

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YATIRIM ANALİZİNDE BULANIK MODEL ÖNERİLERİ

DOKTORA TEZİ

İrem UÇAL SARI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YATIRIM ANALİZİNDE BULANIK MODEL ÖNERİLERİ

DOKTORA TEZİ

**İrem UÇAL SARI
(507082104)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN

TEMMUZ 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507082104 numaralı Doktora Öğrencisi **İrem UÇAL SARI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“YATIRIM ANALİZİNDE BULANIK MODEL ÖNERİLERİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

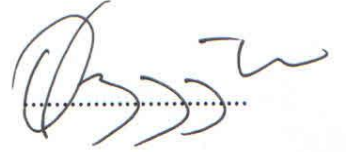
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Alp ÜSTÜNDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Orhan FEYZİOĞLU
Galatasaray Üniversitesi



Y. Doç. Dr. A. Çağrı TOLGA
Galatasaray Üniversitesi



Y. Doç. Dr. Esra BAŞ
İstanbul Teknik Üniversitesi



Teslim Tarihi : 4 Haziran 2012
Savunma Tarihi : 16 Temmuz 2012

Aileme...

ÖNSÖZ

Bu çalışmada beni her zaman yüreklendiren ve destek veren tez danışmanım Prof. Dr. Cengiz Kahraman'a teşekkür ederim.

Ayrıca, benim bu günlere gelebilmemde çok büyük emek sahibi olan anne ve babama, hiçbir zaman desteğini ve yardımını esirgemeyen sevgili eşim Serkan'a ve bu süreçte teze doğrudan ve dolaylı olarak katkıda bulunan ve beni destekleyen herkese sonsuz teşekkürler.

31.07.2012

İrem UÇAL SARI

Çevre Yük. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KLASİK YATIRIM ANALİZ TEKNİKLERİ.....	5
3. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER TEORİSİ.....	11
3.2 Bulanık Kümelerde α -Kesimi.....	15
3.3 Genelleme Kuralı	16
3.4 Bulanık Sayılar ve İşlemler	17
3.4.1 Sıradan bulanık sayılar	17
3.4.1.1 Aralık tipi bulanık sayılar.....	18
3.4.1.2 <i>LR</i> tipi bulanık sayılar	18
3.4.1.3 Üçgen bulanık sayılar.....	20
3.4.1.4 Yamuk bulanık sayılar	22
3.4.1.5 Gauss bulanık sayılar	23
3.4.1.6 Üstel bulanık sayılar.....	24
3.4.1.7 Durulaştırma yöntemleri	25
3.4.2 Aralık tip 2 bulanık sayılar	30
3.4.2.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar	31
3.4.2.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık sayılar	33
3.4.2.3 Durulaştırma yöntemleri	36
3.5 Olabilirlik Kavramı	38
3.5.1 Olasılık teorisi	39
3.5.2 Olabilirlik teorisi	39
3.5.3 Olabilirlik ölçütleri	40
3.5.3.1 Olabilirlik ölçütü	40

3.5.3.2 Gereklilik ölçütü.....	41
3.5.4 Olabilirlik ve olasılık karşılaştırması.....	43
3.5.5 Güvenilirlik teorisi.....	45
3.6 Bulanık Sayıların Sıralanması	45
3.6.1 Olabilirlik ölçütlerinin sıralamada kullanımı.....	45
3.6.2 Ağırlıklı sıralama yöntemi	49
3.6.3 Üç kriter sıralama yöntemi	49
3.7 Bulanık Sayıların Varyansı.....	49
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	51
5. BULANIK YATIRIM ANALİZİ TEKNİKLERİ	59
5.1 Bulanık Şimdiki Değer Analizi	59
5.2 Bulanık Gelecek Değer Analizi.....	62
5.3 Bulanık Eşdeğer Düzgün Ödeme Nakit Akışı Analizi	65
5.4 Bulanık Kazanç Maliyet Oranı Analizi	66
5.5 Bulanık Geri Ödeme Süresi Analizi	71
5.6 Bulanık Verim Oranı Analizi	76
5.7 Mellin Dönüşümü Esaslı Yaklaşımlar	78
5.7.1 Mellin dönüşümü esaslı bulanık şimdiki değer analizi.....	79
5.7.2 Mellin dönüşümü esaslı bulanık gelecek değer analizi	80
6. YATIRIM ANALİZLERİNE YENİ BULANIK YAKLAŞIMLAR.....	83
6.1 Yatırım Analizi Parametrelerinin Tahmini.....	83
6.1.1 Bulanık zaman serileri esaslı yaklaşım.....	83
6.1.1.1 Bulanık zaman serileri.....	84
6.1.1.2 Bulanık zaman serileri ile talep tahmini modeli.....	85
6.1.1.3 Bulanık zaman serileri ile mevsimsel talep tahmini modeli	91
6.1.2 Bulanık regresyon esaslı yaklaşım.....	99
6.2 Muhasebe Esaslı Yaklaşımlar.....	103
6.2.1 Bulanık kurtarma geri dönüş süresi yöntemi	103
6.2.2 Bulanık basit getiri oranı	106
6.3 Bulanık Simülasyon Esaslı Yaklaşımlar.....	108
6.3.1 Monte Carlo simülasyon yöntemi.....	108
6.3.2 Bulanık iç verim oranı analizi.....	109
6.4 Duyarlılık Yaklaşımları	110
6.4.1 Yatırım projelerinin değerini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi.....	110
6.4.1.1 Net şimdiki değer analizinde faktörlerin değerlendirilmesi	111

6.4.1.2 Bulanık net şimdiki değer analizinde faktörlerin değerlendirilmesi	113
6.4.2 Global duyarlılık yaklaşımı	117
6.4.3 Bulanık net şimdiki değer analizi için bulanık global duyarlılık analizi .	118
6.5 Aralık Tip 2 Bulanık Yatırım Analizi Yöntemleri	120
6.5.1 Aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi	120
6.5.1.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi	120
6.5.1.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi	123
6.5.2 Aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi	127
6.5.2.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi	127
6.5.2.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi	129
6.5.3 Aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi	132
6.5.3.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi.....	132
6.5.3.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi	133
6.5.4 Aralık tip 2 bulanık basit getiri oranı	135
6.5.4.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık basit getiri oranı analizi	135
6.5.4.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık basit getiri oranı analizi.....	136
7. UYGULAMA	139
7.1 Projeye Ait Verilerin Sıradan Üçgen Bulanık Sayılarla Belirlenmesi Durumu	139
7.2 Projeye Ait Verilerin Üçgen Aralık Tip 2 Bulanık Sayılarla Belirlenmesi Durumu.....	149
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	157
KAYNAKLAR	161
ÖZGEÇMİŞ.....	171

KISALTMALAR

AARR	:Basit Getiri Oranı
$\widetilde{AARR}$	:Bulanık Basit Getiri Oran
$\widetilde{\widetilde{AARR}}$	:Tip 2 Bulanık Basit Getiri Oranı
B/C	:Kazanç Maliyet Oranı
$\widetilde{B}/\widetilde{C}$	:Bulanık Kazanç Maliyet Oranı
COA	:Alan Merkezi
COS	:Toplamların Merkezi
EDÖD	:Eşdeğer Düzgün Ödeme Değeri
$\widetilde{EDÖD}$	:Bulanık Eşdeğer Düzgün Ödeme Değeri
$\widetilde{\widetilde{EDÖD}}$	:Tip 2 Bulanık Eşdeğer Düzgün Ödeme Değeri
EDYK	:Eşdeğer Düzgün Yıllık Kazanç
EDYM	:Eşdeğer Düzgün Yıllık Maliyet
GD	:Gelecek Değer
$\widetilde{GD}$	:Bulanık Gelecek Değer
$\widetilde{\widetilde{GD}}$	:Tip 2 Bulanık Gelecek Değer
GI	:Global Önem
HM	:Yükseklik Yöntemi
MOM	:En Büyüklerin Ortalaması
NŞD	:Net Şimdiki Değer
$\widetilde{NŞD}$	:Bulanık Net Şimdiki Değer
$\widetilde{\widetilde{NŞD}}$	:Tip 2 Bulanık Net Şimdiki Değer
PEAR	:Pearson Korelasyon Katsayısı
ŞD	:Şimdiki Değer
$\widetilde{ŞD}$	:Bulanık Şimdiki Değer
$\widetilde{\widetilde{ŞD}}$	:Tip 2 Bulanık Şimdiki Değer
TI	:Tip İndirgeme
VO	:Verim Oranı
$\widetilde{VO}$	:Bulanık Verim Oranı
WA	:Ağırlık Merkezi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları.	16
Çizelge 3.2 : $y = f(x)$ için üyelik fonksiyonu.....	16
Çizelge 3.3 : Belirlenen çiftler için üyelik dereceleri.	17
Çizelge 3.4 : Öğrenci notları için olabilirlik değerleri.....	42
Çizelge 3.5 : Olasılık ve olabilirlik kavramlarının matematiksel karşılaştırması (Klir ve Yuan, 1995).	44
Çizelge 3.6 : Bulanık sayıların indis değerlerine göre konumları (Dubois ve Prade, 1983).....	48
Çizelge 4.1 : Literatür taraması sonucu yayın sınıflandırması.	52
Çizelge 5.1 : Alternatife ait nakit akışları.....	60
Çizelge 5.2 : Alternatife ait nakit akışları.....	61
Çizelge 5.3 : Alternatiflere ait üçgen bulanık nakit akışları.....	68
Çizelge 5.4 : Alternatiflere ait yamuk bulanık nakit akışları.....	69
Çizelge 5.5 : Yıllara ait olabilirlik ve gereklilik ölçütleri değerleri.	75
Çizelge 5.6 : Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının Mellin dönüşüm özellikleri (Park, 1986).....	78
Çizelge 5.7 : Çarpma ve bölme işlemleri için Mellin dönüşümleri (Park, 1986).	79
Çizelge 5.8 : Örnek olasılık fonksiyonları için Mellin dönüşümleri (Yoon, 2008)...	79
Çizelge 5.9 : Alternatiflerin nakit akışları.....	81
Çizelge 5.10 : Alternatifler için hesaplamalar.....	81
Çizelge 6.1 : Kremalı bisküvi 2009-2010 satış verileri.....	87
Çizelge 6.2 : Tahminde kullanılan dilsel ifadeler.....	88
Çizelge 6.3 : Geçmiş verinin bulanıklaştırılması.....	90
Çizelge 6.4 : Talep tahminleri.....	91
Çizelge 6.5 : Marketlere ait geçmiş elektrik tüketim miktarları.....	95
Çizelge 6.6 : Mevsimsellikten arındırılmış veriler.....	96
Çizelge 6.7 : Dilsel değişkenler.....	97
Çizelge 6.8 : Market 1'e ait bulanıklaştırılmış veriler.....	98
Çizelge 6.9 : Mevsimsellik içermeyen enerji tüketim tahminleri.....	98

