_s(x) \leq Z_s^{\min} \\ \frac{Z_s(x) - Z_s^{\text{Nadir}}}{Z_s^{\min} - Z_s^{\text{Nadir}}} & , \text{eğer } Z_s^{\min} < Z_s(x) \leq Z_s^{\text{Nadir}} \\ 0 & , \text{eğer } Z_s(x) > Z_s^{\text{Nadir}} \end{cases} \quad (4.4)$$

Çok Amaçlı Doğrusal Programlama probleminin küresel fayda derecesi $U^\alpha(x)$, aşağıdaki gibi formüle edilmektedir (Elahi vd., 2011b):

$$U^\alpha(x) = \left(\sum_{s=1}^s w_s U_s^\alpha(x) \right)^{1/\alpha} \quad (4.5)$$

Koşul ise;

$$0 < |\alpha| < \infty$$

$$\sum_{s=1}^s w_s = 1$$

Yukarıdaki denklemde α bir parametredir ve değeri karar vericilerin tercihine göre belirlenir. Pratik açıdan bakıldığında iki operatörün toplanması Çok Amaçlı Doğrusal Programlama probleminin üstesinden gelmek için uygulanır. Bunlardan biri amacın fayda fonksiyonu toplamı göz önüne alındığında ($\alpha = 1$) cinsinden ifade edilerek, ağırlık en üst düzeye çıkarılır. Diğer bir ifadeyle tüm hedefler arasından faydanın en üst düzeye çıkarılması için max-min operatörü ($\alpha = -\infty$) olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca s^{th} , amaç fonksiyonunun kriter sayısını belirtirken, w_s ise kriterlerin ağırlığını temsil etmektedir. Böylece daha önce formüle edilen Bulanık Doğrusal Programlama modeli Bulanık Uzlaşık Programlama modeline dönüşerek aşağıdaki gibi ifade edilir (Elahi vd., 2011b):

$$\text{Maximize } U^\alpha(x) = \left(\sum_{s=1}^s w_s U_s^\alpha(x) \right)^{1/\alpha} \quad (4.6)$$

Kısıtlar;

X

Bu formülün avantajı, Çok Amaçlı Doğrusal Programlama problemini tek amaçlı programlama problemine dönüştürerek, normal optimizasyon tekniklerini çözmek için

kullanılır. Bu model için $x^* \in X$ olması, en uygun çözüm olarak görülmektedir (Elahi vd., 2011b).

Yani;

$$U^\alpha(x^*) = \max U^\alpha(x): x \in X \quad (4.7)$$

($\alpha = 1$), α değerinin 1'e eşit olduğu varsayılır. Aşağıdaki denkleme uygun küresel fayda formülle edilir ve Bulanık Uzlaşık Pprogramlama modeli oluşturulur (Elahi vd., 2011b).

x^* , tüm hedefler için optimum üyelik derecesinin maksimum olduğu, hakim olmayan (pareto) uzlaşık çözümüdür. Bu çalışmada benzer öneme sahip L karar alıcıların olduğu varsayılır. Karar vericiler, çiftli karşılaştırma matrisleri yoluyla hedeflerin göreceli öneme sahip olduğu görüşünü bildirir. Sıklıkla karmaşık bir sorunun çözümü için önerilen bir analitik yaklaşım AHP olup, ilk olarak 1980'de Saaty tarafından ortaya atılmıştır. Çok Amaçlı Karar Verme bağlamlarında kullanılmıştır. Ayrıca ölçütlerin ağırlıklarını belirlemek için yapılandırılmış bir yaklaşım da sağlar. Burada, akıllıca karşılaştırmalar yaparak, çeşitli hedeflerin göreceli önemi göz önünde bulundurulduğundan, bu kriterlerin ağırlığı oluşturulacaktır. Sonuç olarak, daha makul çözümler elde edilir (Elahi vd., 2011a)

$L = \{v_1, v_2, \dots, v_s\}$ kriterler bir dizi oluşturulacak şekilde sıralanır. Ayrıca, aşağıda gösterilen denklemde her karar vericinin karşılıklı matrisi tanımlanır (Elahi vd., 2011b):

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_{1,1} & \dots & \alpha_{1,s} \\ \vdots & \alpha_{i',j'} & \vdots \\ \alpha_{s,1} & \dots & \alpha_{s,s} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$\alpha_{i'j'} = \frac{1}{\alpha_{j'i'}} \quad i', j' = 1, 2, \dots, s$$

Ayrıca Karar vericiler görüşlerini belirtirken sözel olarak yargılama ölçeğini bir ölçü birimi olarak kabul ederler. Ve bunları numaralandırırlar. Aşağıdaki tabloda sözel yargılama ölçü ölçeğine bir örnek verilmiştir (Elahi vd., 2011b).

Tablo 7. Sözel Yargılama Ölçü Ölçeği

Sözel Tercih	Sayısal Değerlendirme
Çok tercih edilen	9
Çok güçlü bir tercih	7
Şiddetle tercih	5
Orta derecede tercih	3
Aynı derecede tercih edilen tercih	1

Kaynak: Elahi vd., 2011a)

Karar vericiler görüşlerini bir araya getirerek tek bir matris oluşturabilmek için geometrik ortalama işlecini uygulamaktadır. Bu durum aşağıdaki denklemde gösterilir (Elahi vd., 2011b):

$$A' = \begin{bmatrix} \alpha'_{1,1} & \dots & \alpha'_{1,s} \\ \vdots & \alpha'_{i',j'} & \vdots \\ \alpha'_{s,1} & \dots & \alpha'_{s,s} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$\alpha_{i'j'} = \frac{1}{\alpha_{ij'}} \quad i', j' = 1, 2, \dots, s$$

$$\alpha_{i'j'} = \left(\prod_{l=1}^L \alpha_{ij'} \right)^{\frac{1}{L}} \quad (4.10)$$

$$i', j' = 1, 2, \dots, s \quad \text{ve} \quad l = 1, 2, \dots, L$$

Satty'nin teoremine atıfta bulunarak, kriterlerin ağırlıklarını hesaplayabilmek için A' matrisinin her satırındaki unsurların toplamı elde edilir. Onun önerdiği yöntem aşağıdaki şekilde formüle edilir (Elahi vd., 2011b).:

$$\bar{W} = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{A^K \cdot e}{e^T \cdot A^K \cdot e} \quad (4.11)$$

A matrisinde A öz vektörü, $\bar{W}$ ise normalize bir sağ matrisi olduğunu gösterir (Elahi vd., 2011b).

Ayrıca;

$$e^T = (1 \dots \dots l)' \text{dir.}$$

Bu nedenle kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra denklem (4.5)'te gösterilen Bulanık Uzlaşık Programlama formülünde, her parametrenin kesin olacak şekilde genişletilmiş hali denklem (4.12)' de verilmiştir (Elahi vd., 2011b):

(α değerinin 1'e eşit olduğu varsayıldığında. $\alpha = 1$)

Maximize;

$$\begin{aligned}
 U(x) &= \sum_{s=1}^s w_s \frac{Z_s(x) - Z_s^{\text{Nadir}}}{Z_s^{\text{min}} - Z_s^{\text{Nadir}}} \\
 &= \sum_{s=1}^s w_s \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i)} c_{i,j}^s x_{i,j} - Z_s^{\text{Nadir}}}{Z_s^{\text{min}} - Z_s^{\text{Nadir}}} \\
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i)} \left(\sum_{s=1}^s \frac{w_s c_{i,j}^s}{Z_s^{\text{min}} - Z_s^{\text{Nadir}}} \right) x_{i,j} - \sum_{s=1}^s \frac{w_s Z_s^{\text{Nadir}}}{Z_s^{\text{min}} - Z_s^{\text{Nadir}}}
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Kısıtlar;

X

Yeniden biçimlendirilmiş matematiksel model tek bir amaç olarak çözülmesiyle elde edilen optimum değerlerine, diğer amaçları göz ardı ederek, yakınlık derecesini göstermektedir. (Elahi vd., 2011a).

BEŞİNCİ BÖLÜM

UYGULAMA

Bu bölümde öncelikle çalışmanın gerçekleştirildiği işletme ve işletmenin üretim süreci ile ilgili bilgi verilmiştir. Daha sonra üzerinde çalışılan problem, üç farklı model açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu modeller; Çok Amaçlı Doğrusal Programlama, Uzlaşık programlama ve bulanık mantık yaklaşımına göre değerlendirilerek, işletmenin üretim girdileri doğrultusunda Bulanık Uzlaşık Programlama modelinin kurulması gerçekleştirilip aşamalı bir şekilde çözüm süreci anlatılmıştır.

İşletmelerin ayakta kalabilmeleri için, içlerinde bulundukları yoğun rekabet ortamında işletmenin karını maksimum kılmak zorundadırlar. Özellikle belirsizlik durumları düşünüldüğünde, belirsizlik ortamlarında maksimum karın sağlanabilmesi, Bulanık Uzlaşık Programlama modeli ile gerçekleştirilebilir.

Araştırmada BUP modeli ile süt ürünleri üzerine faaliyet gösteren bir fabrikanın günlük ortalama karının maksimum kılınması hedeflenmektedir.

Uygulamada kullanılan tüm veriler, işletmenin üretim ve muhasebe-finance birimleri tarafından belirtilen rakamlardır. Problemin çözümünde kullanılan veriler, işletmenin günlük üretim miktarlarıdır. Ayrıca karar verici tarafından günlük ortalama kara ilişkin her hangi bir hedef belirtilmemiş olup, kısıtlara ilişkin bazı tolerans değerleri verilmiştir.

İlk olarak, problem Çok Amaçlı Doğrusal Programlama açısından incelenerek, her bir amaç fonksiyonu için ayrı ayrı çözüm gerçekleştirilmiştir. Optimal çözüme ulaşılmaması sebebiyle Uzlaşık Programlama kullanılarak “uzlaşık çözüm” gerçekleştirilmiştir. Uzlaşık çözüme göre, her bir ürünün, hammadde (çiğ süt) kullanım miktarlarının, müşteri talep miktarının ve üretilen ürünlerin makine kapasitesinin optimal seviyeleri yeniden oluşturulmuştur. İşletmeden elde edilen verilere göre Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modeli Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımına göre yeniden düzenlenmiştir.

Uygulamanın gerçekleştirildiği süt ürünleri fabrikası 1984 yılından beri faaliyette olup, yöresel anlamda, önemli bir pazar payına sahiptir.

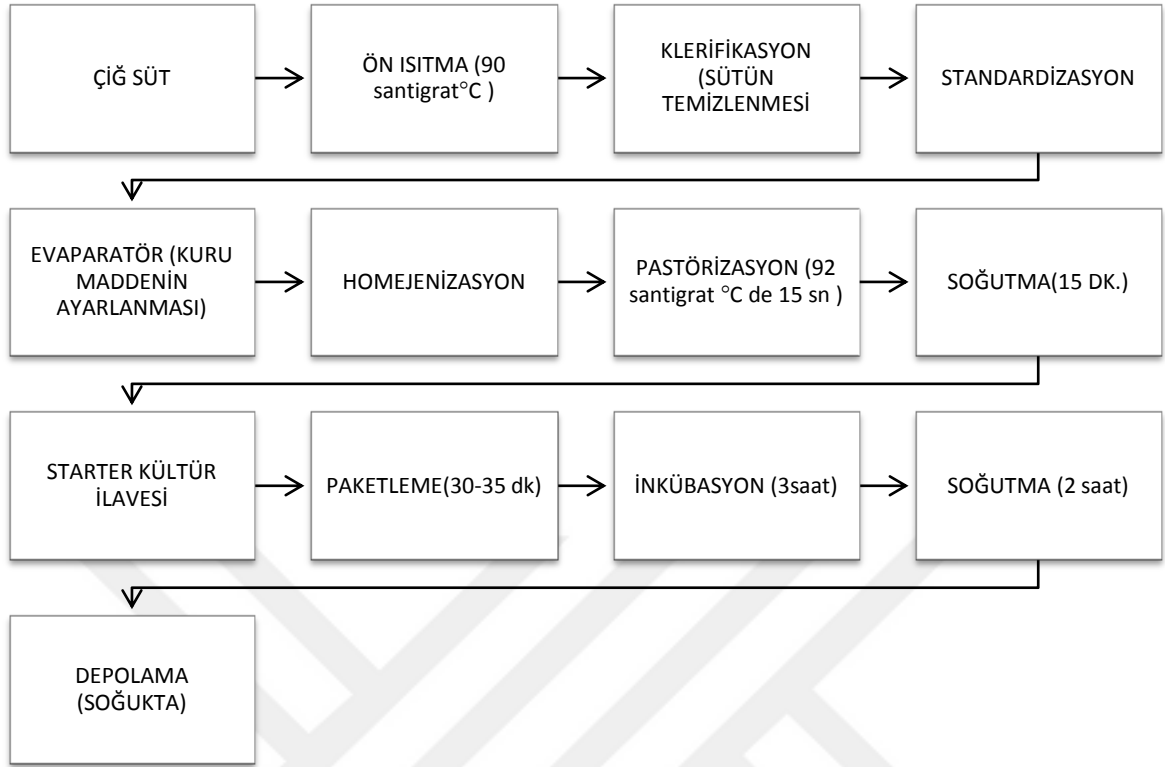
Fabrikada toplamda 20 kadar beyaz yakalı çalışan vardır. Bu çalışanlar arasından 15 kişi üretim biriminde çalışmaktadır. Üretim birimi içerisinde çalışmakta olan 1 üretim müdürü ve mühendis, 1 üretim şefi yer almaktadır. Fabrikada çalışan toplam vasıfsız eleman sayısı ise 18 kişidir.

İşletme toplamda 5 000 m²'lik bir alana sahiptir. Fermantatif ürünlerin yani vakumlu ve süzme yoğurtun üretildiği kapalı alan 125 m²'dir. Bu 125 m²'lik alan içerisinde 3 ayrı alan yer almaktadır. Yoğurtlar için soğuk oda alanı 25 m², paketlenme için ayrılan alan 25 m² ve son olarak inkübasyon işlemi görülen alan ise 75 m²'lik bir alandır. Köy tipi peynir üretiminde kullanılan alan için ise, 100 m²'lik bir alana sahiptir.