Çizelge 6.10 : Marketlere ait enerji tüketim tahminleri.	98
Çizelge 6.11 : Geçmiş veriler.	101
Çizelge 6.12 : Tahmin edilen faiz oranları.	102
Çizelge 6.13 : Hata hesaplamaları.	102
Çizelge 6.14 : Olabilirlik ve gereklilik indisleri.	105
Çizelge 6.15 : Projeye ait veriler.	107
Çizelge 6.16 : Projenin amortisman ödemeleri ve amortisman ve vergi sonrası karı.	107
Çizelge 6.17 : Makine gereklilikleri.	114
Çizelge 6.18 : Yeni ürüne ait maliyet ve kazançlar.	114
Çizelge 6.19 : X makinesi için faktörlerin yıllık nakit akışları ve şimdiki değerleri.	115
Çizelge 6.20 : Y makinesi için faktörlerin yıllık nakit akışları ve şimdiki değerleri.	116
Çizelge 6.21 : Makinelerin bulanık net şimdiki değerleri için olabilirlik ve gereklilik indisleri.	116
Çizelge 6.22 : X makinesine ait faktörlerin toplam nakit akışlarının GI ve öncelik değerleri.	120
Çizelge 6.23 : Alternatife ait nakit akışları.	122
Çizelge 6.24 : Alternatife ait nakit akışları.	125
Çizelge 7.1 : Projeye ait veriler.	139
Çizelge 7.2 : Projenin amortisman ödemeleri ve amortisman ve vergi sonrası karı.	140
Çizelge 7.3 : Her bir müşteri için satış değerleri.	141
Çizelge 7.4 : Her bir müşteri için amortisman öncesi kar.	141
Çizelge 7.5 : Projenin net yıllık nakit akışları.	143
Çizelge 7.6 : Her bir müşteriye ait nakit akışları.	144
Çizelge 7.7 : Müşterilere ait nakit akışlarının şimdiki değerleri.	145
Çizelge 7.8 : Müşterilerin sağladığı nakit akışlarının şimdiki değerlerinin sıralamalarına ait olabilirlik ve gereklilik indisleri.	146
Çizelge 7.9 : Faktörlerin nakit akışlarının GI ve öncelik değerleri.	147
Çizelge 7.10 : Faktörlerin nakit akışlarının yıllara ait GI ve öncelik değerleri.	148
Çizelge 7.11 : Projeye ait veriler.	149
Çizelge 7.12 : Projenin amortisman ödemeleri ve amortisman ve vergi sonrası karı.	150
Çizelge 7.12 : Her bir müşteri için satış değerleri.	151
Çizelge 7.14 : Her bir müşteri için amortisman öncesi kar.	152
Çizelge 7.15 : Projenin net yıllık nakit akışları.	152

Çizelge 7.16 : Her bir müşteriye ait nakit akışları.	153
Çizelge 7.17 : Müşterilerin sağladığı nakit akışlarının şimdiki değerlerinin tip indirgeme indisleri.....	154
Çizelge 7.18 : Müşterilerin sağladığı nakit akışlarının klasik şimdiki eşdeğerleri..	154

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Sistemin karmaşıklık derecesine karşı modeldeki kesinlik (Ross, 1995).	12
Şekil 3.2 : LR tipi M bulanık sayının üyelik fonksiyonu.	19
Şekil 3.3 : Üçgen bulanık sayı üyelik fonksiyonu.	21
Şekil 3.4 : Yamuk bulanık sayı üyelik fonksiyonu.	22
Şekil 3.5 : Gauss bulanık sayı üyelik fonksiyonu.	24
Şekil 3.6 : Üstel bulanık sayı üyelik fonksiyonu.	25
Şekil 3.7 : Merkezi durulaştırma yöntemi.	26
Şekil 3.8 : Ağırlıklı ortalama durulaştırma yöntemi.	27
Şekil 3.9 : Yüksekliğe bağlı durulaştırma yöntemleri.	28
Şekil 3.10 : Toplamların merkezi durulaştırma yöntemi.	29
Şekil 3.11 : Üçgen aralık tip 2 bulanık sayının üyelik fonksiyonu.	32
Şekil 3.12 : Yamuk aralık tip 2 bulanık sayının üyelik fonksiyonu.	34
Şekil 4.1 : Makalelerin yayımlandıkları yıllara göre sınıflandırılması.	51
Şekil 5.1 : ΔC sayısının ayrıştırılması.	70
Şekil 5.2 : ΔB sayısının ayrıştırılması.	70

YATIRIM ANALİZİNDE BULANIK MODEL ÖNERİLERİ

ÖZET

Günümüzde küreselleşmenin getirdiği sert rekabet koşulları nedeniyle yatırımcıların tüm teknolojik gelişmeleri anında takip etmeleri, olası gelişmeleri önceden öngörmeleri ve gerekli yatırımları zamanında gerçekleştirerek teknolojinin gerisinde kalmamaları neredeyse bir zorunluluk haline gelmiştir. Gelecek durumu önceden doğru tahmin ederek uygun yatırım kararlarının alınması, firmanın rakipleri arasında öne çıkmasını ve ayakta kalmasını sağlamaktadır. Firmaları doğrudan etkileyen yasal, politik, sosyokültürel ve ekonomik gelişmeler sonucunda firmanın çevresi dengesizleşmekte ve bunun sonucu olarak karar verme aşamalarında mevcut belirsizliğin göz önüne alındığı analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Özellikle belirsiz koşullar altında, analizleri geleneksel yöntemlerle yapmak gerçeğe uzak sonuçlar doğurabilmekte ve yatırımcıların yanlış yönlendirmelerine neden olabilmektedir. Bu nedenle yatırım analizlerinde belirsizliği göz önünde bulunduran yöntemler giderek daha çok tercih edilmektedir. Günümüzde mevcut belirsizliği matematiksel modellemelere dâhil etmek için bulanık mantık ve araçlarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Özellikle yatırım kararları gibi çok yönlü çevresel etmenlerden etkilenen analizlerde bulanık mantık araçları belirsizliği en küçüklediğinden gerçeğe oldukça yakın sonuçlar alınmasını sağlamaktadır.

1965’de ilk defa L. A. Zadeh tarafından tanıtılan bulanık mantık belirsizlik kümesini modele en iyi adapte eden formdur. Belirsizlik ve bulanıklığın sayısal olarak nasıl ifade edileceği ile alakalı olan bulanık küme teorisi, gerçek hayat problemlerinin modellenmesinde karar vericiye deterministik ve olasılıksal matematiksel araçlara ek olarak başka bir araç önerir. Bulanık küme teorisinde üyelik fonksiyonları kullanılarak dilsel ifadelerin sayısallaştırılması mümkün olmaktadır. Kullanılan üyelik fonksiyonlarının bulanıklık derecesine göre bulanık sayılar sınıflandırılır. Yatırım analizinde belirsizlikleri analize en iyi şekilde yansıtabilmek amacıyla, bulanık küme teorisi ilk olarak 1985’te T. L. Ward tarafından yatırım analizlerinde kullanılmıştır.

Çalışmada, gerçek hayatta karşılaşılan yatırım analizi problemlerine uygun çözümler geliştirmek amaçlanmıştır. Yapılan inceleme ve araştırmalar sonucunda, belirsizliğin oldukça fazla olduğu yatırım analizi problemleri çalışma konusu olarak belirlenmiş ve yatırım analizi problemlerinde yer alan belirsizlikleri modelleyebilmek için bulanık mantık ve bulanık küme teorisinden faydalanılmıştır. Mevcut literatürde bulunan bulanık yatırım analizi yöntemlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi sonucu yatırım analizinde ihtiyaç duyulan yeni modeller belirlenmiştir. Çalışmada yatırım analizi parametrelerinin tahmini için bulanık zaman serileri ve bulanık regresyon temelli iki model önerilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında ilk defa bulanık kurtarma geri dönüş süresi ve bulanık basit getiri oranı analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Çalışmada yatırım analizi parametrelerinden iç verim oranının değeri bulanık Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Yatırım

analizinde kullanılan duyarlılık analiz yöntemlerine alternatif olarak iki yeni duyarlılık modeli geliştirilmiş ve gerçek bir yatırım projesine uygulanmıştır. Literatür taramasında tespit edilen diğer bir eksiklik olan bulanık yatırım analizi yöntemlerinde bulanık ortamlarda belirsizliği ifade etmek için sadece sıradan bulanık sayıların kullanılması, belirsizliği daha iyi ifade ettiği bilinen tip 2 bulanık sayılar kullanılarak değerlendirilen parametreler için bulanık yatırım analizi yöntemlerinin geliştirilmesi ile giderilmiştir.

Yapılan uygulama çalışması sonucunda önerilen yatırım analizi modellerinin uygulanabilirliği ve geçerliliği test edilmiş ve yöntemler arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Mevcut belirsizliğin, bulanık sayıya ait bulanık üyelik fonksiyonları ile sıradan üyelik fonksiyonlarına göre daha iyi temsil edildiği görülmüştür. Bulanık yatırım analizinde kullanılan bulanık sayının üyelik fonksiyonunun derecesinin yatırım sonuçlarını değiştirebildiği tespit edilmiştir.

DEVELOPMENT OF FUZZY MODELS IN INVESTMENT ANALYSIS

SUMMARY

Nowadays, investors should follow all technological developments and perform the necessary investments on time due to the competitive conditions as a result of globalization. Making the right investment decisions by predicting the future conditions correctly is one of the most critical issues which determines the status of the company among its competitors and sometimes ensures the survival of the company in this competitive environment. Usually investments on the projects that maximize the profits are chosen to be invested by the firms according to their primary cause of existence which is profitability. For this reason, economic investment analysis methods are used widely.

Due to legal, political, sociocultural and economic developments, the environment that directly affects the firms becomes unbalanced and the uncertainty in forecasting is increased. To avoid the effect of uncertainty in decision making stages, the analysis methods that take the current uncertainty into account have to be used in modeling. Especially under uncertain conditions, the analysis using conventional methods could result in inaccurate outcomes and mislead the investors. The analysis methods which consider the uncertainty are used progressively to avoid investing in wrong investment alternatives by decision makers. However, the representation of the uncertainty by one estimation causes lack of information, in deterministic techniques, just one of the estimations of a parameter is considered. On the other hand, in probabilistic approaches which are widely used on analyzing investments, the models can be inadequate if collection of the previous data is impossible. Nowadays, using fuzzy logic to count the uncertainty in the mathematical models becomes widespread.

Fuzzy logic and its tools have been widely used to incorporate current uncertainty into the mathematical models. Closer results to reality have been provided by fuzzy logic and its tools in decision analysis in particular investment analysis which is affected by multidirectional environmental factors. Fuzzy logic which is introduced by L. A. Zadeh in 1965 is the most appropriate form in adapting all uncertainty sets to the model. The fuzzy set theory which shows the way to express uncertainty and fuzziness numerically, reaches more realistic results in modeling of real world problems than the methods based on deterministic and probabilistic mathematical tools especially in the absence of data available. It is possible to digitize the linguistic expressions in the fuzzy set theory using membership functions. T. L. Wang used the fuzzy set theory in investment analysis in 1985 for the first time to consider the uncertainty in the analysis.