Yöresel olarak düşünüldüğünde, pazarın %80'ine sahip olan işletmeyi KOBİ olarak adlandırmak mümkündür. Muhasebe ve finans biriminden edilen bilgiler doğrultusunda işletmenin yıllık cirosu 6 trilyon (6 000 000 000 000)'dur.

Bu bölümde işletmede üretilmekte olan üç ana üründen bahsedilmektedir. Bunlar vakumlu yoğurt çeşitleri, süzme yoğurt çeşitleri ve peynir çeşitleridir.

Vakumlu Yoğurt Üretim Süreci: Sütün 90 santigrat°C ısıtılıp, daha sonra da mayalanma derecesine kadar soğutma işlemine tabi tutulmaktadır. Soğuma işleminden hemen sonra yoğurt mayası katılarak, laktik mayalama işlemi gerçekleştirilerek özel kıvamlı bir süt ürünü elde edilmektedir. Çift cidarlı kazanlarda muhafaza edilen çiğ süt, kazanlardan alınıp ön ısıtma denilen 15 dk süren bir işlemden geçirilir. Isıtılan süte klerifikasyon yapılır. Klerifikasyon, sütün temizlenme aşamasıdır. Yabancı maddelerden arındırılan süt 1 saat vakum makinelerinde buharlaştırma yöntemi ile kuru madde oranı 18'e çıkarılır. Yoğurdu, üzerindeki yağ tabakasından arındırmak için sütü plakalı pastörizatörlerde 92 santigrat°C de 15 sn. pastörizasyonu yapılır. Pastörizasyon işleminden sonra 15 dk. soğutma işlemi gerçekleştirilir. Sütün mayalanmasını sağlayan starter kültür mayasının eklenmesinin ardından 30-35 dakikalık dolum ve paketlenme işlemi yapılmaktadır. Paketlenme işleminin ardından inkübasyon odalarında 3 saat kadar mayalanmaya bırakılır. Mayalanan yoğurtlar 2 saat kadar da soğutma işleminden geçtikten sonra soğuk hava depolarına alınır. Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda vakumlu yoğurt üretim süreci Şekil 26'da gösterilmiştir.

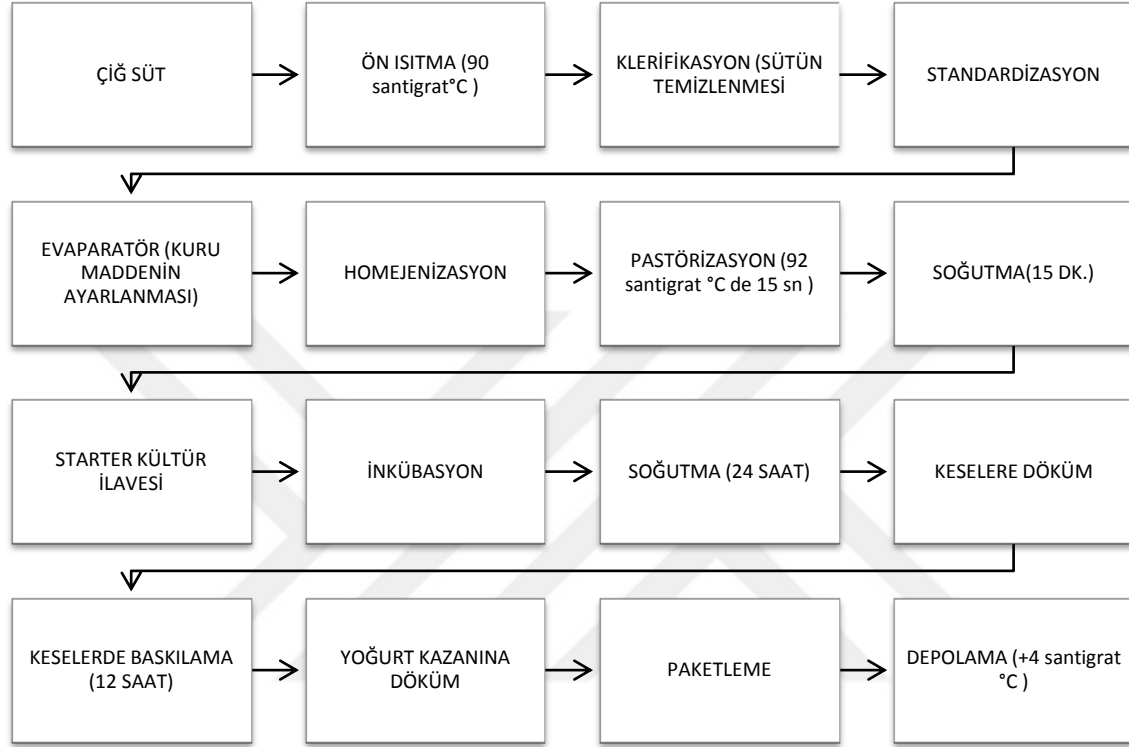


Şekil 26. Vakumlu yoğurt üretim süreci

Süzme Yoğurt Üretim Süreci: Sütün 90 santigrat°C ısıtılıp, daha sonra da mayalanma derecesine kadar soğutma işlemine tabi tutulmaktadır. Soğuma işleminden hemen sonra yoğurt mayası katılır ve laktik mayalama işlemi gerçekleştirilerek özel kıvamlı bir süt ürünü elde edilmektedir. Çift cidarlı kazanlarda muhafaza edilen çiğ süt, kazanlardan alınıp ön ısıtma denilen 15 dk. süren bir işleminden geçirilir. Isıtılan süte klerifikasyon yapılır. Yabancı maddelerden arındırılan süt 1 saat vakum makinelerinde buharlaştırma yöntemi ile kuru madde oranı 18'e çıkarılır. Yoğurdu, üzerindeki yağ tabakasından arındırmak için sütü plakalı pastörizatörlerde 92 santigrat°C de 15 sn. pastörizasyonu yapılır. Pastörizasyon işleminden sonra 15 dk. soğutma işlemi gerçekleştirilir. Sütün mayalanmasını sağlayan starter kültür mayasının eklenmesinin ardından 30-35 dakikalık dolum ve paketleme işlemi yapılmaktadır. Paketleme işleminden sonra inkübasyon odalarında, vakumlu yoğurttan farklı olarak mayalanması belli bir saate göre değil, asitlik değerine göre mayalanmaktadır. Titrasyon asiti yani çiğ sütteki sh değeri başlangıçta 6-6.5 değerinde işletmeye gelmektedir. 23 sh değerine ulaşılmca bırakılıyor. Mayalanan yoğurtlar 2 saat kadar da soğutma işleminden geçtikten sonra keselere dökülerek kese

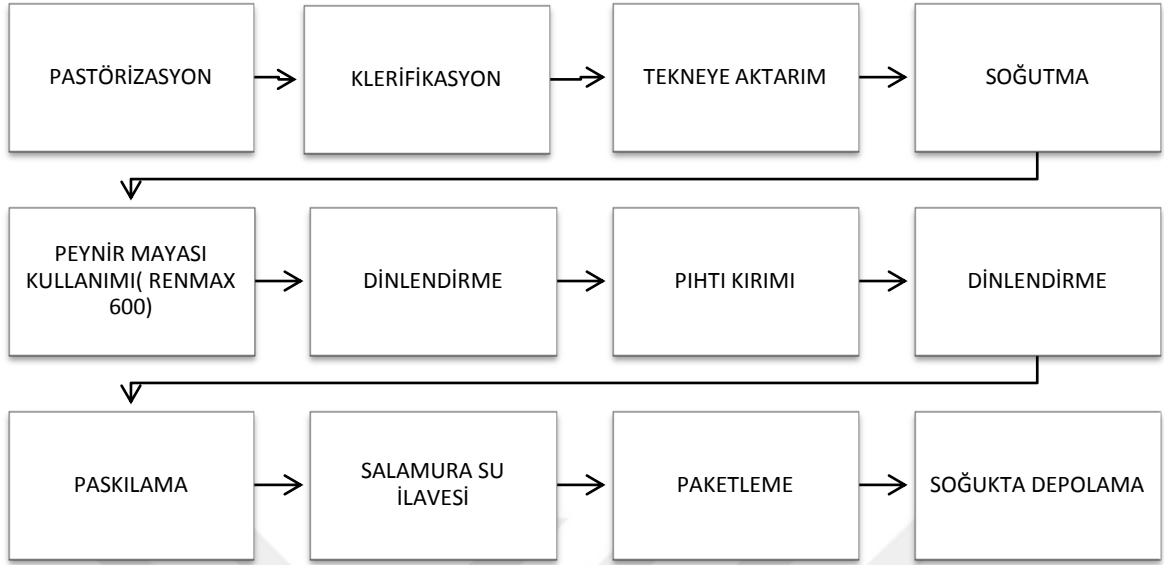
içerisinde 12 saat baskılama işlemi görmektedir. Daha sonra yoğurt kazanına dökülerek paketleme işlemine yapılmaktadır.

Son olarak +4 santigrat °C soğuk hava depolarına alınır. Yukarda verilen bilgiler ışığında süzme yoğurt üretim süreci Şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Süzme yoğurt üretim süreci

Köy Tipi Peynir Üretim Süreci: Köy tipi peynir üretimi, 82 santigrat °C de 15 sn. kadar bir sürede çift cidarlı kazan tipi pastörizatörlerde pastörizasyonu yapılır. 15 dakikalık bir klerifikasyon (sütün temizlenmesi) işleminden sonra süt teknelere aktarılaraq sütün mayalanma derecesine kadar yaklaşık olarak 40 dakika soğutma işlemi yapılır. Daha sonra peynir mayası ilave edilir. Kullanılan peynir mayasının markası Renmax 600’dür. Bir müddet dinlenmeye bırakılır ve 90 dakika kadar pıhtı kırımı işlemi yapılmaktadır. Daha sonra 20 dakika tekrar dinlenmeye alınmaktadır. Ardından 20 dakika içerisinde baskıya konulup, baskıda maksimum 2 saat, minimum 1 saat bekletilmektedir. Baskılama işlemi biten, kesilen peynirlere, suya tuz ilavesi ile elde edilen salamura suyu ilave edilir. Tuz oranı, salamura %33’lük bome değerinden 14’e tekabül eder. 15 dakikalık bir sürede paketleme işlemi gerçekleştirilerek soğuk hava depolarında depolanır. Peynir üretim süreci Şekil 28’de gösterilmiştir.



Şekil 28. Köy tipi peynir üretim süreci

5.1. Problemin Tanımı

Uygulamaya konu olan süt ürünleri işletmesinden alınan veriler ve kısıtlar değerlendirilerek, ürettiği ürünler için maksimum kara ulaşılması hedeflenir.

Problemden öncelikle amaç fonksiyonları oluşturularak, işletme için üç adet amaç belirtilmiştir. Bunlardan birincisi; birim kar değerleri ile maksimum kar amacı, ikincisi; birim üretim amacı, üçüncüsü ise; birim maliyet değerleri ile oluşturulan minimum maliyet amacıdır. Model kısıtları, işletmenin makinelerinde hammaddenin (çiğ süt) işlenme miktarları, müşteri talep miktarları, makine kapasiteleri kısıtlarından oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonlarının oluşturulmasının ardından, kısıtlar belirtilerek, amaç fonksiyonları ile kısıtlar matematiksel olarak gösterilmektedir.

Problem çözümü için ele alınan işletme, çeşitli sayıda süt ürünleri üretir. Her bir ürünün simgesi, adı, üretim miktarı, makine kapasitesi ve her bir ürüne olan müşteri talebinin tolerans değerleri Tablo 8’de gösterilmiştir. Müşteri talepleri belirli değerler arasında değişmektedir. Makine kapasitesi değerleri ise sabittir. Buradaki müşteri talebi ve makine kapasitesi verileri ile Bulanık Uzlaşık Programlama modelinde kısıt olarak yer verilmiştir.

Tablo 8. Modeldeki Değişkenler ve Diğer Veriler (Günlük)

Ürün Simgesi	Ürün Adı	Müşterinin Talebi	Makine Kapasitesi	Üretim Miktarı /adet
VY1(x ₁)	Taze Yoğurt (Kase) 350 Gr	400-550	650	523
VY2(x ₂)	Taze Yoğurt (Kase) 500 Gr	50-150	200	81
VY3(x ₃)	Taze Yoğurt (Kase) 650 Gr	300-400	500	354
VY4(x ₄)	Taze Yoğurt (Kase) 1 000 Gr	300-400	550	379
VY5(x ₅)	Taze Yoğurt (Kase) 1 200 Gr	25-75	100	34
VY6(x ₆)	Taze Yoğurt (Kase) 1 500 Gr	50-150	150	108
VY7(x ₇)	Taze Yoğurt Yarım Yağlı 2 250 Gr	350-450	600	428
VY8(x ₈)	Taze Yoğurt (Kova) 2 500 Gr	200-400	450	250
VY9(x ₉)	Taze Yoğurt (Kova) 5 000 Gr	30-90	100	46
SY1(x ₁₀)	Süzme Yoğurt (Kova) 450 Gr	50-150	250	100
SY2(x ₁₁)	Süzme Yoğurt (Kase) 900 Gr	400-700	900	602
SY3(x ₁₂)	Süzme Yoğurt (Tava) 2 000 Gr	50-100	150	74
SY4(x ₁₃)	Süzme Yoğurt (Kova) 2 500 Gr	300-400	450	322
SY5(x ₁₄)	Süzme Yoğurt (Kova) 5 000 Gr	50-100	150	57
KBP1(x ₁₅)	Klasik Beyaz Peynir (Tnk) 17 000gr	5-20	50	10
KBP2(x ₁₆)	Klasik Beyaz Peynir (Tnk) 5 000gr	5-30	50	14
KVBP1(x ₁₇)	Klasik Vak. Beyaz Peynir 1 000 Gr	250-350	400	312
KVBP1(x ₁₈)	Köy Peyniri 1 000 Gr	150-300	500	209
YBP1(x ₁₉)	Yağlı Beyaz Peynir 1 000 Gr	350-550	600	451
YBP2(x ₂₀)	Yağlı Beyaz Peynir 500 Gr	1 500-2 000	2 500	1 690

Üretim için kullanılan tesis:

- i. Vakum
- ii. Seperatör
- iii. Çift cidarlı kazan tipi pastörizatör
- iv. Plakalı soğutucular
- v. Homojenizatör

Makinelerde işlenip pazara sunulan ürünlerin birim satış fiyatı, birim maliyeti ve birim karı aşağıdaki Tablo 9’da gösterilmiştir. Fiyatlarda ki kar yüzdesi %10’dur. Buradaki bilgiler ışığında hem uygulamanın ilk aşaması olan Çok Amaçlı Doğrusal

Programlamanın hem ikinci aşamasındaki Uzlaşık Programlamanın hem de son aşaması Bulanık Uzlaşık Programlama modelinin maksimum ve minimum amaç fonksiyonları oluşturulmuştur.