In this study, it is aimed to develop applicable models related to solutions of real life investment problems. As a result of the detailed survey and research, the investment analysis problems which have a lot of uncertainty are determined as the subject of

the study. Fuzzy logic and fuzzy set theory are employed to model the uncertainty in investment analysis problems.

As a result of the examination and evaluation of the existing fuzzy investment analysis methods in the literature, the required new models are determined. It is found that the investment analysis methods which take both cash flows and cost and revenues into account are required to evaluate the projects when revenues and costs are not the payments of the given period. Also the project evaluation methods are required when the investment parameters are determined by using type 2 fuzzy numbers.

In this study, two forecasting methods are proposed based on fuzzy time series and fuzzy seasonal time series to estimate the investment parameters. Fuzzy regression analysis is applied to estimate the interest rate depending on past interest rate data and expectations of inflation.

Fuzzy bailout payback period and fuzzy accrual accounting rate of return analyses are developed in this study for the first time. Fuzzy bailout payback period method takes into account the effects of the project being canceled. Companies which are fighting to survive will look in the first place at the fuzzy bailout payback period and will choose a short threshold for it. Companies which are in a good situation may take the fuzzy accrual accounting rate of return value as the basic method, as they can permit themselves to wait for cash benefits and a high profit shown in the financial statements attracts investors.

Fuzzy Monte Carlo simulation method is used to determine the value of the fuzzy internal rate of return which is one of the investment analysis parameters hardly found by classical approaches. Two new sensitivity analysis models are developed as alternatives to existing sensitivity analysis methods. In the first sensitivity analysis model, the factors influencing fuzzy net present value of the project are defined as different cash flows and their fuzzy net present values are compared to find which factor has the most influence on the projects fuzzy net present value. In the second model fuzzy global importance values are determined to find which factor has the most influence on the projects fuzzy net present value.

In the literature review, it is found that the uncertainty in investment analysis is expressed simply using ordinary fuzzy numbers, whereas type 2 fuzzy numbers are known to express uncertainty better. In this study type 2 fuzzy investment analysis methods are generated for the first time. Type 2 fuzzy net present value analysis, type 2 fuzzy net future value analysis, type 2 fuzzy equivalent uniform annual value analysis and type 2 fuzzy accrual accounting rate of return analysis formulas are determined both for triangular and trapezoidal interval type 2 fuzzy numbers.

As a result of the implementation of the applicability and validity of the proposed fuzzy investment analysis methods have been tested and the relationships among the models have been presented. It is found that the current uncertainty is presented better using type 2 fuzzy membership functions than the ordinary membership functions. It is identified that the shape of membership functions of fuzzy numbers which is used in fuzzy investment analysis could change the results.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi incelendiğinde yaşanan en büyük gelişmelerin son yüzyıl içerisinde gerçekleştiği ve her bir gelişmenin bir başka yeniliği tetiklediği görülmektedir. Özellikle teknolojik gelişmelerin ortaya çıkış süreleri arasındaki fark çok hızlı bir ivme ile azalmaktadır. Bu durum gelişmelere ayak uydurmayı her alanda zorlaştırmaktadır.

Küreselleşmenin getirdiği sert rekabet koşulları nedeniyle yatırımcıların tüm teknolojik gelişmeleri anında takip etmeleri ve olası gelişmeleri önceden öngörmeleri gerekmektedir. Küreselleşme aynı zamanda piyasa dengesizliklerini de beraberinde getirmiştir. Piyasada meydana gelebilecek dalgalanmalar eskiden aylar öncesinden tahmin edilip gerekli önlemler alınabilirken, günümüzde ani piyasa dalgalanmalarını önceden tahmin etmek neredeyse imkânsızdır.

Rekabetçi ortamda firmaların öne çıkabilmelerindeki en önemli etkenlerden biri doğru zamanda doğru yatırım kararlarını verebilmeleridir. Gelecek durumu önceden doğru tahmin ederek uygun yatırım kararlarının alınması, firmanın rakipleri arasında öne çıkmasını ve ayakta kalmasını sağlamaktadır. Firmaları doğrudan etkileyen yasal, politik, sosyokültürel ve ekonomik gelişmeler sonucunda firmanın çevresi dengesizleşmekte ve bunun sonucu olarak belirsizliğin etkilerinden kaçınmak için karar verme aşamalarında mevcut belirsizliğin göz önüne alındığı analiz yöntemlerinin kullanılması tercih edilmektedir.

Yatırım kararları firmaların pazardaki yerlerini doğrudan etkilediğinden, yanlış yatırım kararları sonucunda firmalar pazardan çekilmek durumunda bile kalabilmektedir. Özellikle belirsiz koşullar altında, analizleri geleneksel yöntemlerle yapmak gerçeğe uzak sonuçlar doğurabilmekte ve yatırımcıların yanlış yönlendirmelerine neden olabilmektedir. Bu nedenle yatırım analizlerinde belirsizliği göz önünde bulunduran yöntemler giderek daha çok kullanılmaktadır.

Deterministik yöntemlerde her bir parametrenin tek bir tahmin değeri göz önüne alınmaktadır. Ancak tek bir tahmin değeri ile geleceğin belirsizliğinin temsil edilmesi

bilgi eksikliğine ve yanlış yönlendirmelere neden olabilmektedir. Geniş kullanım alanına sahip olan olasılık modellerinde ise verilerin toplanabilirliği açısından sıkıntılar oluşabilmekte, veri kısıdı söz konusu olduğunda modeller yetersiz kalabilmektedir.

Günümüzde mevcut belirsizliği matematiksel modellemelere dâhil etmek için bulanık mantık ve araçlarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Özellikle yatırım kararları gibi çok yönlü çevresel etmenlerden etkilenen analizlerde bulanık mantık araçları belirsizliği en küçüklediğinden gerçeğe oldukça yakın sonuçlar alınmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı; gerçek hayatta karşılaşılan yatırım analizi problemlerine uygulanabilecek uygun çözümler geliştirmektir. Çalışma kapsamında, öncelikle yatırım analizlerinde karşılaşılan belirsizliklerin en uygun şekilde modellenebilmesi için kullanılan yöntemler araştırılmıştır. Yapılan inceleme ve araştırmalar sonucunda, belirsizliğin oldukça fazla olduğu yatırım analizi problemleri çalışma konusu olarak belirlenmiştir. Yatırım analizi problemlerinde yer alan belirsizlikleri modelleyebilmek için insanın düşünce ve karar verme mekanizmasını yansıtarak gerçek hayatta karşılaşılan belirsizlik içeren problemlerin çözümünde gerçeğe daha yakın sonuç veren bulanık mantık ve bulanık küme teorisinden faydalanılmıştır. Literatür araştırmasıyla mevcut yatırım analizi tekniklerinin eksik yönleri belirlenmiş ve bu eksiklikleri gidermek için yeni modeller önerilmiştir. Ayrıca belirsizliğin tip 1 bulanık sayılarla ifade edilemediği durumların modellenebilmesi için mevcut yöntemler aralık tip-2 bulanık sayılar kullanılarak genişletilmiştir.

Önerilen yatırım analizi modellerin uygulanabilirliğini ve geçerliliğini test etmek için bu modeller öncelikle sayısal örnekler üzerinde denenmiş ve daha sonra bir yatırım analizi probleminin çözümüne uygulanarak yöntemler arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

Çalışmanın ilerleyen bölümleri şu şekildedir; ikinci bölümde yatırım analizi ile ilgili tanımlar ve temel yatırım analizi yöntemleri anlatılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde belirsizliğin sayısal olarak ifade edilmesinde kullanılan bulanık mantık ve bulanık kümeler teorisi hakkında temel bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde bulanık yatırım analizleri ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Mevcut yatırım analizi yöntemlerine göre çalışmalar sınıflandırılmış ve özetlenmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde mevcut bulanık yatırım analizi yöntemleri olan bulanık şimdiki değer analizi, bulanık gelecek değer analizi, bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi, bulanık kazanç maliyet oranı analizi, bulanık geri ödeme süresi analizi ve bulanık verim oranı analizi örneklerle incelenmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde literatür taramasında eksikliği farkedilen modeller geliştirilmiştir. Yatırım analizi parametrelerinin tahmininde, mevsimsellik içeren verilerin incelenebilmesi için bulanık mevsimsel zaman serileri analizi önerilmiş, ayrıca bulanık regresyon kullanılarak bulanık faiz oranı eşitliği geliştirilmiştir. Belirsizliğin tip 1 bulanık sayılarla ifade edilemediği durumları modelleyebilmek amacıyla mevcut modeller aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak genişletilmiştir. Muhaasebe esaslı bulanık kurtarma geri dönüş süresi ve bulanık basit getiri oranı yöntemleri geliştirilmiştir. Bulanık iç verim oranının hesaplanmasında yaşanan zorlukların önüne geçebilmek için bulanık simülasyon yöntemlerinin kullanımı önerilmiştir. Yine bu bölümde iki yeni bulanık duyarlılık analizi modeli geliştirilmiştir. Ayrıca aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi, aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi, aralık tip 2 eşdeğer düzgün ödeme analizi ve aralık tip 2 bulanık basit getiri oranı yöntemleri geliştirilmiştir.

Çalışmanın yedinci bölümünde önerilen modeller bir yatırım analizi problemine uygulanmıştır. Yatırım projesi hem sıradan bulanık sayılarla hem de üçgen aralık tip 2 bulanık sayılarla değerlendirilmiş, modellerden alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde yapılan çalışma genel olarak değerlendirilerek sonuçları sunulmuş ve gelecek çalışmalara yönelik öneriler verilmiştir.

2. KLASİK YATIRIM ANALİZ TEKNİKLERİ

Yatırım, kelime anlamıyla gelir elde etmek amacıyla belirli bir kaynağın ya da değer kullanılmasıdır. Yatırım analizi yöntemleri bir yatırım projesinin gelir getirip getirmediğini sınamak veya birden fazla alternatif yatırım projesinden hangisinin en fazla gelir getirdiğini belirlemek amacıyla kullanılır. Yatırım projesinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan en uygun analiz yönteminin seçilmesinde, içinde bulunan karar ortamı etkili olmaktadır. Yatırım analizlerinin gerçekleştirildiği karar ortamları belirlilik ortamı, risk ortamı, belirsizlik ortamı ve bulanık ortam olarak dörde ayrılabilir.

Karar vericilerin her bir alternatif stratejinin sonucunu kesin olarak bildiği karar ortamı belirlilik ortamıdır. Belirlilik ortamında karar verilirken önce her alternatif stratejinin sonuçları hesaplanır ve en yüksek getiriye sağlayan strateji tercih edilir. Şimdiki değer analizi, yıllık nakit akışı analizi, kazanç maliyet oranı analizi ve iç verim oranı analizi belirlilik ortamında en sık kullanılan yatırım analizi yöntemleridir.

Şimdiki değer analizi daha çok gelecekteki para, alacak ve borçların şimdiki değerini belirlemek için kullanılır. Eğer gelecekteki gelirler ve giderler bilinirse, uygun bir faiz oranı kullanılarak bir malın şimdiki değeri hesaplanabilir. I ilk yatırım maliyeti olmak üzere, j dönem sonra yapılacak ödemelerin (F_j), i faiz oranı altında şimdiki değeri ($\$D$) Denklem (2.1)'de, her yıl eşit miktarlarda ödenen veya taahhüt edilen A değerindeki seri paraların şimdiki değeri ise Denklem (2.2)'de verilmektedir (Tolga ve Kahraman, 1994):

$$\$D = -I + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j} \quad (2.1)$$

$$\$D = -I + A \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n i} \quad (2.2)$$

Şimdiki değer analizlerinde, analiz dönemi ile yatırım alternatifinin faydalı ömrü farklı olduğunda, alternatifin analiz dönemi sonundaki hurda değeri hesaba katılır. H analiz dönemi sonunda yatırım alternatifinin hurda değerini ifade etmek üzere, analiz

döneminin alternatifin faydalı ömründen farklı olması durumunda Denklem (2.3) kullanılır (Tolga ve Kahraman, 1994):

$$\$D = -I + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j} + \frac{H}{(1+i)^n} \quad (2.3)$$

Yatırım alternatiflerinin yararlı ömürlerinin farklı olması durumunda alternatiflerin yararlı ömürlerinin en küçük ortak katları, analiz dönemi olarak alınır.

Özellikle altyapı yatırımları gibi bazı devlet yatırımlarında karşılaşılan analiz döneminin sonsuz olması durumunda maliyetlerin şimdiki değer analizi sonsuz analiz dönemi için yapılır ve bu maliyete indirgenmiş maliyet denir. İndirgenmiş maliyet, servis veya diğer gerekler için kullanılan para giderlerini oluşturan sermayenin şimdiki değeridir. Sonsuz dönem için, her yıl eşit miktarlarda ödenen veya taahhüt edilen A değerindeki seri paraların şimdiki değeri Denklem (2.4)'te verilmektedir (Tolga ve Kahraman, 1994):

$$\$D = \frac{A}{i} \quad (2.4)$$

Yıllık nakit akışı analizinde, seçenekler yıllık eşdeğer nakit akışlarına dayanarak karşılaştırılır. Özellikle analiz süreleri farklı alternatiflerin karşılaştırılmasında tercih edilen bir yöntemdir. Eşdeğer düzgün ödeme değeri ($EDÖD$), H ; yatırımın n dönem sonundaki hurda değeri, I ilk yatırım maliyeti ve A yatırımın düzgün ödemesi olmak üzere Denklem (2.5) ile hesaplanır (Tolga ve Kahraman, 1994):

$$EDÖD = -I \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} + A + H \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (2.5)$$

Kazanç maliyet oranı analizi yatırımın getirilerinin şimdiki değeri ile yatırımın maliyetlerinin şimdiki değerinin oranını inceler. Kazanç maliyet oranı analizinde yıllık kazançlar ve yıllık maliyetler de kullanılabilir. $\$D_K$; kazançların şimdiki değerini, $\$D_M$; maliyetlerin şimdiki değerini, $EDYK$; eşdeğer düzgün yıllık kazancı ve $EDYM$; eşdeğer düzgün yıllık maliyeti ifade etmek üzere kazanç maliyet oranları Denklem (2.6) ve (2.7)'de verilmektedir. Kazanç maliyet oranı 1'den büyük olduğunda yatırım alternatifi karlıdır (Tolga ve Kahraman, 1994).

$$\frac{K}{M} = \frac{\$D_K}{\$D_M} \quad (2.6)$$

$$\frac{K}{M} = \frac{EDYK}{EDYM} \quad (2.7)$$

İç verim oranı analizinde, projenin yararlı ömrü boyunca sağlayacağı parasal geliri, yatırım tutarına eşit kılan iskonto oranı bulunur. Yatırımın gerçek karlılığı diye de adlandırılan iç verim oranının hesaplanmasında farklı nakit akış denklikleri kullanılabilir. Kazançların şimdiki değerinin maliyetlerin şimdiki değerine eşitlenmesi, kazançların şimdiki değerinin maliyetlerin şimdiki değerine oranının 1'e eşitlenmesi, net şimdiki değer 0'a eşitlenmesi veya eşdeğer düzgün yıllık kazancın eşdeğer düzgün yıllık maliyete eşitlenmesi denklemleriyle iç verim oranı hesaplanabilir (Tolga ve Kahraman, 1994).

Karar vericilerin her bir alternatif stratejinin sonucunu birer olasılık olarak bildiği karar ortamı risk ortamı olarak adlandırılır. Risk ortamı belirsizlik içermesine karşın içerdiği belirsizlik ölçülebilir. Riskin ölçülmesinde önceden kestirim ve deneysel ölçüm olmak üzere iki yaklaşım geçerlidir. Önceden kestirim yönteminde sonuca ilişkin olasılık geçmiş verilere dayanma gereği duyulmadan hesaplanabilir. Deneysel ölçüm, sonuçların geçmişteki deneyimlerin verilerine dayalı olarak elde edildiği yöntemidir. Risk ortamında, yatırım alternatifine ait parametrelerin olasılıkları bilinmektedir. Parametrelerin olasılık dağılımları kullanılarak yatırımın beklenen değeri belirlenir. Bir yatırım alternatifinin değerinin A olarak gerçekleşme olasılığı $P(A)$ ve B olarak gerçekleşme olasılığı $P(B)$ ile ifade edilmek üzere, yatırımın beklenen değeri Denklem (2.8) yardımıyla hesaplanır (Fraser, 2008):

$$\text{Beklenen değer} = A.P(A) + B.P(B) \quad (2.8)$$

Karar ağaçları, Monte Carlo simülasyonu gibi teknikler risk ortamında yatırımın değerlendirilmesinde sıkça kullanılan olasılık temelli tekniklerdir (Newnan ve diğ., 2004; Fraser, 2008). Karar ağacı, alınacak kararların sıralanması ve olayların gerçekleşme ihtimalleri temel alınarak bir karar probleminin mantıksal yapısının grafik olarak gösterilmesidir. Karar ağaçları, özellikle geniş ve karmaşık problemlerin küçük ve temel bileşenlerine ayrılmasını sağlayan bir mekanizma oluşturarak karar vericinin riskleriyle beraber seçeneklerini görmesini sağlar (Fraser, 2008). Monte Carlo simülasyonu alternatif karar stratejilerinin rassal örnekleme ile değerlendirilmesi amacıyla kullanılan bir yöntemidir. Monte Carlo simülasyonunun en güçlü yanı, birden fazla risk kaynağı olduğunda bu kaynakların yatırımın değeri

üzerine olan birleşik etkisinin analiz edilmesine imkan sağlamasıdır (Newnan ve diğ, 2004).

Risk ortamında, olasılık temelli olmayan, riske göre ayarlanmış iskonto oranı ve belirlilik eşdeğeri gibi yöntemler de kullanılmaktadır. Riske göre ayarlanmış iskonto oranı yöntemi, yatırımın nakit akışlarının riski içeren bir değer ile iskontolanmasıdır. İskonto oranının riski içerecek şekilde arttırılması ya da düşürülmesi ile riskten bağımsız iskonto oranı belirlenir ve hesaplamalarda riskten bağımsız iskonto oranı kullanılır (Park, 2004). Belirlilik eşdeğeri yönteminde ise her bir değer, belirliliğin eksikliği için cezalandırılır ve riskten arındırılmış iskonto oranı uygulanarak belirlilik eşdeğeri elde edilir (Block ve Hirt, 2000).

Belirsizlik ortamı; alternatif stratejilerin doğuracağı sonuçların ve bu sonuçların olasılıklarının kestirilemediği karar ortamıdır. Belirsizlik ortamında alternatiflere ilişkin tam bir bilgi edinilemez. Duyarlılık analizleri, eş olasılık analizi, kötümserlik yaklaşımı, pişmanlık kriteri ve Hurwicz kriteri belirsizlik altında uygulanan yöntemlerdir.

Duyarlılık, bir problemin bir veya birkaç elemanının, kararı değiştirebilecek, izafi değişme büyüklüğüdür. Değişik parametrelere ilişkin karar duyarlılığı analizi bir problemin en önemli ve anlamlı yanlarını görüntüler (Tolga ve Kahraman, 1994). Duyarlılık analizi, her bir alternatifin en iyi ve en kötü olduğu olasılık aralıklarının belirlenmesini de içermektedir.

Eş olasılık analizi, Laplace kriteri olarak da adlandırılır. Bu yaklaşım, muhtemel olayların eş olasılıklar ile gerçekleşeceğinin varsayılarak, yatırımın beklenen değerinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu yöntem yetersiz sebep ilkesini, yani bir olayın meydana gelme ihtimalinin diğerlerinden farklı olduğuna dair bir sebep bulunmadığında ihtimallerin eşit olarak kabul edilmesini esas alır (Halaç, 1991).

Kötümserlik (maksimin) yaklaşımında, tüm alternatifler için en kötü durumların gerçekleşmesine göre hesap yapılarak, hesaplanan en kötülerden en iyisinin seçilmesi ile en düşük getirinin garantilenmesi amaçlanmaktadır. Pişmanlık (minimaks) yaklaşımında ise her bir olaya ait tüm ihtimallerden, o olaya ait en iyi ihtimalin değerinin çıkartılması ile pişmanlık değerleri elde edilir. Elde edilen pişmanlık değerlerinden oluşan matriste seçenekler taranarak önce en büyük elemanlar seçilir,

daha sonra bu elemanlar arasından en küçük olan belirlenir. Pişmanlık yaklaşımında amaç fırsat kaybını en aza indirmektir (Halaç, 1991).

Hurwicz kriteri yönteminde, karar matrisinde en büyük ve en küçük değerlere birer ağırlık faktörü ile önem derecesi verilerek beklenen değerlerin hesaplanması esastır. En büyük ve en küçük değerlere verilen ağırlıkların toplamı 1'e eşit olacak şekilde ağırlıklar belirlenir ve yatırım alternatifinin beklenen değeri hesaplanır (Halaç, 1991).