Tablo 9. Modeldeki Değişkenlerin Birim Fiyat – Maliyet ve Kar Değerleri

Ürün Simgesi	Ürün Adı	Birim Fiyat	Birim Maliyet	Birim Kar
VY1(x_1)	Taze Yoğurt (Kase) 350 Gr	1.40	1.26	0.14
VY2(x_2)	Taze Yoğurt (Kase) 500 Gr	1.60	1.44	0.16
VY3(x_3)	Taze Yoğurt (Kase) 650 Gr	2.20	1.98	0.22
VY4(x_4)	Taze Yoğurt (Kase) 1 000 Gr	3.50	3.15	0.35
VY5(x_5)	Taze Yoğurt (Kase) 1 200 Gr	4.00	3.60	0.40
VY6(x_6)	Taze Yoğurt (Kase) 1 500 Gr	4.75	4.275	0.475
VY7(x_7)	Taze Yoğurt Yarım Yağlı 2 250 Gr	6.50	5.85	0.65
VY8(x_8)	Taze Yoğurt (Kova) 2 500 Gr	8.00	7.20	0.80
VY9(x_9)	Taze Yoğurt (Kova) 5 000 Gr	16.00	14.40	1.60
SY1(x_{10})	Süzme Yoğurt (Kova) 450 Gr	2.70	2.43	0.27
SY2(x_{11})	Süzme Yoğurt (Kase) 900 Gr	5.20	4.68	0.52
SY3(x_{12})	Süzme Yoğurt (Tava) 2 000 Gr	11.40	10.26	1.14
SY4(x_{13})	Süzme Yoğurt (Kova) 2 500 Gr	14.00	12.60	1.40
SY5(x_{14})	Süzme Yoğurt (Kova) 5 000 Gr	28.00	25.20	2.80
KBP1(x_{15})	Klasik Beyaz Peynir (Tnk) 17 000gr	161.50	145.35	16.15
KBP2(x_{16})	Klasik Beyaz Peynir (Tnk) 5 000gr	50.00	45.00	5.00
KVBP1(x_{17})	Klasik Vak. Beyaz Peynir 1 000 Gr	11.30	10.17	1.13
KVBP1(x_{18})	Köy Peyniri 1 000 Gr	9.50	8.55	0.95
YBP1(x_{19})	Yağlı Beyaz Peynir 1 000 Gr	10.40	9.36	1.04
YBP2(x_{20})	Yağlı Beyaz Peynir 500 Gr	5.20	4.68	0.52

İşletmede üretilen ürünlerin temel ham maddesi çiğ süttür. Çiğ sütün işletmeye kabul edilmesi, işlenilmesi ile ilgili birtakım kıstaslar yer alır. Toplam işlenilen günlük süt miktarı yaz ve kış mevsimlerine göre 15 ton ile 24 ton arasında değişmektedir. Toplanan çiğ sütler günlük olarak işletmeye teslim edilmesi gerekir. İşlenilmesi için işletmeye getirilen çiğ süt maksimum 10 santigrat °C olması gerekir. 10 santigrat °C'nin üstünde gelen sütler işletmeye kabul edilmemektedir. Çiğ sütte, sıcaklık kontrolü, ph, yağ, kuru madde, sh (Titrasyon asitliği), alkali madde ve antibiyotik tayinlerine ilişkin analizler yapıldıktan sonra, hammadde uygun kriterleri taşıyor ise işletmeye kabulü gerçekleşir.

Kabul gören hammadde soğutucu çift cidarlı kazanlarda 12 saat muhafaza edilir. İşletme yönetimi üretimde kullanacağı çiğ süt miktarlarını Tablo 10’da belirlemiştir.

Tablo 10. Süt Ürünlerinde İşlenilen Süt Miktarları (Birim Ürün Başına)

Ürün Simgesi	Ürün Adı	İşlenilen süt miktarları (Litre)
VY1(x_1)	Taze Yoğurt (Kase) 350 Gr	0.70
VY2(x_2)	Taze Yoğurt (Kase) 500 Gr	1.00
VY3(x_3)	Taze Yoğurt (Kase) 650 Gr	1.30
VY4(x_4)	Taze Yoğurt (Kase) 1 000 Gr	2.00
VY5(x_5)	Taze Yoğurt (Kase) 1 200 Gr	2.40
VY6(x_6)	Taze Yoğurt (Kase) 1 500 Gr	3.00
VY7(x_7)	Taze Yoğurt Yarım Yağlı 2 250 Gr	4.50
VY8(x_8)	Taze Yoğurt (Kova) 2 500 Gr	5.00
VY9(x_9)	Taze Yoğurt (Kova) 5 000 Gr	10.00
SY1(x_{10})	Süzme Yoğurt (Kova) 450 Gr	1.575
SY2(x_{11})	Süzme Yoğurt (Kase) 900 Gr	3.150
SY3(x_{12})	Süzme Yoğurt (Tava) 2 000 Gr	7.00
SY4(x_{13})	Süzme Yoğurt (Kova) 2 500 Gr	8.75
SY5(x_{14})	Süzme Yoğurt (Kova) 5 000 Gr	17.50
KBP1(x_{15})	Klasik Beyaz Peynir (Tnk) 17 000gr	110.50
KBP2(x_{16})	Klasik Beyaz Peynir (Tnk) 5 000gr	32.50
KVBP1(x_{17})	Klasik Vak. Beyaz Peynir 1 000 Gr	6.50
KVBP1(x_{18})	Köy Peyniri 1 000 Gr	6.50
YBP1(x_{19})	Yağlı Beyaz Peynir 1 000 Gr	6.50
YBP2(x_{20})	Yağlı Beyaz Peynir 500 Gr	3.25

Tablo 10’da işletmede üretilen ve simgeleriyle belirtilen sırasıyla vakumlu yoğurt, süzme yoğurt ve peynir çeşitlerinin birim ürün başına işlenilen süt miktarları yer alır. İşletmeden alına bilgilere göre, 1 kg vakumlu yoğurt elde edebilmek için 2 kg sütün, 1 kg süzme yoğurt elde edebilmek için 3.5 kg sütün ve 1 kg peynir üretimi için 6.5 kg sütün işlenmesi gerekir. Vakumlu yoğurt üretimi için normal şartlarda 6 ton süt, süzme yoğurt için 6 ton süt, peynir üretimi için 10.5 ton süt işlenilmesi gerçekleşir.

5.2. Amaç Fonksiyonları ve Kısıtlar

İşletmede 24 ton süt işlenmesi durumunda; uygulamada değişken sayısı yirmi adet olup, tablodaki sırayı göz önünde bulundurarak değişken isimleri x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 , x_6 , x_7 , x_8 , x_9 , x_{10} , x_{11} , x_{12} , x_{13} , x_{14} , x_{15} , x_{16} , x_{17} , x_{18} , x_{19} ve x_{20} şeklinde belirtilmiştir. Maksimum ve

minumum amaç fonksiyonları ile kısıtlar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu değerleri Tablo 9’da yer verilmiştir.

- **Maksimum Kar Amacı:** Her bir ürünün, birim fiyatından birim maliyetinin çıkarılıp genel toplamalarının alınmasıdır.

$$\text{Max } Z_1: 0.14x_1 + 0.16x_2 + 0.22x_3 + 0.35x_4 + 0.40x_5 + 0.475x_6 + 0.65x_7 + 0.80x_8 + 1.60x_9 + 0.27x_{10} + 0.52x_{11} + 1.14x_{12} + 1.40x_{13} + 2.80x_{14} + 16.15x_{15} + 5.00x_{16} + 1.13x_{17} + 0.95x_{18} + 1.04x_{19} + 0.52x_{20}$$

- **Birim Üretim Amacı:** Maksimum birim üretim amacı; her ürünün en fazla birim üretimidir.

$$\text{Max } Z_2: x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20}$$

- **Minumum Maliyet Amacı:** Her bir ürünün birim fiyatının %10 değeriyle çarpılıp genel toplamının alınmasıdır.

$$\text{Min } W_1: 1.26x_1 + 1.44x_2 + 1.98x_3 + 3.15x_4 + 3.60x_5 + 4.27x_6 + 5.85x_7 + 7.20x_8 + 14.40x_9 + 2.43x_{10} + 4.68x_{11} + 10.26x_{12} + 12.60x_{13} + 25.20x_{14} + 145.35x_{15} + 45.00x_{16} + 10.17x_{17} + 8.55x_{18} + 9.36x_{19} + 4.68x_{20}$$

Tanımlanan amaç fonksiyonu ve kısıtlara göre Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modeli aşağıda oluşturulmuştur.

Maksimize/Minimize (M5.1)

$$\text{Max } Z_1: 0.14x_1 + 0.16x_2 + 0.22x_3 + 0.35x_4 + 0.40x_5 + 0.475x_6 + 0.65x_7 + 0.80x_8 + 1.60x_9 + 0.27x_{10} + 0.52x_{11} + 1.14x_{12} + 1.40x_{13} + 2.80x_{14} + 16.15x_{15} + 5.00x_{16} + 1.13x_{17} + 0.95x_{18} + 1.04x_{19} + 0.52x_{20}$$

$$\text{Max } Z_2: x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20}$$

$$\text{Min } W_1: 1.26x_1 + 1.44x_2 + 1.98x_3 + 3.15x_4 + 3.60x_5 + 4.27x_6 + 5.85x_7 + 7.20x_8 + 14.40x_9 + 2.43x_{10} + 4.68x_{11} + 10.26x_{12} + 12.60x_{13} + 25.20x_{14} + 145.35x_{15} + 45.00x_{16} + 10.17x_{17} + 8.55x_{18} + 9.36x_{19} + 4.68x_{20}$$

Kısıtlar;

1. İşletmede üretilen ürünlerin ham maddesi olan çiğ süt işlenme miktarlarının toplamı (M5.1a)

$$0.70x_1 + 1.00x_2 + 1.30x_3 + 2.00x_4 + 2.40x_5 + 3.00x_6 + 4.50x_7 + 5.00x_8 + 10.00x_9 + 1.575x_{10} + 3.150x_{11} + 7.00x_{12} + 8.75x_{13} + 17.50x_{14} + 110.50x_{15} + 32.50x_{16} + 6.50x_{17} + 6.50x_{18} + 6.50x_{19} + 3.25x_{20} \leq 24000$$

2. İşletmede üretilen süt ürünlerine müşterilerin talep miktarı (M5.1b)

$x_1 \geq 400 \dots x_1 \leq 550$	$x_{11} \geq 400 \dots x_{11} \leq 700$
$x_2 \geq 50 \dots x_2 \leq 150$	$x_{12} \geq 50 \dots x_{12} \leq 100$
$x_3 \geq 300 \dots x_3 \leq 400$	$x_{13} \geq 300 \dots x_{13} \leq 400$
$x_4 \geq 300 \dots x_4 \leq 400$	$x_{14} \geq 50 \dots x_{14} \leq 100$
$x_5 \geq 25 \dots x_5 \leq 75$	$x_{15} \geq 5 \dots x_{15} \leq 20$
$x_6 \geq 50 \dots x_6 \leq 150$	$x_{16} \geq 5 \dots x_{16} \leq 30$
$x_7 \geq 350 \dots x_7 \leq 450$	$x_{17} \geq 250 \dots x_{17} \leq 350$
$x_8 \geq 200 \dots x_8 \leq 400$	$x_{18} \geq 150 \dots x_{18} \leq 300$
$x_9 \geq 30 \dots x_9 \leq 90$	$x_{19} \geq 350 \dots x_{19} \leq 550$
$x_{10} \geq 50 \dots x_{10} \leq 150$	$x_{20} \geq 1500 \dots x_{20} \leq 2000$

3. İşletmede üretilen ürünlerin makine kapasitesi (M5.1c)

$x_1 \leq 650$	$x_9 \leq 100$
$x_2 \leq 200$	$x_{10} \leq 250$
$x_3 \leq 500$	$x_{11} \leq 900$
$x_4 \leq 550$	$x_{12} \leq 150$
$x_5 \leq 100$	$x_{13} \leq 450$
$x_6 \leq 150$	$x_{14} \leq 150$
$x_7 \leq 600$	$x_{15} \leq 50$
$x_8 \leq 450$	$x_{16} \leq 50$

$$x_{17} \leq 400$$

$$x_{19} \leq 600$$

$$x_{18} \leq 500$$

$$x_{20} \leq 2500$$

Ve

Pozitiflik Şartı,

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20} \geq 0$$

5.3. Süt Ürünleri Problemi Çözüm Aşamaları

(M5.1)'de kurulan model için ilk olarak seçilen amaç fonksiyonuna göre hem Çok Amaçlı Doğrusal Programlama, hem Uzlaşık Programlama ve hem de Bulanık Uzlaşık Programlama modeline göre çözülerek, amaç fonksiyonları, kısıtların kullanım miktarları, müşteri talep miktarları ve fabrika makinelerinin kullanım kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

Ele alınan uygulamanın ilk aşamasında Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modelinin çözümü gerçekleştirilerek, uzlaşık çözüm için ideal çözümler belirlenmiştir. Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modeline göre belirlenen pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri ile Uzlaşık Programlama yaklaşımı ele alınarak optimal çözüm gerçekleştirilip, uzaklık parametresi değeri belirlenmiştir. Diğer yandan, Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modelinin amaç fonksiyon sonuçlarına göre üstün olmayan çözümler tablosu oluşturularak Bulanık Uzlaşık Programlama modelinin ilk aşamasının değerlendirilmesinde kullanılacak nadir değerlerinin belirlenmesini sağlamaktadır ve Bulanık Uzlaşık Programlama modeli oluşturulup bu modele göre çözüm gerçekleştirilecektir.

5.3.1. Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Çözüm Aşamaları

Kurulan model (M5.1) için, ilk olarak her bir amaç fonksiyonu için çözüm gerçekleştirilmiş ve optimalliği araştırılmıştır. Daha sonra her bir amaç fonksiyonu için (1.8) ve (1.9) pozitif ideal çözümler ile (1.11) ve (1.12) kullanılarak negatif ideal çözümler belirlenmiştir. Elde edilen bu değerlere bağlı olarak Uzlaşık Programlama çözümü gerçekleştirilmiştir. Son olarak işletme yönetimi hedefi için kabul edilen tolerans değerleri ile Bulanık Uzlaşık Programlama ele alınmıştır.

Ele alınan modelin ilk aşamasında Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modeline göre çözülerek optimallik durumu araştırılmıştır. Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modeli için gerçekleştirilen çözümler neticesinde belirlenen değişkenler ve amaç fonksiyonu değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Her Bir Amaç Fonksiyonu İçin Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Çözümü

DEĞİŞKENLER	Z_1	Z_2	W_1
VY1(x_1)	550	550	400
VY2(x_2)	150	150	50
VY3(x_3)	400	400	300
VY4(x_4)	400	400	300
VY5(x_5)	75	75	25
VY6(x_6)	50	150	50
VY7(x_7)	350	407.500	350
VY8(x_8)	200	200	200
VY9(x_9)	30	30	30
SY1(x_{10})	150	150	50
SY2(x_{11})	700	700	400
SY3(x_{12})	100	50	50
SY4(x_{13})	300	300	300
SY5(x_{14})	50	50	50
KBP1(x_{15})	5	5	5
KBP2(x_{16})	5	5	5
KVBP1(x_{17})	350	250	250
KVBP1(x_{18})	150	150	150
YBP1(x_{19})	350	350	350
YBP2(x_{20})	1864.230713	2000	1500
AMAÇLAR	3873.900	6372.500	28957.50

Amaç fonksiyonu değerleri farklı değişken ve bu değişkenlerin farklı değerlerine göre belirlenmiştir. Bu sebeple optimal çözüme ulaşılmamıştır. Her bir amaç fonksiyonu için pozitif ideal çözümler için (1.8) ve (1.9) denklemleri ile negatif ideal çözümler için (1.11) ve (1.12) denklemleri kullanılmıştır.

Çok Amaçlı Doğrusal Programlama problemlerinin uzlaşık çözümü için (M5.1)'nin çözümünden elde edilen pozitif ve negatif ideal çözümler Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler

Amaç Fonksiyonları	Pozitif İdeal Çözümler	Negatif İdeal Çözümler
Maksimum Kar Hedefi Z_1	3873.900	3217.500
Birim Üretim Hedefi Z_2	6372.500	4815.000
Minumum Maliyet Hedefi W_1	28957.50	34865.10

5.3.2. Uzlaşık Programlama Çözümü

Uzlaşık Programlama çok amaçlı problemlere ulaşma kapasitesine sahip bir matematiksel programlama tekniği olup, ideal çözüme en yakın uygun çözüm kümesini araştırır. İdeal çözümler Uzlaşık Programlama modelinde kullanılmıştır. Tablo 12'de belirlenen pozitif ve negatif ideal çözümlere bağlı olarak (M5.1) Uzlaşık Programlama modelinde aşağıdaki gibi yazılır.

$$\text{Min } D \quad (M5.2)$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_1 : & 0.14x_1 + 0.16x_2 + 0.22x_3 + 0.35x_4 + 0.40x_5 + 0.475x_6 + 0.65x_7 + 0.80x_8 + 1.60x_9 + \\ & 0.27x_{10} + 0.52x_{11} + 1.14x_{12} + 1.40x_{13} + 2.80x_{14} + 16.15x_{15} + 5.00x_{16} + 1.13x_{17} + 0.95x_{18} + \\ & 1.04x_{19} + 0.52x_{20} + 656.400D \geq 3873.900 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_2 : & x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} \\ & x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + 1557.500D \geq 6372.500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Min } W_1 : & 1.26x_1 + 1.44x_2 + 1.98x_3 + 3.15x_4 + 3.60x_5 + 4.275x_6 + 5.85x_7 + 7.20x_8 + 14.40x_9 + \\ & 2.43x_{10} + 4.68x_{11} + 10.26x_{12} + 12.60x_{13} + 25.20x_{14} + 145.35x_{15} + 45.00x_{16} + 10.17x_{17} + \\ & 8.55x_{18} + 9.36x_{19} + 4.68x_{20} - 5907.60D \leq 28957.50 \\ & 0.70x_1 + 1.00x_2 + 1.30x_3 + 2.00x_4 + 2.40x_5 + 3.00x_6 + 4.50x_7 + 5.00x_8 + 10.00x_9 + \\ & 1.575x_{10} + 3.150x_{11} + 7.00x_{12} + 8.75x_{13} + 17.50x_{14} + 110.50x_{15} + 32.50x_{16} + 6.50x_{17} + \\ & 6.50x_{18} + 6.50x_{19} + 3.25x_{20} \leq 24\ 000 \end{aligned}$$

$$x_1 \geq 400 \dots\dots\dots x_1 \leq 550$$

$$x_4 \geq 300 \dots\dots\dots x_4 \leq 400$$

$$x_2 \geq 50 \dots\dots\dots x_2 \leq 150$$

$$x_5 \geq 25 \dots\dots\dots x_5 \leq 75$$

$$x_3 \geq 300 \dots\dots\dots x_3 \leq 400$$

$$x_6 \geq 50 \dots\dots\dots x_6 \leq 150$$

$$x_7 \geq 350 \dots\dots\dots x_7 \leq 450$$

$$x_{14} \geq 50 \dots\dots\dots x_{14} \leq 100$$

$$x_8 \geq 200 \dots\dots\dots x_8 \leq 400$$

$$x_{15} \geq 5 \dots\dots\dots x_{15} \leq 20$$

$$x_9 \geq 30 \dots\dots\dots x_9 \leq 90$$

$$x_{16} \geq 5 \dots\dots\dots x_{16} \leq 30$$

$$x_{10} \geq 50 \dots\dots\dots x_{10} \leq 150$$

$$x_{17} \geq 250 \dots\dots\dots x_{17} \leq 350$$

$$x_{11} \geq 400 \dots\dots\dots x_{11} \leq 700$$

$$x_{18} \geq 150 \dots\dots\dots x_{18} \leq 300$$

$$x_{12} \geq 50 \dots\dots\dots x_{12} \leq 100$$

$$x_{19} \geq 350 \dots\dots\dots x_{19} \leq 550$$

$$x_{13} \geq 300 \dots\dots\dots x_{13} \leq 400$$

$$x_{20} \geq 1\,500 \dots\dots\dots x_{20} \leq 2\,000$$

$$x_1 \leq 650$$

$$x_{11} \leq 900$$

$$x_2 \leq 200$$

$$x_{12} \leq 150$$

$$x_3 \leq 500$$

$$x_{13} \leq 450$$

$$x_4 \leq 550$$

$$x_{14} \leq 150$$

$$x_5 \leq 100$$

$$x_{15} \leq 50$$

$$x_6 \leq 150$$

$$x_{16} \leq 50$$

$$x_7 \leq 600$$

$$x_{17} \leq 400$$

$$x_8 \leq 450$$

$$x_{18} \leq 500$$

$$x_9 \leq 100$$

$$x_{19} \leq 600$$

$$x_{10} \leq 250$$

$$x_{20} \leq 2\,500$$

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20} \geq 0$ Ve tamsayı

Model (M5.2)'in Uzlaşık Programlama çözümünden belirlenen değişkenler ve amaç fonksiyonu değerleri Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Uzlaşık Programlama Çözümü

DEĞİŞKENLER	Z_1	Z_2	W_1
VY1(x_1)	550	550	550
VY2(x_2)	150	150	150
VY3(x_3)	400	400	400
VY4(x_4)	400	400	400
VY5(x_5)	75	75	75
VY6(x_6)	150	150	150
VY7(x_7)	350	350	350
VY8(x_8)	200	200	200
VY9(x_9)	90	90	90
SY1(x_{10})	150	150	150
SY2(x_{11})	400	400	400
SY3(x_{12})	50	50	50
SY4(x_{13})	300	300	300
SY5(x_{14})	64.890350	64.890350	64.890350
KBP1(x_{15})	5	5	5
KBP2(x_{16})	5	5	5
KVBP1(x_{17})	250	250	250
KVBP1(x_{18})	150	150	150
YBP1(x_{19})	350	350	350
YBP2(x_{20})	1503.859619	1503.859619	1503.859619
$d = 0,500$	782.0070019	5593.749969	31911.29984

Uzlaşık Programlama modeline göre belirlenen uzlaşık çözüm değerleri her bir değişken için aynı değişken değerinde belirlenmiştir. Uzaklık parametresi $d=0.500$ olarak elde edilmiştir. Uzaklık parametresine göre belirlenen çözüm tam olarak pozitif ve negatif çözümler arasında meydana gelmiştir.

5.3.3. Bulanık Uzlaşık Programlama Çözümü

Tablo 5.4'te her bir amaç fonksiyonu için farklı değişken değerlerine amaç fonksiyonları optimize edilmektedir. Her bir amaç fonksiyonunun çözümünden elde edilen değişkenler üstün olmayan çözümler olarak adlandırılır. Üstün olmayan çözümlere göre her bir amaç

fonksiyonun değeri Tablo 14’te verilmiştir. Bu tabloda $x_i^*(i=1,2,3)$ her bir amaç fonksiyonuna ait değişken değerlerini göstermektedir.

Tablo 14. Üstün Olmayan Çözümler Tablosu

Değişkenler	Z_1	Z_2	W_1
x_1^*	3873.900	5958.35714	34865.10
x_2^*	3859.375	6372.500	34734.375
x_3^*	3217.500	4815	28957.50

Her bir amaç fonksiyonu için yapılan çözümler incelendiğinde farklı değişken değerlerine göre amaç fonksiyonlarının optimum değerleri belirlenmiştir. Bu durum uygun çözüm alanının olmadığını gösterir.

Uygun çözüm alanını oluşturmak için Bulanık Uzlaşık Programlama tekniği kullanılarak “uzlaşık çözüm” belirlenmiştir. Bulanık Uzlaşık Programlama modelinin oluşturulabilmesi için Nadir değerlerinin bulunması gerekmektedir. Nadir değerler, Tablo 14’deki Üstün Olmayan Çözümler tablosundaki değerlerin içerisinde belirlenir. Nadir değerler, maksimizasyon problemler için alt sınırlar, minumum problemler için üst sınırlar kabul edilir. Nadir değerler Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 15. Bulanık Uzlaşık Programlama Çözümü İçin Nadir Değerler

Nadir Değerler	
Z_1^{Nadir}	3217.500
Z_2^{Nadir}	4815
Z_3^{Nadir}	34865.10

Nadir değerlerine göre, her bir amaç fonksiyonuna ait fayda fonksiyonunun üyelik fonksiyonu (4.4) kuruldu.

$$U_1(x) = \begin{cases} 1 & Z_s(x) \leq 3873.900 \\ \frac{Z_s(x) - 3217.500}{3873.900 - 3217.500} & 3873.900 \geq Z_s(x) > 3217.500 \\ 0 & Z_s(x) > 3217.500 \end{cases}$$

$$U_2(x) = \begin{cases} 1 & Z_s(x) \leq 6372.500 \\ \frac{Z_s(x) - 6372.500}{6372.500 - 4815} & 6372.500 \geq Z_s(x) > 4815 \\ 0 & Z_s(x) > 4815 \end{cases}$$

$$U_3(x) = \begin{cases} 1 & Z_s(x) \leq 28957.500 \\ \frac{34865.10 - Z_s(x)}{34865.10 - 28957.500} & 28957.500 < Z_s(x) \leq 34865.10 \\ 0 & Z_s(x) > 34865.10 \end{cases}$$

Daha önce Çok Amaçlı Doğrusal programlama ve Uzlaşık Programlama tekniği ile çözülen (M5.1) modeli Bulanık Uzlaşık Programlama modeline dönüştürülebilmesi için (4.6) denkleminde yararlanılmıştır.

(4.6) denkleminde yer alan w_s kriter ağırlık değerleri, karar vericinin tercihinine bağlı olarak değişir. Ve ağırlıkların toplamı 1'e eşit olması gerekir. Ağırlık değerleri Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Her Bir Kriter İçin Ağırlık Değerleri

Kriter Ağırlık Değerleri $\sum_{s=1}^s w_s = 1$	
w_1	0.333
w_2	0.333
w_3	0.333

Her bir kriter için belirlenen ağırlık değerleri için, birbirine eşit değerlerin verilmesine karar verilmiştir. Kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra denklem (4.6)'da gösterilen Bulanık Uzlaşık Programlama formülünde, her parametrenin genişletilmiş hali denklem (4.12)'de verilmiştir. (4.12)'de verilen denkleme göre, Bulanık Uzlaşık Programlama modeli için yeni bir amaç fonksiyonu oluşturulur.

$$\begin{aligned} & \left(\frac{0.333}{3873.900 - 3217.500} (0.14x_1 + 0.16x_2 + 0.22x_3 + 0.35x_4 + 0.40x_5 + 0.475x_6 + 0.65x_7 + \right. \\ & 0.80x_8 + 1.60x_9 + 0.27x_{10} + 0.52x_{11} + 1.14x_{12} + 1.40x_{13} + 2.80x_{14} + 16.15x_{15} + \\ & 5.00x_{16} + 1.13x_{17} + 0.95x_{18} + 1.04x_{19} + 0.52x_{20}) - 1.632278336 \Big) + \\ & \left(\frac{0.333}{6372.500 - 4815} (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + \right. \\ & x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20}) - 1.029467095 \Big) + \left(1.632278336 - \right. \\ & \frac{0.333}{34865.10 - 28957.50} (1.26x_1 + 1.44x_2 + 1.98x_3 + 3.15x_4 + 3.60x_5 + 4.275x_6 + 5.85x_7 + \\ & 7.20x_8 + 14.40x_9 + 2.43x_{10} + 4.68x_{11} + 10.26x_{12} + 12.60x_{13} + 25.20x_{14} + \\ & 145.35x_{15} + 45.00x_{16} + 10.17x_{17} + 8.55x_{18} + 9.36x_{19} + 4.68x_{20}) \Big) \end{aligned}$$