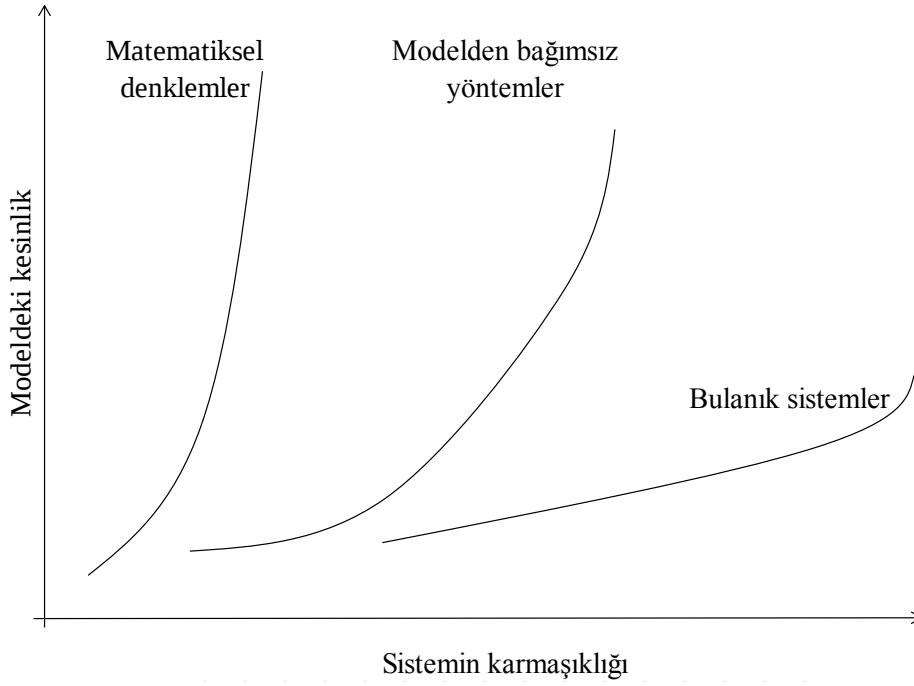
Belirlilik, risk ve belirsizlik ortamlarındaki tekniklerin kullanılmadığı bulanık ortamda, mevcut belirsizlik genellikle dilsel verilerle ifade edilmektedir. Dilsel verilerin bulanık mantık araçları kullanılarak sayısallaştırılması ile mevcut belirsizlik matematiksel modellemelere dahil edilmektedir. Bulanık yatırım analizi yöntemleri Bölüm 5'te detaylı olarak incelenmektedir.

3. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER TEORİSİ

Gerçek hayat karmaşıktır ve bu karmaşıklık genellikle kendini bilinmezlik şeklinde gösteren belirsizliklerden kaynaklanır. Geçmişten günümüze insanlar bu bilinmezlik ve karmaşıklık içeren problemlere bilinçaltında çözümler aramaktadırlar. Belirsizliğin az olduğu problemler, klasik modellerle ve sayısal yöntemlerle çözülebilmektedir. Ancak belirsizliğin ve dolayısıyla karmaşıklığın arttığı problemlerin çözümünde klasik modeller yetersiz kalmaktadır. İnsan düşüncesinin bilinçaltında her türlü probleme çözüm arama yeteneğinin aksine, insanlar tarafından tasarlanan bilgisayarlar karmaşık ve belirsiz problemlerle baş etme yeteneğine sahip değildir. Bunun en önemli sebebi insanın karşılaştığı problemi ya da incelediği sistemi muhakeme etme yeteneğinin olmasıdır. Karmaşık bir sistemin muhakeme edilmesinde insanlar, problem hakkında genel bir kavrayış ile sistem davranışı hakkında yaklaşık bir sonuç çıkarabilirler. Bu sebeple, büyük, karmaşık ve belirsizlik içeren sistemleri insan mantığı kullanarak modellemek gerekebilir (Ross, 1995).

L. A. Zadeh (1973)'e göre; “Bir sistemin karmaşıklığı arttıkça, onun davranışıyla ilgili kesin ve anlamlı ifadeler kurma yeteneğimiz belirli bir eşiğe ulaşıncaya kadar düşer. Bu eşikten sonra, kesinlik ve anlamlılık neredeyse birbirinden tam bağımsız özellikler haline gelirler” (Ross, 1995). Bu görüşe göre; karmaşıklık ve belirsizlik (muğlaklık) ilişkilidir, öyle ki bir problemi daha detaylı incelediğimizde, problemin çözümü daha da bulanıklaşır (Zadeh, 1973).

Sistem hakkında daha çok bilgiye sahip olduğumuzda, sistemin karmaşıklığı azalır ve anlaşılabilirliği artar. Karmaşıklık azaldıkça, sistemin modellenmesinde, hesaplama dayalı metotlar tarafından elde edilen kesinlik daha yararlı hale gelir. Sistemin karmaşıklık derecesi ve sistem modellerinin içerdiği kesinlik arasındaki ilişki Şekil 3.1’de gösterilmektedir (Ross, 1995).



Şekil 3.1 : Sistemin karmaşıklık derecesine karşı modeldeki kesinlik (Ross, 1995).

Karmaşıklığı dolayısıyla belirsizliği az olan sistemler için matematiksel denklemler, sistemin kesin olarak tanımlanabilmesini sağlar. Biraz daha karmaşık olan, ancak anlamlı verinin mevcut olduğu sistemlerde, modelden bağımsız yöntemler (yapay sinir ağları, sezgisel yöntemler, öğrenme eğrileri gibi), mevcut veriyi örnek olarak öğrenme yoluyla belirsizliği azaltarak sistemin tanımlanabilmesini sağlar. Çok az sayısal verinin bulunduğu ve/veya sadece belirsiz verinin mevcut olduğu karmaşık sistemler için, bulanık mantık, gözlenen girdi ve çıktıya bağlı olarak yaklaşık bir sonuç çıkarmamızı sağlayarak sistem davranışını anlamamızı sağlar. Bu yüzden bulanık modellerde belirsizlik oldukça yüksektir. Şekil 3.1’de gösterilen tüm modeller, doğrusal olmayan denklemler, bulanık modellerle ifade edilebilir. Ancak önemli olan nokta, uygulanan model tipinin karşılaşılan problemdeki belirsizliğin özelliği ile eşleşmesidir. Örneğin kesin bilginin mevcut olduğu durumlarda, bulanık sistemler problemin en iyi şekilde anlaşılmasını sağlayan algoritmalara göre daha az etkindir. Diğer yandan, bulanık sistemler, belirsiz veya eksik bilginin bulunduğu problemlerin modellenmesinde daha etkilidir (Ross, 1995).

3.1 Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

Zadeh (1965) bulanık kümeyi, sürekli dizi halindeki üyelik derecelerine sahip nesnelerden oluşan bir sınıf olarak tanımlamıştır. Bu tip bir küme, her bir nesneye 0

ile 1 arasında bir üyelik derecesi atayan bir üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. Burada 0 sayısı, ilgili nesnenin kümenin üyesi olmadığını; 1 sayısı, ilgili nesnenin kümenin tam üyesi olduğunu ve bu iki değer arasındaki herhangi bir sayı ilgili nesnenin kümeye üyelik derecesini veya kısmi üyeliğini gösterir (Özkan, 2003). Klasik kümelerde üyelik fonksiyonu Denklem (3.1)'de gösterildiği gibi 0 veya 1 değerini alabilmektedir, bulanık kümelerde ise üyelik fonksiyonu Denklem (3.2)'de gösterildiği gibi $[0,1]$ kapalı aralığında bir değer almaktadır (Ross, 1995).

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1] \quad (3.2)$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ simgesi x elemanının $\tilde{A}$ bulanık kümesine üyelik derecesini ifade etmektedir. Denklem (3.2)'de gösterildiği gibi bulanık bir küme üstündeki simgeyle klasik kümelerden ayrılır. Aşağıda bulanık kümenin klasik kümeden farkının ve bulanık kümenin ifade edilmesinin daha iyi anlaşılabilmesi için bir örnek verilmiştir.

Örnek 3-1: Bir spor ayakkabıya ait pahalılık durumunu inceleyecek olursak; 500 TL fiyata sahip bir spor ayakkabı herkes tarafından pahalı olarak nitelendirilebilir ancak 110 TL fiyata sahip bir spor ayakkabının pahalı olma durumu farklı gelir seviyesindeki insanlar için değişiklik gösterecektir. Bunun nedeni pahalılık kavramının belirli sınırlarının olmaması ve kişiden kişiye anlamının değişebilmesidir. Bu yüzden pahalı olma kümesinin klasik kümelerle ifade edilmesi güç olabilmektedir. Örneğin pahalı olmayı klasik kümelerle “150 TL ve üzeri fiyata sahip olma” şeklinde tanımlarsak, 150 TL ve üzeri fiyata sahip spor ayakkabıların pahalı spor ayakkabı kümesine ait olduğu söylenir. $X_A(x)$ pahalı spor ayakkabıları kümesi;

$$X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 150 \text{ TL} \\ 0, & x < 150 \text{ TL} \end{cases} \text{ şeklinde gösterilir.}$$

Burada tanımlanmış uzaydaki bir elemanın verilen kümeye (pahalı spor ayakkabı kümesi) ait olması ile ait olmaması arasındaki geçiş birdenbire ve kesindir. Yani bu tanımla 150 TL fiyata sahip bir spor ayakkabıya “pahalı” denirken 149,99 TL fiyata sahip bir ayakkabıya “pahalı değil” denilmiş olur. Böylece tanımdaki ve ölçümlerdeki belirsizlik göz ardı edilir.

Bulanık kümelerde ise bu geçiş kademeli olarak tanımlanabilir, bahsedilen küme sözel olarak “yaklaşık 150 TL ve üzeri fiyata sahip spor ayakkabılar pahalıdır” diye ifade edilir. Bu ifadenin bulanık kümelerle gösterimi,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 150 \\ \frac{x-100}{50} & 100 \leq x < 150 \\ 0 & x < 100 \end{cases} \text{ şeklinde olacaktır.}$$

Bu ifadeye göre 149 TL fiyata sahip bir spor ayakkabının bulanık kümeye üyeliği $\mu_{\tilde{A}}(149) = 0,98$ ve 120 TL fiyata sahip bir spor ayakkabının bulanık kümeye üyeliği $\mu_{\tilde{A}}(120) = 0,40$ olur.

Bulanık bir küme, bir nesneyi ve bu nesnenin ilgili kümeye üyelik derecesini gösteren sıralı çiftler halinde ifade edilir:

$$\tilde{A} = (x, \mu_{\tilde{A}}(x)), \forall x \in U \quad (3.3)$$

Evrensel kümenin sonlu olması halinde bulanık bir küme Denklem (3.4)’teki biçimde gösterilir:

$$\tilde{A} = \sum_i^n \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n}, \quad (3.4)$$

Evrensel kümenin sonsuz olması durumunda ise bulanık bir küme Denklem (3.5)’teki biçimde ifade edilir:

$$\tilde{A} = \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i}, \forall x_i \in U, \quad (3.5)$$

Bu ifadelerde kullanılan $\sum$, $\int$, $/$ ve $+$ işaretleri cebirsel anlamlarını ifade etmemektedir. Toplam ve integral işaretleri, bulanık çiftlerin sırasıyla kesikli ve sürekli evrenlerde bir araya getirilmesini ifade eder. $/$ simgesi, matematiksel olarak $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$ çiftini ifade etmek için kullanılan bir ayraçtır. $+$ işareti ise bu bulanık sayı çiftlerinin birleşimini gösteren bir simgedir (Özkan, 2003).