Bulanık Uzlaşık Programlama için oluşturulan yeni amaç fonksiyonu;

$$\begin{aligned} & ((0.0002138041734x_1 + 0.0002138041734x_2 + 0.0002138041734x_3 + \\ & 0.0002138041734x_4 + 0.0002138041734x_5 + 0.0002138041734x_6 + \\ & 0.0002138041734x_7 + 0.0002138041734x_8 + 0.0002138041734x_9 + \\ & 0.0002138041734x_{10} + 0.0002138041734x_{11} + 0.0002138041734x_{12} + \\ & 0.0002138041734x_{13} + 0.0002138041734x_{14} + 0.0002138041734x_{15} + \\ & 0.0002138041734x_{16} + 0.0002138041734x_{17} + 0.0002138041734x_{18} + \\ & 0.0002138041734x_{19} + 0.0002138041734x_{20}) - 1.029467095) \end{aligned}$$

Oluşturulan yeni amaç fonksiyonu (4.6) denklemine göre LİNGO 14.0 programında aşağıdaki gibi yazılır. (4.6) denkleminde belirtilen α değeri için $\alpha = 0.8$ değerine karar verilmiştir

$$\text{Maximum;} \quad (M5.3)$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} & (0.0002138041734x_1 + 0.0002138041734x_2 + 0.0002138041734x_3 + \\ & 0.0002138041734x_4 + 0.0002138041734x_5 + 0.0002138041734x_6 + \\ & 0.0002138041734x_7 + 0.0002138041734x_8 + 0.0002138041734x_9 + \\ & 0.0002138041734x_{10} + 0.0002138041734x_{11} + 0.0002138041734x_{12} + \\ & 0.0002138041734x_{13} + 0.0002138041734x_{14} + 0.0002138041734x_{15} + \\ & 0.0002138041734x_{16} + 0.0002138041734x_{17} + 0.0002138041734x_{18} + \\ & 0.0002138041734x_{19} + 0.0002138041734x_{20})^5 / 4 ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 0.70x_1 + 1.00x_2 + 1.30x_3 + 2.00x_4 + 2.40x_5 + 3.00x_6 + 4.50x_7 + 5.00x_8 + 10.00x_9 + \\ & 1.575x_{10} + 3.150x_{11} + 7.00x_{12} + 8.75x_{13} + 17.50x_{14} + 110.50x_{15} + 32.50x_{16} + 6.50x_{17} + \\ & 6.50x_{18} + 6.50x_{19} + 3.25x_{20} \leq 24000; \end{aligned}$$

$$x_1 \geq 400 \dots\dots\dots x_1 \leq 550$$

$$x_2 \geq 50 \dots\dots\dots x_2 \leq 150$$

$$x_3 \geq 300 \dots\dots\dots x_3 \leq 400$$

$$x_4 \geq 300 \dots\dots\dots x_4 \leq 400$$

$$x_5 \geq 25 \dots\dots\dots x_5 \leq 75$$

$$x_6 \geq 50 \dots\dots\dots x_6 \leq 150$$

$$x_7 \geq 350 \dots\dots\dots x_7 \leq 450$$

$$x_8 \geq 200 \dots\dots\dots x_8 \leq 400$$

$$x_9 \geq 30 \dots\dots\dots x_9 \leq 90$$

$$x_{10} \geq 50 \dots\dots\dots x_{10} \leq 150$$

$$x_1 \leq 650$$

$$x_2 \leq 200$$

$$x_3 \leq 500$$

$$x_4 \leq 550$$

$$x_5 \leq 100$$

$$x_6 \leq 150$$

$$x_7 \leq 600$$

$$x_8 \leq 450$$

$$x_9 \leq 100$$

$$x_{10} \leq 250$$

$$x_{11} \geq 400 \dots\dots\dots x_{11} \leq 700$$

$$x_{12} \geq 50 \dots\dots\dots x_{12} \leq 100$$

$$x_{13} \geq 300 \dots\dots\dots x_{13} \leq 400$$

$$x_{14} \geq 50 \dots\dots\dots x_{14} \leq 100$$

$$x_{15} \geq 5 \dots\dots\dots x_{15} \leq 20$$

$$x_{16} \geq 5 \dots\dots\dots x_{16} \leq 30$$

$$x_{17} \geq 250 \dots\dots\dots x_{17} \leq 350$$

$$x_{18} \geq 150 \dots\dots\dots x_{18} \leq 300$$

$$x_{19} \geq 350 \dots\dots\dots x_{19} \leq 550$$

$$x_{20} \geq 1\ 500 \dots\dots\dots x_{20} \leq 2\ 000$$

$$x_{11} \leq 900$$

$$x_{12} \leq 150$$

$$x_{13} \leq 450$$

$$x_{14} \leq 150$$

$$x_{15} \leq 50$$

$$x_{16} \leq 50$$

$$x_{17} \leq 400$$

$$x_{18} \leq 500$$

$$x_{19} \leq 600$$

$$x_{20} \leq 2\ 500$$

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20} \geq 0$ Ve tamsayı

Yeniden biçimlendirilmiş matematiksel model için tek bir amaç olarak çözülmesiyle elde edilen optimum değerler, Tablo 17’de Bulanık Uzlaşık Programlama modelinin çözümü olarak verilmiştir.

Tablo 17. Bulanık Uzlaşık Programlama Çözümü

DEĞİŞKENLER	Z ₁	Z ₂	W ₁
VY1(x ₁)	550	550	550
VY2(x ₂)	150	150	150
VY3(x ₃)	400	400	400
VY4(x ₄)	400	400	400
VY5(x ₅)	75	75	75
VY6(x ₆)	100	100	100
VY7(x ₇)	440.8333	440.8333	440.8333
VY8(x ₈)	200	200	200
VY9(x ₉)	30	30	30
SY1(x ₁₀)	150	150	150
SY2(x ₁₁)	700	700	700
SY3(x ₁₂)	50	50	50
SY4(x ₁₃)	300	300	300
SY5(x ₁₄)	50	50	50
KBP1(x ₁₅)	5	5	5
KBP2(x ₁₆)	5	5	5
KVBP1(x ₁₇)	250	250	250
KVBP1(x ₁₈)	150	150	150
YBP1(x ₁₉)	350	350	350
YBP2(x ₂₀)	2 000	2 000	2 000
AMAÇLAR	3857.291645	6355.8333	34715.624805

Tablo 17’de elde edilen amaç fonksiyonu 1.158466 değerini almıştır. Ele alınan amaç fonksiyonu değerinden, daha önce hesaplanan kriter ağırlık değerleri ile elde edilen 1.029467095 değerine çıkarma işlemi uygulayarak 0.128998905 sonucuna ulaşılmıştır. Bu değer karar vericiler için kabul edilebilir bir sonuçtur.

Amaç fonksiyonu değeri=1.158466

$$1.158466 - 1.029467095 = 0.128998905$$

Modelin çözüm süreci bilindiği gibi Çok Amaçlı Doğrusal Programlama, Uzlaşık Programlama ve Bulanık Uzlaşık Programlama olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır ve bu üç aşamanın genel değerlendirilmesi Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. Modellerin Genel Değerlendirilmesi

DEĞİŞKENLER	Çok Amaçlı Doğrusal Programlama		Uzlaşık Programlama		Bulanık Uzlaşık Programlama	
VY1(x ₁)			550		550	
VY2(x ₂)			150		150	
VY3(x ₃)			400		400	
VY4(x ₄)			400		400	
VY5(x ₅)			75		75	
VY6(x ₆)			150		100	
VY7(x ₇)			350		440.8333	
VY8(x ₈)	UYGUN ÇÖZÜM YOKTUR		200		200	
VY9(x ₉)			90		30	
SY1(x ₁₀)			150		150	
SY2(x ₁₁)			400		400	
SY3(x ₁₂)			50		50	
SY4(x ₁₃)			300		300	
SY5(x ₁₄)			64.890350		50	
KBP1(x ₁₅)			5		5	
KBP2(x ₁₆)			5		5	
KVBP1(x ₁₇)					250	
KVBP1(x ₁₈)			150		150	
YBP1(x ₁₉)			350		350	
YBP2(x ₂₀)			1503.859619		2000	
Amaç Fonksiyonları	Z ₁	3873.900	Z ₁	782.0070019	Z ₁	3857.291645
	Z ₂	6372.500	Z ₂	5593.749969	Z ₂	6355.8333
	W ₁	28957.50	W ₁	31911.29984	W ₁	34715.624805
			D=0.500		1.158466	

Tablo 18’de çözümlerin verdiği sonuçlar ele alındığında, ilk olarak Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modelinin uygun çözüm vermediği görülmüştür. Bununla birlikte her bir amacın farklı değişken değerlerine göre aldığı değerler verilmiştir. Uzlaşık Programlamada amaçların her biri hedeflere dönüştürülürken, Çok Amaçlı Doğrusal Programlama çözümlerinden elde edilen pozitif ideal çözümler ile negatif ideal çözümler kullanılmıştır. Uzlaşık Programlama çözümün verdiği amaç fonksiyonu değerleri incelendiğinde, birim üretim ile kar amacıyla azalmalar, maliyette ise artışlar görülmektedir. Bu sebeple amaç değerleri ideal çözümlerden uzak olmasına karşın uzlaşık çözüm ile tatminkâr bir seviyede gerçekleşmiştir. Son olarak her bir amaç fonksiyonunun çözümünden elde edilen üstün olmayan çözümler tablosuna göre nadir değerlerine ulaşılarak, her bir amaç fonksiyonuna ait fayda fonksiyonunun üyelik fonksiyonu kurulmuştur. Ayrıca karar vericiler tarafından belirlenen kriter ağırlıkları ile birlikte, BUP çözümüne ulaşılmıştır. Sonuç itibariyle yapılan çözümde kar, birim üretim ve maliyet hedeflerinde artışlar belirlenmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karar verme işleminin gerçekleştirilebilmesi için çoğu zaman, yöneylem araştırması içerisinde yer alan karar verme tekniklerine başvurulur. Karar verme tekniklerinin kullanımında ise, karar vericilerin tercihleri önemli bir role sahiptir. Karar verme sürecine yardımcı olacak karar vericilerin o anki psikolojik durumu, sosyal çevrenin etkisi, tecrübeleri ve öznel yargıları sürecin şekillenmesini sağlar. Problem yapısına göre de en uygun tekniğin kullanılmasını tercih ederler.

Karar verme, yaşamın her aşamasında karşılaşılabilecek bir süreçtir. Bazen bireysel toplumsal, yönetsel alanlarda bazen üretim, finans ve mali birimlerde bazen de rekabetli ve riskli ortamlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu sürecin en iyi şekilde değerlendirilmesi ve en doğru kararın verilebilmesi için karar vericiler çoklu ve çelişkili kriterleri açıkça dikkate almalıdır. Üretim alanında karar verirken, amaçlar nitelik ve nicelik bakımından en iyi şekilde değerlendirilmelidir. Bu amaçlar tek bir kritere bağlı olabildiği gibi birden fazla kritere de bağlı olabileceğinden çeşitlilik özelliğine sahiptir. Karar vericiler her zaman maliyetlerinin düşmesini, israfın önüne geçilmesini, kaynakların en iyi şekilde işlenilmesini ve karının artmasını hedeflemektedir. Bu gibi birbiriyle çelişen ve bünyesinde birden fazla amacı barındıran karar problemleri için Çok Amaçlı Karar Verme tekniklerinden yararlanılmalıdır.

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde amaç fonksiyonlarının birleştirilmesine yönelik yaklaşımlardan biri olan Uzlaşık Programlama tekniğine başvurulur. Çelişen amaçları optimum kılan tek bir çözüm bulunamayacağından her bir amacın ağırlık derecesini gözeterek uzlaşık çözümler bulunabilir. Uzlaşık çözüm karar vericinin arzu edilen seviyeye yaklaşmasını sağlayan uygun çözümler üretir.

Uzlaşık Programlama yaklaşımındaki bazı belirsizlik durumları söz konusu olabilir veya karar vericilerin kararları tutarsız bir şekilde değişebilir. Böyle belirsiz ve çelişkili durumların üstesinden gelebilmek için Bulanık Uzlaşık Programlama yaklaşımından yararlanılmalıdır. Bulanık Uzlaşık Programlama, çelişkili görüşleri ifade ederken kararın sonuçları hakkında ve arzu edilen değerler için bilgilendirerek, karar vericilerin doğru karar vermesini sağlar.

BUP yaklaşımı, geleneksel Çok Kriterli Karar Verme tekniklerine kıyasla çok sayıda karşılaştırma avantajı sağladığından, karar vericiler daha çok sezgisel olarak sürece dahil olduğundan ayrıca ideal ve uzlaşık çözümler eksik veya hatalı olsa dahi çözüme esneklik getirdiğinden çok amaçlı optimizasyon problemlerinde Bulanık Uzlaşık Programlama tekniği kullanılmalıdır.

Bulanık Uzlaşık Programlama da, karar vericinin kararlarına göre kurulan model üzerindeki rakamlar da bulanıklık söz konusudur ve bu model de üyelik fonksiyonu kullanılarak hedefler oluşturulur.

Birden fazla amacı içeren matematiksel programlama modellerinde amaçların birbirleriyle ihtilaflı olmaları, yapılması gereken optimizasyonun tam anlamıyla gerçekleşmesine engel olmaktadır. Bu sebepler amaç fonksiyonlarının en iyi performansını veren pozitif ideal çözümler ile en kötü performansını veren negatif ideal çözümler göz önünde bulundurularak çözüm araştırılmalıdır. Bu çalışmada Bulanık Uzlaşık Programlama modeli, Uzlaşık Programlama modeli ve Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modeli gerçek bir problem vasıtasıyla karşılaştırılmış ve Çok Amaçlı Doğrusal Programlama ve Uzlaşık Programlama modelinde sağlanamayan tatminkar çözüm, BUP yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Kurulan model de süt ürünleri üreten işletmenin üretim süreci ele alınmıştır. Elde edilen verilerle Çok Amaçlı Doğrusal Programlama, Uzlaşık Programlama ve Bulanık Uzlaşık Programlama modellerinin birden fazla amacı içeren yapıları incelenmiştir.

İşletme yönetimi tarafından belirlenen yirmi farklı tipteki süt ürünleri üretimi için müşteri talebi, makine kapasitesi ve üretim miktarları Tablo 8’de, birim fiyat , maliyet ve kar değerleri Tablo 9’da, süt ürünlerinde işlenilen süt miktarları, her bir ürün için hesaplanarak Tablo 10’da verilmiştir. Her bir ürün için atanan karar değişkenleri, $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}$ ve x_{20} şeklinde tanımlanmıştır.