Klasik küme teorisinde kullanılan küme işlemleri bulanık kümelerde farklı şekillerde yapılmaktadır. Bulanık küme işlemlerini tanımlamak için $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$, X evreninde tanımlı iki bulanık küme olsun, bu evrene ait bir eleman olan x için birleşim, kesişim ve tümleyen işlemleri Denklem (3.6)-(3.8)’de ifade edilmiştir (Chen ve diğ., 1992; Ross, 1995):

$$\text{Birleşim} \quad \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) = \text{enb}\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\} \quad (3.6)$$

$$\text{Kesişim} \quad \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) = \text{enk}\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\} \quad (3.7)$$

$$\text{Tümleyen} \quad \mu_{\tilde{A}^T}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (3.8)$$

X evreninde tanımlanmış herhangi bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi bu evrenin alt kümesidir. Boş kümeye ait bir x elemanının üyelik derecesi, klasik kümelerde olduğu gibi 0 ve herhangi bir x elemanının X evrenine üyelik derecesi 1'dir.

3.2 Bulanık Kümelerde α -Kesimi

$\tilde{A}$ bulanık sayısının α kesimi, bulanık kümelerin en önemli kavramlarından biridir ve A^α ile ifade edilir. $\tilde{A}$ bulanık sayısının α kesimi, X evrensel kümesinde yer alan ve $\tilde{A}$ 'daki üyelik değerleri α 'nın belirli bir değerine eşit veya bu değerden büyük olan tüm elemanları içeren klasik bir kümeyi ifade eder. A^α ; Denklem (3.9) ile ifade edilmektedir (Klir ve Yuan, 1995):

$$A^\alpha = \{x | A(x) \geq \alpha\} \quad (3.9)$$

Bir $\tilde{A}$ bulanık sayısı $\alpha \in [0,1]$ için A^α ailesi olarak Denklem (3.10)'da gösterildiği gibi ifade edilir:

$$\tilde{A} = \{A^\alpha\}_{\alpha \in [0,1]} \quad (3.10)$$

İki bulanık sayı $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ 'ye uygulanan cebirsel işlemler yeni bir bulanık sayıyla sonuçlanır. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık sayılarının α -kesimleri, $A^\alpha = [a_1^{(\alpha)}; a_2^{(\alpha)}]$ ve $B^\alpha = [b_1^{(\alpha)}; b_2^{(\alpha)}]$ olarak belirlendiği zaman, bu sayıların α -kesimleri arasında aşağıda verilen ilişkiler oluşturulabilir (Özkan, 2003):

$$(A + B)^\alpha = A^\alpha + B^\alpha = C^\alpha = [c_1^{(\alpha)}; c_2^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} + b_1^{(\alpha)}; a_2^{(\alpha)} + b_2^{(\alpha)}] \quad (3.11)$$

$$(A - B)^\alpha = A^\alpha - B^\alpha = D^\alpha = [d_1^{(\alpha)}; d_2^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} - b_2^{(\alpha)}; a_2^{(\alpha)} - b_1^{(\alpha)}] \quad (3.12)$$

$$(A \times B)^\alpha = A^\alpha \times B^\alpha = E^\alpha = [e_1^{(\alpha)}; e_2^{(\alpha)}] \cong [a_1^{(\alpha)} \times b_1^{(\alpha)}; a_2^{(\alpha)} \times b_2^{(\alpha)}] \quad (3.13)$$

$$(A \div B)^\alpha = A^\alpha \div B^\alpha = F^\alpha = [f_1^{(\alpha)}; f_2^{(\alpha)}] \cong [a_1^{(\alpha)} \div b_2^{(\alpha)}; a_2^{(\alpha)} \div b_1^{(\alpha)}] \quad (3.14)$$

3.3 Genelleme Kuralı

Genelleme ilkesi ilk defa Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir ve bulanık küme teorisinin en temel alanlarından birisidir. Bu ilke bulanık olmayan matematiksel kavramların bulanık niceliklere genelleştirilmesinde kullanılmaktadır (Dubois ve Prade, 1980). En önemli uygulama alanları toplama ve çarpma gibi cebirsel işlemler olan genelleme ilkesinin tanımı aşağıda verilmektedir (Chen ve diğ, 1992):

Verilen bir f fonksiyonu $X_1 \times X_2 \dots \times X_n$ deki elemanları Y uzayına eşlesin. Yani; $y \in Y$ ve $\forall i$ için $x_i \in X$ iken $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ olsun. Y içerisindeki M bulanık kümesi Denklem (3.15)'de kümenin üyelik fonksiyonu Denklem (3.16)'da tanımlanmaktadır.

$$\tilde{M} = \{(y, \mu_{\tilde{M}}(y)) | y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X\} \quad (3.15)$$

$$\mu_{\tilde{M}}(y) = \begin{cases} y = \sup_{f(x_1, x_2, \dots, x_n)} \text{enk}(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)), & \text{eğer } f^{-1} \neq \emptyset \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.16)$$

Örnek 3-2:

Bulanık iki küme $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ Çizelge 3.1'de tanımlanmıştır:

Çizelge 3.1 : Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları.

x_1, x_2	1	2	3	4	5	6	7	8
$\mu_{\tilde{A}}(x_1)$	0	0	0,2	0,6	1	0,8	0,4	0
$\mu_{\tilde{B}}(x_2)$	0	0,3	0,6	1	0,9	0,7	0,5	0,3

Klasik cebirsel fonksiyon olan $f(x) = x_1 + x_2$ için üyelik fonksiyonu genelleme ilkesine göre Çizelge 3.2'deki gibi elde edilir:

Çizelge 3.2 : $y = f(x)$ için üyelik fonksiyonu.

$y = x_1 + x_2$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\mu_{\tilde{M}}(y)$	0	0	0	0,2	0,3	0,6	0,6	1	0,9	0,8	0,7	0,4	0,4	0,3	0

Burada örneğin, $\mu_{\tilde{M}}(9)$ hesaplanırken öncelikle $x_1 + x_2 = 9$ 'u sağlayan (x_1, x_2) çiftleri bulunur. Bunlar $(4; 5), (5; 4), (3; 6), (6; 3), (7; 2), (2; 7), (1; 8)$ ve $(8; 1)$ çiftleridir. Öncelikle Çizelge 3.3'te gösterilmiş olan her bir çift için üyelik derecelerinin en küçüğü alınır:

Çizelge 3.3 : Belirlenen çiftler için üyelik dereceleri.

x_1, x_2	(4; 5)	(5; 4)	(3; 6)	(6; 3)	(7; 2)	(2; 7)	(1; 8)	(8; 1)
$\mu_{\tilde{A}}(x_1)$	0,6	1	0,2	0,8	0,4	0	0	0
$\mu_{\tilde{B}}(x_2)$	0,9	1	0,7	0,6	0,3	0,5	0,4	0
$\mu_{\tilde{A}}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x_2)$	0,6	1	0,2	0,6	0,3	0	0	0

Son olarak tüm çiftlerden elde edilen değerlerin en büyüğü alınarak sonuç elde edilir. Buna göre; $\mu_{\tilde{M}}(9) = \text{enb}(0,6; 1; 0,2; 0,6; 0,3; 0; 0; 0) = 1$ olarak bulunur.

3.4 Bulanık Sayılar ve İşlemler

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Bulanık kümelerde geçerli olan birleşim, kesişim, α -kesimi, genelleme kuralı gibi küme teorik işlemleri bulanık sayılara da kolayca uygulanabilir. Bulanık sayıların kullanım alanları arasında bulanık regresyon, bulanık programlama ve bulanık karar verme ön plana çıkmaktadır (Özkan, 2003).

Bulanık sayılar üyelik derecelerinin ifade edilişlerine göre sınıflandırılabilir. Üyelik dereceleri $[0,1]$ aralığındaki klasik sayılar ile ifade edilen bulanık sayılar sıradan (tip 1) bulanık sayılar olarak isimlendirilir (Zadeh, 1965). Sıradan bulanık sayılar bir kaynağa ait belirsiz ya da tam olmayan bilgiyi ifade etmekte başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak iki veya daha fazla belirsizlik kaynağı aynı anda gerçekleştiğinde sıradan bulanık sayıların modelleme kabiliyetleri yetersiz kalmaktadır (Mendel ve John, 2002; de Tré ve de Caluwe, 2003). Bu tip belirsizliklerin ifade edilmesi için sıradan bulanık üyelik fonksiyonlarına sahip tip 2 bulanık sayılar tanımlanmıştır. Tip 2 bulanık sayıların üyelik dereceleri bulanık sayılarla ifade edilmektedir (Zadeh, 1974).

3.4.1 Sıradan bulanık sayılar

Üyelik değerleri klasik sayılar olan bulanık sayılardır. Bulanık sayıların ifade ediliş şekline göre sınıflandırılması durumunda, aralık tipi bulanık sayılar, LR tipi bulanık sayılar, üçgen bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar, Gauss bulanık sayılar ve üstel bulanık sayılar en sık kullanılan sıradan bulanık sayılardır. Bu bölümde sıradan bulanık sayılara ait özellikler ve sıradan bulanık sayıların cebirsel işlemleri verilmektedir.

3.4.1.1 Aralık tipi bulanık sayılar

Üyelik değerleri aralık halinde ifade edilen bulanık sayılar aralık bulanık sayılar olarak isimlendirilir. Aralık bulanık sayılar için temel cebirsel işlemler Denklem (3.14)-(3.19)'da verilmektedir:

Toplama:

$$[a; b] \oplus [c; d] = [a + c; b + d] \quad (3.14)$$

Çıkarma:

$$[a; b] \ominus [c; d] = [a - d; b - c] \quad (3.15)$$

Çarpma:

$$[a; b] \odot [c; d] \cong [enk(a * c; a * d; b * c; b * d); \\ enb(a * c; a * d; b * c; b * d)] \quad (3.16)$$

Bölme:

$$[a; b] \oslash [c; d] \cong [enk(a \div c; a \div d; b \div c; b \div d); \\ enb(a \div c; a \div d; b \div c; b \div d)], \quad c \neq 0, d \neq 0 \quad (3.17)$$

Tersini alma:

$$[a; b]^{-1} \cong [enk(1 \div a; 1 \div b); enb(1 \div a; 1 \div b)], \quad a \neq 0, b \neq 0 \quad (3.18)$$

Skalar λ sayısı ile çarpma:

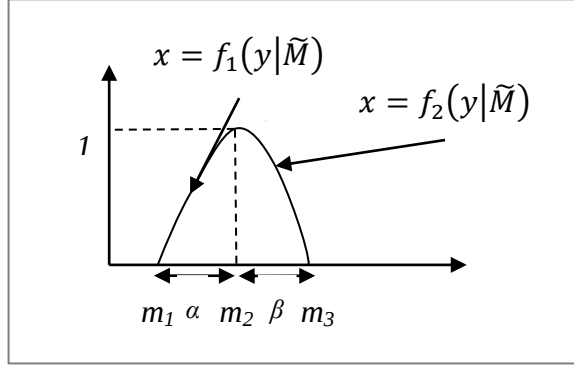
$$\lambda \odot [a; b] = [\lambda; \lambda] \odot [a; b] = [\lambda * a; \lambda * b], \quad \lambda > 0 \quad (3.19)$$