Üretim planı içerisinde üç farklı amaç belirlenmiştir. Bu amaçlar, modeldeki sırasıyla Z_1 : Kar Amacı, Z_2 : Birim Üretim Amacı, Z_3 : Maliyet Amacıdır. Belirlenen bu amaçlar haricinde kısıtlar ile ilgili tolerans değerleri verilmiştir. Bu kısıtlar vakumlu taze yoğurttan 9 adet, süzme yoğurttan 5 adet, çeşitli peynir üretiminden ise 6 adet olmak üzere toplamda 20 kısıt oluşturulmuştur. Hedeflere ve kısıtlara bağlı olarak (M5.1) modeline göre çok amaçlı matematiksel model kurulmuştur.

(M5.1)'deki çok amaçlı matematiksel modelin ilk aşamasında her bir amaç fonksiyonu için çözümü gerçekleştirilecek, optimallliği incelenmiştir. Her bir amaç fonksiyonu için Çok Amaçlı Doğrusal Programlama çözümü Tablo 11'de verilmiştir. Optimallliği araştırılan modelden elde edilen sonuçlarda optimal çözüme ulaşılmamıştır. Daha sonra her bir amaç fonksiyonu için birinci bölümde yer alan (1.8) ve (1.9) denklemleri kullanılarak pozitif ideal çözümler, (1.11) ve (1.12) denklemleri kullanılarak negatif ideal çözümler belirlenmiştir. Tablo 12'deki pozitif ve negatif ideal çözümlerden elde edilen değerlere bağlı olarak Uzlaşık Programlama çözümü gerçekleştirilmiştir.

Model (M5.2)'in Uzlaşık Programlama çözümünden elde edilen değişken ve amaç fonksiyonu değerleri, Tablo 13'de verilmiştir. Uzlaşık Programlama modeline göre belirlenen uzlaşık çözüm değerleri her bir değişken için aynı değişken değerinde belirlenmiş ve uzaklık parametresi $d = 0.500$ olarak elde edilmiştir. Bu durum uzaklık parametresine göre belirlenen çözümün tam olarak pozitif ve negatif çözümler arasında meydana geldiğini göstermektedir. Uzlaşık Programlama çözümünün amaç fonksiyonu değerleri incelendiğinde, birim üretim ve kar amacıyla azalmalar, maliyet değerinde ise artış olduğu izlenmiştir. Bu nedenle Uzlaşık Programlama çözümü tatminkar seviyede gerçekleşmemiştir.

Tablo 11'deki her bir amaç fonksiyonu çözümünden elde edilen değişkenler ile, Tablo 14'de yer alan üstün olmayan çözümler tablosu oluşturulmuştur. Üstün olmayan çözümler incelendiğinde uygun çözüm alanlarının olmadığı görülmektedir. Uygun çözüm alanının oluşması için Bulanık Uzlaşık Programlama tekniği kullanılarak uzlaşık çözüm belirlenmelidir. Bunun için ilk adım üstün olmayan çözümler tablosu ele alınarak, nadir değerlerinin belirlenmesidir. Tablo 15'de Bulanık Uzlaşık Programlama çözümü için nadir değerleri belirlenmiştir.

Nadir değerlerine göre her bir amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonları kurulmuştur. (M5.1) modelinin Bulanık Uzlaşık Programlama modeline dönüştürülebilmesi için (4.6) denkleminde yararlanılmıştır. (4.6) denkleminde yer alan kriter ağırlığı değerleri karar vericinin tercihiyle bağlı olarak, üç amaç içinde 0.333 değeri verilerek, her bir amacın eşit değerler almasına dikkat edilmiştir. Her bir amaç için kriter ağırlığı değerleri Tablo 16'da verilmiştir.

(4.6) denkleminde gösterilen Bulanık Uzlaşık Programlama formülünde, her bir parametrenin genişletilmiş hali (4.12) denkleminde gösterilmiştir. Bu denkleme göre, BUP için yeni bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur.

(4.6) denkleminde belirtilen α değeri için, $\alpha = 0.8$ değerine karar verilmiştir. Yeniden biçimlendirilen matematiksel model tek bir hedef olarak çözülmesiyle Bulanık Uzlaşık Programlama çözümü elde edilmiştir. Ulaşılan çözüm sonucuna göre amaç fonksiyonu değeri 1.158466 olup, optimum değerlere Tablo 17’de yer verilmiştir.

Sonuç olarak Bulanık Uzlaşık Programlama çözümüyle elde edilen değerlere baktığımızda, kar hedefinin Çok Amaçlı Doğrusal Programlama çözümüyle belirlenen kar hedefiyle hemen hemen yakın değerler aldığını, Uzlaşık Programlama çözümüne göre ise gözle görülür bir artış olduğunu, birim üretim miktarının Çok Amaçlı Doğrusal Programlama çözümüyle elde edilen birim üretim miktarına yakın, Uzlaşık Programlama çözümünden elde edilen değerden büyük değer aldığını, maliyet hedefinin ise, hem Çok Amaçlı Doğrusal Programlama hem de Uzlaşık Programlama çözümüne göre fazla olduğunu gösterir.

Üretim sürecinde en iyi ve en kötü performans değerlendirmesi karar vericiler tarafından sağlanır. Elde edilen sonuçlara göre bir değerlendirme yaptığımızda birtakım tavsiyelerde bulunabiliriz. Bulanık Uzlaşık Programlama sonuçları maliyet unsurunda artış göstermesine rağmen, bütün hedeflerin tatminkarlık seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Üç ayrı çözüm tekniği içerisinde, tatminkarlık seviyesini sağlayan BUP modeli, üretim sürecinde doğru kararların alınmasında kullanılmalıdır.

Bu sonuçlara göre, özellikle 500 gr’lık yağlı beyaz peynirin çok miktarda; 350, 650, 1 000, 2 250 gr’lık vakumlu yoğurtlardan, 900 ve 2500 gr’lık süzme yoğurtlardan 1 000 gr’lık klasik vakumlu beyaz peynirden ve 1 000 gr’lık yağlı beyaz peynirden orta miktarlarda; 500, 1 500, 2 500 gr’lık vakumlu yoğurtlardan, 450 gr’lık süzme yoğurttan ve 1000 gr’lık köy peynirinden bir miktar; son olarak 1 200 ve 5 000 gr’lık vakumlu yoğurtlardan, 2000 ve 5000 gr’lık süzme yoğurtlardan ve 17 000 ve 5 000 gr’lık klasik beyaz peynirlerden az miktarda üretmelidir. Firma çözüm sonucuna göre belirlenen üretim tiplerini ve miktarlarını dikkate aldığı ve günlük makine kapasitesini, hammadde miktarlarını en iyi şekilde kullandığı takdirde karını daha fazla artırma imkanı bulacaktır.

KAYNAKÇA

- Abraham, A. & Jain, L. (2005) Evolutionary Multi objective Optimization in A. Abraham, and R. Goldberg (Eds.), *Evolutionary Multi objective Optimization Theoretical Advances and Applications* (pp. 1-6). USA: Springer-Verlag London Limited. 12 Şubat 2016 tarihinde https://books.google.com.tr/books?id=KHOQu7R_POoC&printsec=frontcover&dq=Evolutionary+Multi+objective+Optimization,+Evolutionary+++++++++Multi+objective+Optimization+Theoretical+Advances+and+Applications&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwiU1uLC4oDTAhXIEiwKHRH8DSwQ6AEIGTAA#v=onepage&q=Evolutionary%20Multi%20objective%20Optimization%2C%20Evolutionary%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20Multi%20objective%20Optimization%20Theoretical%20Advances%20and%20Applications&f=false sayfasından erişilmiştir.
- Acar, E. & Durucasu, H. (2014). Özel Sektör Çalışanları için Yid İhale Probleminin Çok Amaçlı Optimizasyonu. *The Journal of Operations Research*, 2(2), 37-50. 10 Ocak 2015 tarihinde <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/19228> sayfasından erişilmiştir.
- Acar, E. ve Durucasu, H. (2015). Belirsizlik Altında Yap-İşlet-Devret (Yid) Projesi Finansal Yapılabilirliğinin Yargısal Olasılıklara Dayalı Simülasyon Modeliyle Değerlendirilmesi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(9), 579-598. 11 Ocak 2016 tarihinde http://www.asosjournal.com/Makaleler/332090163_531%20Elif%20ACAR.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Akyüz, G. (2012). Bulanık Vikor Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(1), 197-215. 15 Eylül 2016 tarihinde

<http://e-dergi.atauni.edu.tr/atauniiibd/article/view/1025006433/1025006595>
sayfasından erişilmiştir.

Alptekin, S.E. (2012). A Fuzzy Decision Support System For Digital Camera Selection Based On User Preferences. *Expert Systems With Applications An International Journal* 39(3), 3037-3047. 12 Ocak 2017 tarihinde <http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/5766.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Antomil, J.; Arenas, M; Bilbao, A.; Pérez Gladish, B.; Rodríguez Uría, M. V., (2004). Fuzzy Compromise Programming For Portfolio Selection. Departamento de Economía Cuantitativa Facultad de CC. Económicas Universidad de Oviedo, 6-11. 23 Nisan 2014 tarihinde <https://pdfs.semanticscholar.org/435e/61f2d5fa0ecf5fa4f18d5b9e3fc06c565a86.pdf> sayfasından alınmıştır.

Atlas, M. (2008). Çok Amaçlı Programlama Çözüm Tekniklerinin Sınıflandırılması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1), 47-68. 16 Ağustos 2016 tarihinde <http://www.acarindex.com/dosyalar/makale/acarindex-1423869591.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Başkaya, Z. & Öztürk, B. (2011). Bulanık Topsis Algoritması ile Yamuk Bulanık Sayıların Satış Elemanı Seçiminde Kullanılması. *Business And Economics Research Journal*, 2(2), 77-100. 2 Ağustos 2014 tarihinde <http://www.acarindex.com/dosyalar/makale/acarindex-1423873779.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Ben-Arieh, D. & Chen, Z. (2013). Fuzzy Group Decision Making. In Badiru, A. B. (Eds.) *Handbook of Industrial and Systems Engineering, Second Edition*. (pp.763-793). Boca Raton, London, New York: CRC Press. 17 Ocak 2017 tarihinde <https://books.google.com.tr/books?id=xFPOBQAAQBAJ&pg=PA763&dq=fuzzy+compromise+programming&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwjmu5vgw7fSAhXKWywKHYxPCJE4ChDoAQg4MAQ#v=onepage&q=fuzzy%20compromise%20programming&f=false> sayfasından erişilmiştir.

Bender, M. J. (2002). Fuzzy Compromise Approach To Water Resources Systems Planning Under Uncertainty. In Bogardi, J. J. & Kundzewicz, Z. W. (Eds.) *Risk Reliability, Uncertainty and Robustness of Water Resources Systems*. (pp. 122-

132) New York, U.S.A.:Cambridge University Press. 17 Ocak 2017 tarihinde https://books.google.com.tr/books?id=Gigpmr6nyLUC&printsec=frontcover&dq=Risk+Reliability,+Uncertainty+and+Robustness+of+Water+Resources+Systems.&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwj7_77ph73TAhWH8RQKHRQCD_kQ6wEIzAA#v=onepage&q=Risk%20Reliability%2C%20Uncertainty%20and%20Robustness%20of%20Water%20Resources%20Systems.&f=false sayfasından erişilmiştir.

Bilbao-Terol, A., Perez-Gladish, B., Arenas-Parra, M., & Rodriguez-Uria, M.V. (2006). Fuzzy Compromise Programming For Portfolio Selection. *Departamento de Economia Cuantitativa, Facultad de CC. Economicas, Universidad de Oviedo*, 173(2006), 251-264.

Bilbao-Terol, A., Perez-Gladish, B., & Antomil-Ibias, J. (2006). Selecting The Optimum Portfolio Using Fuzzy Compromise Programming and Sharpe's Single-Index Model. *Department of Quantitative Economics, University of Oviedo*, 182(2006), 644-664.

Bölat, B. & Kuzucu, A. (2006). Çok Amaçlı Karar Verme Problemlerine Etkileşimli Bir Yaklaşım. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 5 (1), 114-126. 05 Ekim 2015 tarihinde http://itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi_d/article/viewFile/558/523 sayfasından erişilmiştir.

Buchananan, J.T. (1994). An Experimental Evaluation of Interactive MCDM Methods and the Decision Making Process. *Journal of the Operational Research Society*, 45(9), 1050-1059. 10 Ekim 2015 tarihinde http://www.jstor.org/stable/2584146?seq=1#page_scan_tab_contents sayfasından erişilmiştir.

Chen, G. & Pham, T.T. (2001). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*. USA: CRC Press. 15 Eylül 2016 tarihinde https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=cj0kNFa1ZZgC&oi=fnd&pg=P1&dq=Fuzzy+Sets,+Fuzzy+Logic,+and+Fuzzy+Control+Systems&ots=Uw3xA DPLIn&sig=qEJHTQwIXnjE2RGxgIY4XVmMaDg&redir_esc=y#v=onepage&q=Fuzzy%20Sets%2C%20Fuzzy%20Logic%2C%20and%20Fuzzy%20Control%20Systems&f=false sayfasından erişilmiştir.