3.4.1.2 LR tipi bulanık sayılar

Bulanık sayıların L - R gösterimi Dubois ve Prade (1978) tarafından önerilmiştir. Genellikle L veya R olarak simgelenen bir fonksiyon, $L [0, +\infty)$ aralığında azalmayan bir fonksiyon olmak üzere ancak ve ancak $L(x) = L(-x)$ ve $L(0) = 1$ koşullarını sağlıyorsa bulanık sayıların referans fonksiyonu olabilir. Bir M bulanık sayısı ancak ve ancak Denklem (3.20)'yi sağlarsa L - R tip bir bulanık sayıdır (Dubois ve Prade, 1978).

$$\mu_M(x) = \begin{cases} L((m - x)/\alpha), & \text{eğer } x \leq m, \alpha > 0, \\ R((x - m)/\beta), & \text{eğer } x \geq m, \beta > 0. \end{cases} \quad (3.20)$$

Eşitlikte L ; sol taraf referansını, R ; sağ taraf referansını, m ; M 'nin ortalama değerini ifade etmektedir. α ve β sırasıyla sol ve sağ yayılımlar olarak adlandırılır. Yayılımlar 0 olduğunda M bulanık olmayan bir sayı haline dönüşür. Yayılımlar arttıkça M sayısının bulanıklığı artar. Sembolik olarak $M = (m; \alpha; \beta)_{LR}$ olarak gösterilir. Şekil 3.2'de LR tipi $\tilde{M}$ bulanık sayının üyelik fonksiyonu gösterilmektedir:



Şekil 3.2 : LR tipi $\tilde{M}$ bulanık sayının üyelik fonksiyonu.

$M = (m; \alpha; \beta)_{LR}$ ve $N = (n; \gamma; \delta)_{LR}$ L - R sayıları için işlemler Denklem (3.21)-(3.31)'de verilmektedir (Dubois ve Prade, 1978; Chen ve diğ., 1992):

Toplama:

$$(m; \alpha; \beta)_{LR} \oplus (n; \gamma; \delta)_{LR} \cong (m + n; \alpha + \gamma; \beta + \delta)_{LR} \quad (3.21)$$

Çıkarma:

$$(m; \alpha; \beta)_{LR} \ominus (n; \gamma; \delta)_{LR} \cong (m - n; \alpha + \delta; \beta + \gamma)_{LR} \quad (3.22)$$

Çarpma:

$M > 0, N > 0$ iken

$$(m; \alpha; \beta)_{LR} \odot (n; \gamma; \delta)_{LR} \cong (mn; m\gamma + n\alpha; m\delta + n\beta)_{LR} \quad (3.23)$$

$M < 0, N > 0$ iken

$$(m; \alpha; \beta)_{LR} \odot (n; \gamma; \delta)_{LR} \cong (mn; n\alpha - m\delta; n\beta + m\gamma)_{LR} \quad (3.24)$$

$M < 0, N < 0$ iken

$$(m; \alpha; \beta)_{LR} \odot (n; \gamma; \delta)_{LR} \cong (mn; -n\beta - m\delta; -n\alpha - m\gamma)_{LR} \quad (3.25)$$

Bölme:

$n \neq 0$ olmak üzere; $M > 0, N > 0$ iken

$$(m; \alpha; \beta)_{LR} \odot (n; \gamma; \delta)_{LR} \cong \left(\frac{m}{n}; \frac{\delta m + \alpha n}{n^2}; \frac{\gamma m + \beta n}{n^2} \right)_{LR} \quad (3.26)$$

$M < 0, N > 0$ iken

$$(m; \alpha; \beta)_{LR} \odot (n; \gamma; \delta)_{LR} \cong \left(\frac{m}{n}; \frac{\alpha n - \gamma m}{n^2}; \frac{\beta n - \delta m}{n^2} \right)_{LR} \quad (3.27)$$

$M < 0, N < 0$ iken

$$(m; \alpha; \beta)_{LR} \odot (n; \gamma; \delta)_{LR} \cong \left(\frac{m}{n}; \frac{-\beta n - \delta m}{n^2}; \frac{-\alpha n - \gamma m}{n^2} \right)_{LR} \quad (3.28)$$

Ters alma:

$$(m; \alpha; \beta)_{LR}^{-1} \cong (m^{-1}; m\beta^{-2}; m\alpha^{-2})_{LR} \quad (3.29)$$

Skalar λ sayısı ile çarpma:

$$\forall \lambda > 0, \lambda \in \mathbb{R}, \quad \lambda \odot (m; \alpha; \beta)_{LR} \cong (\lambda m; \lambda \alpha; \lambda \beta)_{LR} \quad (3.30)$$

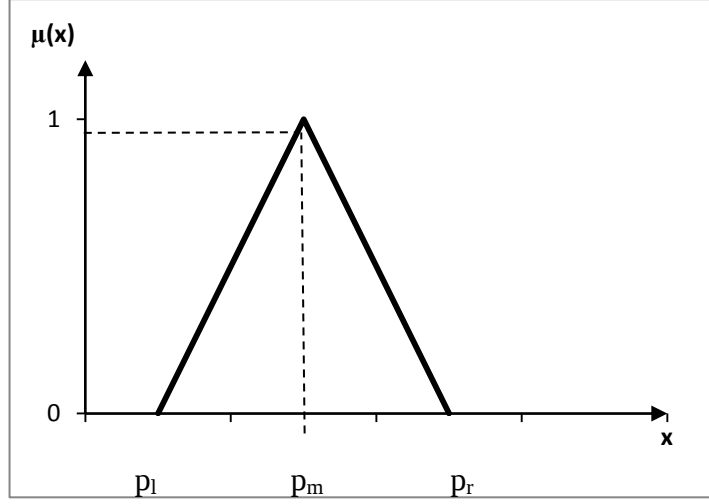
$$\forall \lambda < 0, \lambda \in \mathbb{R}, \quad \lambda \odot (m; \alpha; \beta)_{LR} \cong (\lambda m; -\lambda \beta; -\lambda \alpha)_{LR} \quad (3.31)$$

3.4.1.3 Üçgen bulanık sayılar

Doğrusal olan basit üyelik fonksiyonu nedeniyle genellikle üçgen bulanık sayıların kullanımı tercih edilmektedir. $\bar{x}$; en olası değeri, α_l ; sol yayılımı (en olası değer ile en düşük olası değer arasındaki farkı) ve α_r ; sağ yayılımı (en yüksek olası değer ile en olası değer arasındaki farkı) ifade etmek üzere, $\tilde{p} = \text{ÜBS}(\bar{x}; \alpha_l; \alpha_r)$ ile belirtilen üçgen bulanık sayıların üyelik fonksiyonu Denklem (3.32)'de verilmektedir (Hanss, 2005):

$$\mu_{\tilde{p}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq \bar{x} - \alpha_l \\ 1 + (x - \bar{x})/\alpha_l & \bar{x} - \alpha_l < x < \bar{x} \\ 1 - (x - \bar{x})/\alpha_r & \bar{x} \leq x < \bar{x} + \alpha_r \\ 0 & x \geq \bar{x} + \alpha_r \end{cases} \quad \text{eğer} \quad (3.32)$$

Üçgen bulanık sayılar L-R tip bulanık sayıların özel hali olduğundan üçgen bulanık sayılar için kullanılan cebirsel işlemler L-R tip bulanık sayılar için kullanılan işlemlerle aynıdır. Üçgen sayıların gösteriminde, yayılımlar yerine üyeliğin gerçekleştiği sınır noktalarının değerlerinin kullanıldığı $\tilde{p} = (\bar{x} - \alpha_l; \bar{x}; \bar{x} + \alpha_r)$ gösterimi de sıkça kullanılmaktadır. Şekil 3.3'te üyelik fonksiyonu gösterilen $\tilde{p} = (\bar{x} - \alpha_l; \bar{x}; \bar{x} + \alpha_r) = (p_l; p_m; p_r)$ gösterimindeki üçgen bulanık sayılarla cebirsel işlemler Denklem (3.33)-(3.43)'de verilmektedir (Chen ve diğ, 1992):



Şekil 3.3 : Üçgen bulanık sayı üyelik fonksiyonu.

Toplama:

$$\tilde{M} \oplus \tilde{N} = (m_l + n_l; m_m + n_m; m_r + n_r) \quad (3.33)$$

Çıkarma:

$$\tilde{M} \ominus \tilde{N} = (m_l - n_r; m_m - n_m; m_r - n_l) \quad (3.34)$$

Çarpma:

$\tilde{M} > 0, \tilde{N} > 0$ iken

$$\tilde{M} \otimes \tilde{N} \cong (m_l n_l; m_m n_m; m_r n_r) \quad (3.35)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} > 0$ iken

$$\tilde{M} \otimes \tilde{N} \cong (m_l n_r; m_m n_m; m_r n_l) \quad (3.36)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} < 0$ iken

$$\tilde{M} \otimes \tilde{N} \cong (m_r n_r; m_m n_m; m_l n_l) \quad (3.37)$$

Bölme:

$\tilde{M} > 0, \tilde{N} > 0$ iken

$$\tilde{M} \oslash \tilde{N} \cong \left(\frac{m_l}{n_r}; \frac{m_m}{n_m}; \frac{m_r}{n_l} \right) \quad (3.38)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} > 0$ iken

$$\tilde{M} \oslash \tilde{N} \cong \left(\frac{m_r}{n_r}; \frac{m_m}{n_m}; \frac{m_l}{n_l} \right) \quad (3.39)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} < 0$ iken

$$\tilde{M} \odot \tilde{N} \cong \left(\frac{m_r}{n_l}; \frac{m_m}{n_m}; \frac{m_l}{n_r} \right) \quad (3.40)$$

Ters alma:

$$\tilde{M}^{-1} \cong \left(\frac{1}{m_r}; \frac{1}{m_m}; \frac{1}{m_l} \right) \quad (3.41)$$

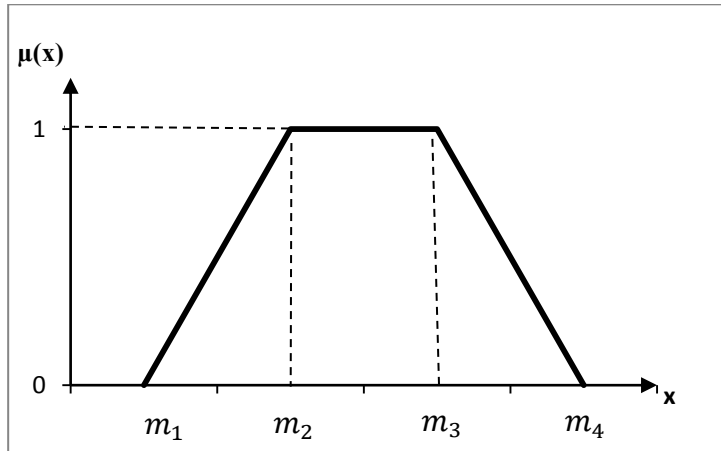
Skalar λ sayısı ile çarpma:

$$\forall \lambda > 0, \lambda \in \mathbb{R}, \quad \lambda \odot (m_l; m_m; m_r) = (\lambda m_l; \lambda m_m; \lambda m_r) \quad (3.42)$$

$$\forall \lambda < 0, \lambda \in \mathbb{R}, \quad \lambda \odot (m_l; m_m; m_r) = (\lambda m_r; \lambda m_m; \lambda m_l) \quad (3.43)$$

3.4.1.4 Yamuk bulanık sayılar

Şekil 3.4'te üyelik fonksiyonu verilen yamuk bulanık sayılar üçgen bulanık sayılarda olduğu gibi doğrusal üyelik fonksiyonuna sahiptir. $\tilde{M} = (m_1; m_2; m_3; m_4), \tilde{N} = (n_1; n_2; n_3; n_4)$ olarak tanımlanmış yamuk bulanık sayılar için temel cebirsel işlemler Denklem (3.44)-(3.54)'te gösterilmektedir (Chen ve diğ, 1992):



Şekil 3.4 : Yamuk bulanık sayı üyelik fonksiyonu.