- Chen, W., Wiecek, M. M. & Zhang, J. (1998). Quality Utility: A Compromise Programming Approach to Robust Design. *Journal of Mechanical Design*, s.2-38. 15 Ağustos 2016 tarihinde http://ideal.mech.northwestern.edu/pdf/Chen_Wiecek.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Ciddi, K. & Erol, S. (2013). Etkin, Etkili Ve Uygulanabilir Karar Verme: Etkileşimli Bulanık /Olabilirlikli Çok Amaçlı Matematiksel Programlama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, EYİ 2013 Özel Sayısı, 197-210. 10 Mayıs 2015 tarihinde https://birimler.dpu.edu.tr/app/views/panel/ckfinder/userfiles/17/files/DERG_/EY_ZEL_SAYI/15.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Coello, C. A. C., Lamont, G. B., Veldhuizen, D. A., (2007). *Evolutionary Algorithms For Solving Multi-Objective Problems*. New York, U.S.A: Springer Science & Business Media. 12 Nisan 2014 tarihinde https://books.google.com.tr/books?id=2murCij_wHcC&printsec=frontcover&hl=t&r&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false sayfasından erişilmiştir.
- Çanlı H. & Kandakoğlu, A. (2007). Hava Gücü Mukayesesi İçin Bulanık AHP Modeli. *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 3(1), 71-82. 11 Ocak 2015 tarihinde <http://docplayer.biz.tr/7221230-Hava-gucu-mukayesesi-icin-bulanik-ahp-modeli.html> sayfasından erişilmiştir.
- Çevik O. & Yıldırım Y. (2010). Bulanık Doğrusal Programlama ile Süt Ürünleri İşletmesinde Bir Uygulama. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 12 (18), 15-26. 27 Temmuz 2016 tarihinde <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/kmusekad/article/view/5000134396/5000123207> sayfasından erişilmiştir.
- Dağdeviren, M., Akay, D., Çetinyokuş, T. & Kurt, M. (2002). Bulanık Matematiksel Programlama Tekniği ile Bir İş Değerlendirme Uygulaması. *Teknoloji Dergisi*, 5(1-2), 91-96. 12 nisan 2015 tarihinde [http://jestech.karabuk.edu.tr/arsiv/1302-0056/2002/Cilt\(5\)/Sayi\(1-2\)/91-96.pdf](http://jestech.karabuk.edu.tr/arsiv/1302-0056/2002/Cilt(5)/Sayi(1-2)/91-96.pdf) sayfasından erişilmiştir.

Delgado, M. Verdegay, J. L. & Vila, M. A. (1990). A Possibilistic Approach for Multiobjective Programming Problems. Efficiency of Solutions. In R. Slowinski & J. Teghem (Eds.), *Stochastic Versus Fuzzy Approaches to Multiobjective Mathematical Programming under Uncertainty*. (pp. 229-248) Dortrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 17 Ocak 2017 tarihinde <https://books.google.com.tr/books?id=ab7oCAAQBAJ&pg=PA3&dq=Stochastic+Versus+Fuzzy+Approaches+to+Multiobjective+Mathematical+Programming+under+Uncertainty.&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwiMoZmPIL3TAhVB6xQKHdm4DfoQ6AEIIjAA#v=onepage&q=Stochastic%20Versus%20Fuzzy%20Approaches%20to%20Multiobjective%20Mathematical%20Programming%20under%20Uncertainty.&f=false> sayfasından erişilmiştir.

Duval, Y. & Featherstone, A. M. (1999). Fuzzy Logic and Compromise Programming in Portfolio Management. Paper Presented at the Western Agricultural Economics Association Annual Meeting: July 11-14, Fargo, North Dakota: Conference Paper/ Presentation 1-15. 08 Ağustos 2016 tarihinde <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/35695/1/sp99du01.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Dyer, J S., Fishburn, P C., Steuer, R E., Wallenius, j., Zionts, S. (1992). Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: The Next Ten Years. *Management Science* ,58(5), 645-654. 17 Ağustos 2016 tarihinde http://web.mit.edu/~yves/www/decision%20theory/multiple_criteria_decision_the_next_ten_years.pdf sayfasından erişilmiştir.

Ecer, F. (2007). Üyelik Fonksiyonu Olarak Üçgen Bulanık Sayılar Mı Yamuk Bulanık Sayılar Mı? *Gazi Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 161-180. 18 Aralık 2015 tarihinde <http://iibfdergisi.gazi.edu.tr/index.php/iibfdergisi/article/viewFile/150/141> sayfasından erişilmiştir.

Elahi, B., Pakzad-Jafarabadi, Y., Etaati, L., Seyed-Hosseini, S. M. (2011a) Optimization of Supply Chain Planning with Considering Defective Rates of Products in each Echelon. *Technology and Investment*, 2(3), 211-221. 18 Ocak 2016 tarihinde http://file.scirp.org/pdf/TI20110300005_91286914.pdf sayfasından erişilmiştir.

- Elahi, B., Seyed-Hosseini, S. M. & Makui, A. (2011b). A Fuzzy Compromise Programming Solution For Supplier Selection In Quantity Discounts Situation. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 22(2), 107-114. 22 Eylül 2015 tarihinde <http://ijiepr.iust.ac.ir/article-1-288-en.pdf> sayfasından ulaşılmıştır.
- Elmas, Ç. (2007). *Yapay Zeka Uygulamaları (Yapay Sinir Ağı, Bulanık Mantık, Genel Algoritma)*. Ankara: Seçkin
- Emhan, A., (2007). Karar Verme Süreci ve Bu Süreçte Bilişim Sistemlerinin Kullanılması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(21), 212-224. 02 Ağustos 2016 tarihinde <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/esosder/article/view/5000068087/5000063151> sayfasından erişilmiştir.
- Erdoğan, Ş. & Öğütlü, A.S. Bulanık Doğrusal Programlama Kullanılarak Broiler Etlik Piliçleri İçin Yem Karışımlarının Hazırlanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 395-404. 12 ağustos 2016 tarihinde <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/akufemubid/article/view/5000134875/5000123670> sayfasından erişilmiştir.
- Ersöz, F. & Kabak, M. (2010). Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması. 9(1), 97-125. 13 Aralık 2014 tarihinde <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/khosbd/article/view/5000050146/5000047411> sayfasından erişilmiştir.
- Evren, R. & Ülengin, F. (1992). *Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme*. İstanbul: İTÜ Yayınları.
- Fettahoğlu, S., Dönmez, M. A. & Kazhi, S. (2016). İşletmelerde Kredi Derecelendirme: Borsa İstanbul Bilişim Endeksi Üzerine Bir Uygulama. *Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırma Dergisi*, 4(1), 15-23. 23 Temmuz 2016 tarihinde <http://www.mulkiyederigi.org/ejoir/article/view/5000190327/5000169378> sayfasından erişilmiştir.

- Fuller, R. (1998). *Fuzzy Reasoning and Fuzzy Optimization*, Budapest: TUCS General Publications, No. 9, Turku Centre for Computer Science. 13 Kasım 2015 tarihinde <http://users.abo.fi/rfuller/sda1.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Gharakhani, M. & Sadjadi, S.J. (2013). A Fuzzy Compromise Programming Approach For The Black-Litterman Portfolio Selection Model. *Department of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology*, 1(2), 11-22. 15 Eylül 2016 tarihinde http://www.growingscience.com/dsl/Vol2/dsl_2013_6.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Guerrero-Baena, M. D., Gomez-Limon, J. A., & Fruet Cardozo, J. V. (2014). Are Multi-Criteria Decision Making Techniques Useful For Solving Corporate Finance Problems? A Bibliometric Analysis. *Revista de Metodos Cuantitativos para la Economia y la Empresa*, 17, 60-79 03 Ağustos 2016 tarihinde <http://www.redalyc.org/pdf/2331/233131398001.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Habenicht W., B. Scheubrein ve R. Scheubrein (2014). Multiple-Criteria Decision Making. *Optimization and Operations Research*. Vol:4 14 Şubat 2015 tarihinde <http://www.eolss.net/sample-chapters/c02/E6-05-06-05.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Herrera, F., Alonso, S., Chiclana, F. & Herrera-Viedma, E., (2009), Computing with words in decision making: Foundations, trends and prospects, *Fuzzy Optimistic Decision Making*. 8(4), 337-364. 16 Eylül 2016 tarihinde <https://pdfs.semanticscholar.org/36cd/9034f2c8ed624b6457f2fd4880d2933253db.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Hwang, C.L. & Masud, A.S. (1979). *Multiple Objective Decision Making-Methods and Applications*. Berlin, New York: Springer-Verlag.
- Karaatlı M., Ömürbek N. & Yılmaz H. (2014), Mobilya Sektöründe Bulanık Doğrusal Programlama Tekniği ile Üretim Planlaması Uygulaması. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 10(22), 95-118. 13 Temmuz 2015 tarihinde http://www.ijmeh.org/index.php/zkesbe/article/view/412/pdf_1 sayfasından erişilmiştir.
- Kaya, İ., Kılınç, M.S. & Çevikcan, E. (2007). Makine-Teçhizat Seçim Probleminde Bulanık Karar Verme Süreci. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 49(576), 8-14. 02

ağustos tarihinde
http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/2cec96096d4281b_ek.pdf?dergi=10
6 sayfasından erişilmiştir.

Kaya, P., İpekçi Çetin, E. & Kuruüzüm, A. (2011). Çok Kriterli Karar Verme İle Avrupa Birliği Ve Aday Ülkelerin Yaşam Kalitesinin Analizi. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri Ve İstatistik Dergisi*, Sayı:13, 80-94. 10 Ekim 2014 tarihinde <http://eidergisi.istanbul.edu.tr/sayi13/iueis13m5.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Kecman, V. (2001). *Learning and Soft Computing*. London: MIT Press,

Keeney, R.L. (1982). Decision Analysis: An Overview. *Operations Research*, 30(5), 803-838. 14 Eylül 2014 tarihinde <http://web.stanford.edu/class/cee115/wiki/uploads/Main/Schedule/OverviewDA.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Kılıç, A., Aygün, S., Aydın Keskin, G. & Baynal, K. (2014). Çok Kriterli Abc Analizi Problemine Farklı Bir Bakış Açısı: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi -İdeal Çözüme Yakınlığa Göre Tercih Sıralama Tekniği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 179-188. 10 Eylül 2016 tarihinde http://www.journalagent.com/pajes/pdfs/PAJES_20_5_179_188.pdf sayfasından erişilmiştir.

Kıyak, E. & Kahvecioğlu, A. (2003). Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1 (2), 63-72. 05 Ekim 2016 tarihinde <https://endstriorganizasyon.files.wordpress.com/2016/03/10.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. New Jersey: Prentice Hall.

Kumar, D.N. & Raju, K.S. (2010). *Multi Criterion Analysis in Engineering and Management*. New Delhi, India: PHI Learning Pvt. Ltd. 17 Ocak 2017 tarihinde <https://books.google.com.tr/books?id=EnhdTHUvdG4C&pg=PA78&dq=multi+criteria+analysis+engineering+and+management&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwjK7tu9jr3TAhWoIpoKHUAqAigQ6wEIOzAD#v=onepage&q=multi%20criteria%20>

analysis%20engineering%20and%20management&f=false sayfasından erişilmiştir.

Kuruüzüm, A. (1998). *Karar Destek Sistemlerinde Çok Amaçlı Yöntemler*. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Basımevi

Lai, Y.-J., & Hwang, C.-L. (1992). *Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications*. Berlin: Springer-Verlag. 17 Temmuz 2016 tarihinde https://books.google.com.tr/books?id=sAfpCAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Fuzzy+Mathematical+Programming:+Methods+and+Applications.&hl=tr&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Fuzzy%20Mathematical%20Programming%3A%20Methods%20and%20Applications.&f=false sayfasından erişilmiştir.

Lai, Y.J. ve Hwang, C.L. (1994), *Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications*. Berlin: Springer-Verlag.

Lee, K. H. (2005). *First Course On Fuzzy Theory And Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 17 Temmuz 2016 tarihinde <https://books.google.com.tr/books?id=mbMSv8NtuYwC&printsec=frontcover&dq=First+course+on+fuzzy+theory+and+applications&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwjSyraZiPjTAhWIdpoKHeZZB0IQ6AEIJAA#v=onepage&q=First%20course%20on%20fuzzy%20theory%20and%20applications&f=false> sayfasından erişilmiştir.

Lertprapai, S. (2013). Review: Multiple Criteria Decision Making Method with Applications. *International Mathematical Forum*, 8(7), 347-355 12 Eylül 2016 tarihinde <http://www.m-hikari.com/imf/imf-2013/5-8-2013/lertprapaiIMF5-8-2013.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Leung, Y. (1984). Compromise Programming under Fuziness. *Control and Cybernetics*, 3(3), 203-215, 23 Ocak 2017 tarihinde https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwifo92S47rTAhXDhSwKHdjaALYQFghNMAU&url=http%3A%2F%2Fcontrol.ibspan.waw.pl%3A3000%2Fcontents%2Fexport%3Ffilename%3D1984-3-09_leung.pdf&usq=AFQjCNEwDDzTTW9EqFsIMnGPHn6OgQde2Q&sig2=KGLC5YodTjf1a3V60vjbMQ sayfasından erişilmiştir.

Li, Rong-Jun (1990), *Multiple objective Decision Making In Fuzzy Environment*. Basılmamış Doktora Tezi, Kansas State University, Collage of Engineering Departmnet of industrial Engineering, Manhattan KANSAS,USA.

Lu, J., Zhang, G., Ruan, D., Wu, F. (2007). *Multi-Objective Group Decision Making, Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques*. London: Imperial College Pres. 17 Temmuz 2014 tarihinde <http://www.boente.eti.br/boente2012/fuzzy/ebook/ebook-fuzzy-zhang.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley and Sons. 22 Mart 2017 tarihinde [https://books.google.com.tr/books?id=2Zd54x4_2Z8C&printsec=frontcover&dq=GIS+and+Multicriteria+Decision+Analysis,+John+Wiley+and+Sons&hl=tr&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=GIS%20and%20Multicriteria%20Decision%20A](https://books.google.com.tr/books?id=2Zd54x4_2Z8C&printsec=frontcover&dq=GIS+and+Multicriteria+Decision+Analysis,+John+Wiley+and+Sons&hl=tr&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=GIS%20and%20Multicriteria%20Decision%20Analysis%2C%20John%20Wiley%20and%20Sons&f=false) nalysis%2C%20John%20Wiley%20and%20Sons&f=false sayfasından erişilmiştir.

Mateo, J. R. S. C. (2012). *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry*. London: Springer-Verlag. UK, 105 pp. 12 ağustos 2016 tarihinde https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=KXpF6z42HaMC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Multi-Criteria+Analysis+in+The+Renewable+Energy+Industry.&ots=-ggxN2rjM9&sig=WTl6FCCjCdHv4d_KTWvZclXUhDM&redir_esc=y#v=onepage&q=Multi-Criteria%20Analysis%20in%20The%20Renewable%20Energy%20Industry.&f=false sayfasından alınmıştır.

Nirupama and S.P. Simonovic (2002). A Spatial Fuzzy Compromise Approach For Flood Disaster Management. *Water Resources Research Report*, London, Ontario, Canada. 16 Mart 2017 tarihinde <http://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=wrrr> sayfasından erişilmiştir.

Opricovic, S. ve Tzeng, G.-H. (2004). Compromise Solution By MCDM Methods: A Comparative Analysis Of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of*

- Operational Research* 156(2) 445-455 17 Mart 2016 tarihinde <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221703000201> sayfasından erişilmiştir.
- Oruç, K.O. & Yılmaz, G. (2013). , Bulanık 0-1 Tamsayılı Programlama ve Bir Hazır Beton Tesisinde Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakülte Dergisi*, 18(3), 245-262. 14 Temmuz 2016 tarihinde <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/sduibfd/article/viewFile/5000122098/5000112404> sayfasından erişilmiştir.
- Özbek, A. (2014). Yöneticilerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Belirlenmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 24, 209-225, 13 Temmuz 2016 tarihinde <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/yead/article/view/5000169627/5000153089> sayfasından erişilmiştir.
- Özbek, A. (2016). Tedarikçi Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması. *Anadolu üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(1), 85-101. 05 Ekim 2016 tarihinde <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/ausbd/article/view/5000186978/5000164605> sayfasından erişilmiştir.
- Özcan, E.C. & Erol, S. (2013). Türkiye’de Elektrik Üretim Planlaması İçin Çok Amaçlı Bir Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli. *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 41-54. 08 Ağustos 2015 tarihinde <https://encrypted.google.com/?hl=tr#hl=tr&q=T%C3%BCrkiye%E2%80%99de+Elektrik+%C3%9Cretim+Planlamas%C4%B1+%C4%B0%C3%A7in+%C3%87ok+Ama%C3%A7l%C4%B1+Bir+Kar%C4%B1%C5%9F%C4%B1k+Tam+Say%C4%B1l%C4%B1+Do%C4%9Frusal+Programlama+Modeli.> sayfasından erişilmiştir.
- Özdemir, A. İ. & Seçme, N. Y. (2009). İki Aşamalı Stratejik Tedarikçi Seçiminin Bulanık Topsis Yöntemi İle Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(2). 12 Mart 2014 tarihinde http://www.iibfdergi.aku.edu.tr/pdf/11_2/5.pdf sayfasından erişilmiştir.

- Özgüven Tayfun, N. (2015). Perakendecilikte Müşterilerle İletişim Yönteminin Seçimi: Promethee Karar Tekniği ile Bir Uygulama. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2), 23 Temmuz 2016 tarihinde <http://sosbilder.neu.edu.tr/wp-content/uploads/sites/6/2016/04/Nihan-%C3%96ZG%C3%9CVEN-TAYFUN.pdf> sayfasından alınmıştır.
- Özkan, M.M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama*. İstanbul: Ekin.
- Özmen, F. & Yörük, S. (2005). İnsan Kaynakları Yönetimi Çerçevesinde, Okul Yöneticilerin Karar Verme Sürecindeki Etkiliklerine İlişkin Ölçek Geliştirilmesi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(2), 179-198. 03 Ağustos 2016 tarihinde <http://docplayer.biz.tr/8419642-Insan-kaynaklari-yonetimi-cercevesinde-okul-yoneticilerinin-karar-verme-surecindeki-etkiliklerine-iliskin-olcek-gelistirilmesi.html> sayfasından erişilmiştir.
- Öztel, A., Köse, M.S. & Aytekin, İ. (2012). Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının Ölçümü İçin Çok Kriterli Bir Çerçeve: Henkel Örneği. *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 1(4), 32-44. 11 Ekim 2014 tarihinde <http://kutaksam.karabuk.edu.tr/index.php/ilk/article/view/85/64> sayfasından erişilmiştir.
- Pohekar, S.D. & Ramachandran, M. (2004). Application of Multi-Criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning – A Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, Vol:8, 365-381, 1 Ağustos 2016 tarihinde <http://www.uni.edu/apetrov/wind/Fuzzy/Pohekar2003.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Rao, R. V. (2007) *Decision Making in the Manufacturing Environment-Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods*. London: Springer-Verlag. 13 Aralık 2014 tarihinde https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=IahtsEBT0MEC&oi=fnd&pg=PA2&dq=Decision+Making+in+the+Manufacturing+Environment+Using+Graph+Theory+and+Fuzzy+Multiple+Attribute+Decision+Making+Methods&ots=7m22gjoinZ&sig=GunhsISTy86nX7qb4rwLl5Z8wwk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false sayfasından erişilmiştir.

- Sarıkaya, A., Çalukan, E. & Türkbey, O. (2014). Bütünleşik Tedarik Zinciri Ağında Tesis Yeri Seçimi için Bulanık Çok Amaçlı Programlama Modeli. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 150-161. 10 Ekim 2015 tarihinde https://www.journalagent.com/pajes/pdfs/PAJES_20_5_150_161.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Sarucan, A., Atak, M. & Yılmaz, M. *Enerji Talebinin Bulanık Olduğu Durumda Birincil Enerji Kaynaklarının Planlanması*. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi'nde sunulmuş bildiri, Gazi Üniversitesi, Ankara. 14 Temmuz 2016 tarihinde http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/AhmetSarucan.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Sayadi, M.K., Heydari, M., & Shahangahi, K.(2009). Extension of VIKOR Method For Decision Making Problem With İnterval Numbers. *Applied Mathematical Modelling*, 33(5), 2257-2262 11 Eylül 2012 tarihinde <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X08001558> sayfasından erişilmiştir
- Simonovic, S.P. (1997). Risk in Sustainable Water Resources Management. In D. Rasbjerg, N.-E. Boutayeb, A. Gustard, Z.W. Kundzewicz & P.F. Rasmussen (Eds.), *Sustainability of Water Resources Under İncreasing Uncertaint*. (pp. 3-17), Tokyo: IAHS 13 Mart 2017 tarihinde <https://books.google.com.tr/books?id=gPDr7HLdSt4C&pg=PA15&dq=fuzzy+compromise+programming&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwjmu5vgw7fSAhXKWYwKHYxPCJE4ChDoAQgxMAM#v=onepage&q=fuzzy%20compromise%20programming&f=false> sayfasından erişilmiştir.
- Simonovic, S. P. (2002). *A Spatial Fuzzy Compromise Programming for Management of Natural Disasters*. Ontario, Canada:The İnstitute for Cadastrophic Loss Reduction (ICLR). 13 Mart 2017 tarihinde http://0361572.netsolhost.com/images/A_spatial_fuzzy_compromise.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Simonovic, S.P. (2007), Sustainable Floodplain Management and Participatory Planning in the Red River Basin. In A. Castelletti and R. Soncini-Sessa (Eds.), *Topics on System Analysis and Integrated Water Resource Management*. (pp.175-188). The

- Netherlands: Elsevier. 17 Mart 2017 tarihinde https://books.google.com.tr/books?id=pK5_KkGztZ4C&pg=PA182&lpg=PA181&focus=viewport&dq=fuzzy+compromise+programming&hl=tr#v=onepage&q=arieh&f=false sayfasından erişilmiştir.
- Simonovic, S.P. (2009). *Managing Water Resources: Methods and Tools for a Systems Approach*. London: Earthscan. 21 Şubat 2017 tarihinde <http://www.slobodansimonovic.com/waterbook.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Sivanandam S. N. ve Sumathi S., Deepa S. N., (2007). *Introduction To Fuzzy Logic Using Matlab*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 15 Eylül 2016 tarihinde <https://www.slideshare.net/frangkytupamahu/introduction-to-fuzzy-logic-using-mat-lab-sivanandam-sumathi-and-deepa> sayfasından erişilmiştir.
- Soner, S. & Önüt, S. (2006). Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi: Bir ELECTRE-AHP Uygulaması. Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:4, 110-120. 20 Şubat 2014 tarihinde <http://www.eds.yildiz.edu.tr/ArticleContent/Journal/sigma/Volumes/2006/Issues/Regular-4/YTUJENS-2006-24-4.226.pdf> sayfasından alınmıştır.
- Stanujkic, D. and Magdalinovic, N. (2012). A Model For Evaluation E-Commerce Web Sites Based On Fuzzy Compromise Programming. Contemporary issues in business, management and education'2012, Lithuania: Proceedings (pp.532-544). Lithuania. 15 Ocak 2017 tarihinde http://old.konferencijos.vgtu.lt/cbme.vgtu.lt/public_html/index.php/cbme/cbme_2012/paper/viewFile/38/68 sayfasından erişilmiştir.
- Sungur, B. (2008) Bulanık Vardiya Çizelgeleme Problemleri için Tamsayılı Programlama Modeli. *Erciyes Üniversitesi, İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı: 30 211-227. 06 Ekim 2014 tarihinde <http://iibf.erciyes.edu.tr/dergi/sayi30/bsungur.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Şen, Z. (2004a). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri*. İstanbul: Su Vakfı.
- Şen, Z. (2004b). *Fuzzy Logic and System Models in Water Sciences*. İstanbul: Su Vakfı

- T. C. Çevre ve Orman Bakanlığı Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı. (2010). *Türkiye' de Temiz (Sürdürülebilir) Üretim Uygulamalarının Yaygınlaştırılması için Çerçeve Koşulların ve Ar-Ge İhtiyacının Belirlenmesi Projesi Sonuç Raporu*. Ankara: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Yayını. 17 Ağustos 2016 tarihinde <http://www.temizuretim.gov.tr/Files/referansbelgeler/SektorelOnceliklendirmeRaporu.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Turan, K. K., Özari, Ç. & Demir, M. A. E. (2016). 1992-2014 Rusya Ekonomisinin Çok Kriterli Karar Verme Sistemi İle Performans Değerlendirmesi. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi Ve Kültür Dergisi*, 3(35), 57-65. 23 Temmuz 2016 tarihinde <http://www.dergiyayrinti.com/index.php/ayr/article/view/680> sayfasından erişilmiştir.
- Tzeng, G.H. and Huang J.J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. 18 Temmuz 2016 tarihinde https://books.google.com.tr/books?id=_C7n1ar4f8IC&printsec=frontcover&dq=Multiple+Attribute+Decision+Making+Methods+and+applications&hl=tr&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=satisfying&f=false sayfasından erişilmiştir.
- Umarusman, N. & Türkmen, A. (2015). Çok Amaçlı De Nova Programlama Problemlerinde Uzlaşık Çözüm: Uzlaşık Programlama Uygulaması. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 7(1), 49-57. 21 Ağustos 2016 tarihinde http://iibfdergi.aksaray.edu.tr/index.php/asuiibfd/article/view/124/pdf_19 sayfasından erişilmiştir.
- Umarusman N. (2007), *Çok Amaçlı Karar Problemlerinde Duyarlılık Analizi ve Bulanık Mantık İlişkisi: De Novo Programlama Uygulaması*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Umarusman, N., Bezgen, D. & Yavuz, D. (2012). Üretim Süreçlerinde çoklu Amaçlara Bağlı Karar Problemlerinin Çözüm Araştırması: Uzlaşık Programlama Uygulaması. M. Özcan & R.A. Turan (Haz.). 12. Üretim Araştırmaları Sempozyumu: 27-29 Eylül 2012 İzmir: Bildiriler (s.1111-1117). İzmir: Gediz Üniversitesi Yayınları.

- Urfalıoğlu, F. & Genç, T. (2013). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Türkiye'nin Ekonomik Performansının Avrupa Birliği Üye Ülkeleri ile Karşılaştırılması. *Marmara Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 35(2), 329-360. 21 Şubat 2014 tarihinde http://dosya.marmara.edu.tr/ikf/iib-dergi/2013-2/makale_13.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Valls , A. & Torra, V. (2000). Using Classification As An Aggregation Tool In MCDM . Fuzzy Sets And Systems, 115(1), 159-168 02 Ağustos 2016 tarihinde <http://deim.urv.cat/~aida.valls/PDFpapers/FSS00.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Xu, L., Yang, J. B. (2001) *Introduction to Multi-Criteria Decision Making and the Evidential Reasoning Approach*. Manchester School of Management. 25 Eylül 2016 tarihinde http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31563947/Introduction_to_Multi-Criteria_Decision_Making_evidential_reasoning_approach.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1495123921&Signature=nSx7ss1yg8J5M2WPgRwxvVNlBMM%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIntroduction_to_Multi_Criteria_Decision.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Yaralıoğlu, K. (2004). *Uygulama da Karar Destek Yöntemleri*. İzmir: İlkem Ofset.
- Yaralıoğlu, K. ve Umarusman, N. (2010). Çok Amaçlı Doğrusal Programlamadan Sistem Tasarımına: De Novo. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12(4), 61-74. 11 Ekim 2014 tarihinde <http://www.sbe.deu.edu.tr/dergi/cilt12.sayi4/yaral%C4%B1o%C4%9Flu%20ve%20umarusman.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Yıldırım, B.F., (2015). Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Aras Yöntemi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(9), 285-296. 11 Eylül 2015 tarihinde <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/kauibf/article/view/5000110802> sayfasından erişilmiştir.
- Yıldız, A. & Deveci, M. (2013). Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçimi Süreci. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 13(4), 427-436. 27 Temmuz 2015 tarihinde

http://www.onlinedergi.com/makaledosyaları/51/pdf2013_4_2.pdf sayfasından erişilmiştir.

Yılmaz, E. (2005). Amaç Programlama Tekniği Ve Orman Kaynakları Planlamasına Uygulanması Örnekleri. *Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*. 11(1): 113-149. 22 Ekim 2013 tarihinde <http://doa.ogm.gov.tr/Documents/dergiler/doa11/d112.pdf> sayfasından alınmıştır.

Yu, D., Tian, X., Xing, X., & Gao, S. (2016). Signal Timing Optimization Based on Fuzzy Compromise Programming for Isolated Signalized Intersection. *Mathematical Problems in Engineering*, Volume: 2016. 17 Ocak 2017 tarihinde <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2016/1682394/> sayfasından erişilmiştir.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.

Zavadskas, E. K., Turskis, Z. & Kildiene, S. (2014). State Of Art Surveys Of Overviews On MCDM/MADM Methods. *Technological And Economic Development Of Economy*. 20(1) 165-179. 26 Temmuz 2016 tarihinde <http://iranarze.ir/wp-content/uploads/2015/04/overviews-on-MCDM-MADM-methods.pdf> sayfasından erişilmiştir.

Zimmermann, H. J. (1996). *Fuzzy Sets Theory and Its Applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.