Toplama:

$$\tilde{M} \oplus \tilde{N} = (m_1 + n_1; m_2 + n_2; m_3 + n_3; m_4 + n_4) \quad (3.44)$$

Çıkarma:

$$\tilde{M} \ominus \tilde{N} = (m_1 - n_4; m_2 - n_3; m_3 - n_2; m_4 - n_1) \quad (3.45)$$

Çarpma:

$M > 0, N > 0$ iken

$$\tilde{M} \odot \tilde{N} \cong (m_1 n_1; m_2 n_2; m_3 n_3; m_4 n_4) \quad (3.46)$$

$M < 0, N > 0$ iken

$$\tilde{M} \odot \tilde{N} \cong (n_1 m_4; n_2 m_3; n_3 m_2; n_4 m_1) \quad (3.47)$$

$M < 0, N < 0$ iken

$$\tilde{M} \odot \tilde{N} \cong (m_4 n_4; m_3 n_3; m_2 n_2; m_1 n_1) \quad (3.48)$$

Bölme:

$n \neq 0$ olmak üzere; $M > 0, N > 0$ iken

$$\tilde{M} \oslash \tilde{N} \cong \left(\frac{m_1}{n_4}; \frac{m_2}{n_3}; \frac{m_3}{n_2}; \frac{m_4}{n_1} \right) \quad (3.49)$$

$M < 0, N > 0$ iken

$$\tilde{M} \oslash \tilde{N} \cong \left(\frac{m_4}{n_4}; \frac{m_3}{n_3}; \frac{m_2}{n_2}; \frac{m_1}{n_1} \right) \quad (3.50)$$

$M < 0, N < 0$ iken

$$\tilde{M} \oslash \tilde{N} \cong \left(\frac{m_4}{n_1}; \frac{m_3}{n_2}; \frac{m_2}{n_3}; \frac{m_1}{n_4} \right) \quad (3.51)$$

Ters alma:

$$\tilde{M}^{-1} \cong \left(\frac{1}{m_4}; \frac{1}{m_3}; \frac{1}{m_2}; \frac{1}{m_1} \right) \quad (3.52)$$

Skalar λ sayısı ile çarpma:

$\forall \lambda > 0, \lambda \in \mathbb{R},$

$$\lambda \odot \tilde{M} = (\lambda m_1; \lambda m_2; \lambda m_3; \lambda m_4) \quad (3.53)$$

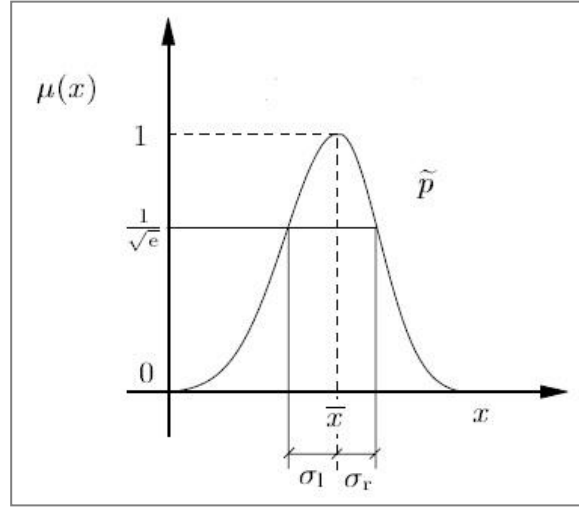
$\forall \lambda < 0, \lambda \in \mathbb{R},$

$$\lambda \odot \tilde{M} = (\lambda m_4; \lambda m_3; \lambda m_2; \lambda m_1) \quad (3.54)$$

3.4.1.5 Gauss bulanık sayılar

Üyelik fonksiyonu normalize ve genellikle asimetrik olan Gauss fonksiyonu tarafından nitelendirilen bulanık sayılar Gauss bulanık sayılar olarak adlandırılır ve

$\tilde{p} = GBS(\bar{x}; \sigma_l; \sigma_r)$ eşitliği ile ifade edilir. Bir Gauss bulanık sayının üyelik fonksiyonu Şekil 3.5'te gösterilmiştir:



Şekil 3.5 : Gauss bulanık sayı üyelik fonksiyonu.

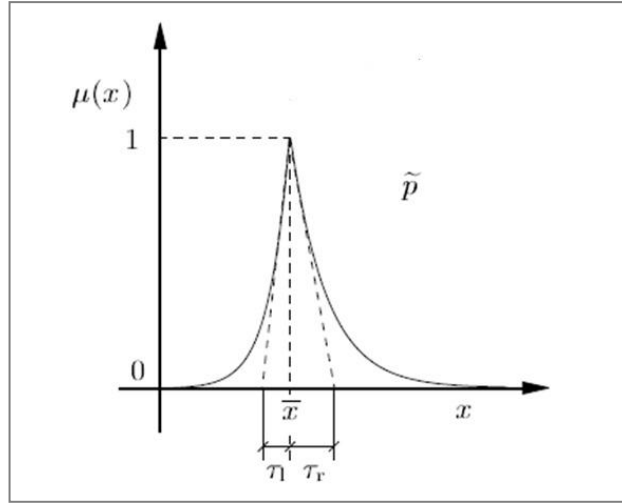
Gauss bulanık sayıların üyelik fonksiyonu Denklem (3.55)'te verilmektedir (Hanss, 2005):

$$\mu_{\tilde{p}}(x) = \begin{cases} \exp\left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{(2\sigma_l^2)}\right] & , \text{eğer } x < \bar{x} \\ \exp\left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{(2\sigma_r^2)}\right] & , \text{eğer } x \geq \bar{x} \end{cases} \quad \forall x \in \mathbb{R} \quad (3.55)$$

Gauss bulanık sayılar için temel cebirsel işlemler, LR tipi gösterim ile gerçekleştirilir.

3.4.1.6 Üstel bulanık sayılar

Üstel üyelik fonksiyonuna sahip bulanık sayılardır. $\tilde{p} = \text{ÜsBS}(\bar{x}; \tau_l; \tau_r)$ eşitliği ile ifade edilir ve üyelik fonksiyonları Şekil 3.6'da gösterilmektedir:



Şekil 3.6 : Üstel bulanık sayı üyelik fonksiyonu.

Üstel bulanık sayıların üyelik fonksiyonu Denklem (3.56)'da verilmektedir (Hanss, 2005):

$$\mu_{\tilde{p}}(x) = \begin{cases} \exp\left[-\frac{(x - \bar{x})}{\tau_l}\right] & \text{eğer } x < \bar{x} \\ \exp\left[-\frac{(x - \bar{x})}{\tau_r}\right] & \text{eğer } x \geq \bar{x} \end{cases} \quad \forall x \in \mathbb{R} \quad (3.56)$$

Üstel bulanık sayılar için temel cebirsel işlemler, *LR* tipi gösterim ile gerçekleştirilir.

3.4.1.7 Durulaştırma yöntemleri

Durulaştırma, bulanık bir kümeyi tek değerli kesin bir miktara indirgeme işlemidir. Bu tanıma dayalı olarak bulanık sistemlerin tasarımı ve analizi için literatürde çeşitli durulaştırma yöntemleri önerilmiş ve uygulanmıştır (Lee, 1990a, 1990b; Runkler ve Glesner, 1993; Yager ve Filev, 1993a, 1993b; Ross, 1995). Bunlardan en yaygın olanları, alan merkezi (COA-center of area), ağırlıklı ortalama (WA-weighted average), yükseklik (HM-height method), en büyüklerin ortalaması (MOM-middle of maxima), en büyüklerin ilki (FOM-first of maxima) ve toplamların merkezi (COS-center of sums) yöntemleridir (Ross, 1995). Bu yöntemlerle ilgili ayrıntılı bilgi ve sayısal örnekler $\tilde{A}$ bulanık kümeyi, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ bulanık kümeye ait elemanların üyelik derecelerini ifade etmek üzere aşağıda verilmiştir.

Ağırlık merkezi (COG-center of gravity) yöntemi: Literatürdeki mevcut durulaştırma yöntemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemdir. Ağırlık merkezi

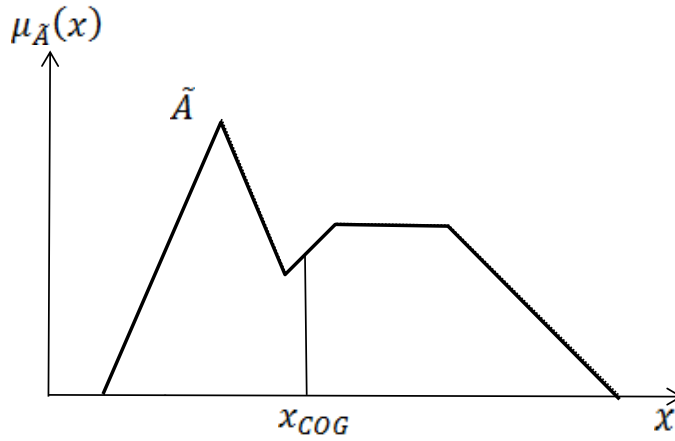
durulaştırma yöntemine göre, üyelik fonksiyonu altındaki alanın ağırlık merkezi, Denklem (3.57)'den yararlanılarak bulunur.

$$x_{COG} = \frac{\int_X x \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_X \mu_{\tilde{A}}(x) dx} \quad (3.57)$$

Üyelik fonksiyonunun kesikli olması durumunda ise merkezi durulaştırma için Denklem (3.58) kullanılır:

$$x_{COG} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_{\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(x_i)} \quad (3.58)$$

Merkezi durulaştırma yönteminin grafiksel gösterimi Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 : Merkezi durulaştırma yöntemi.

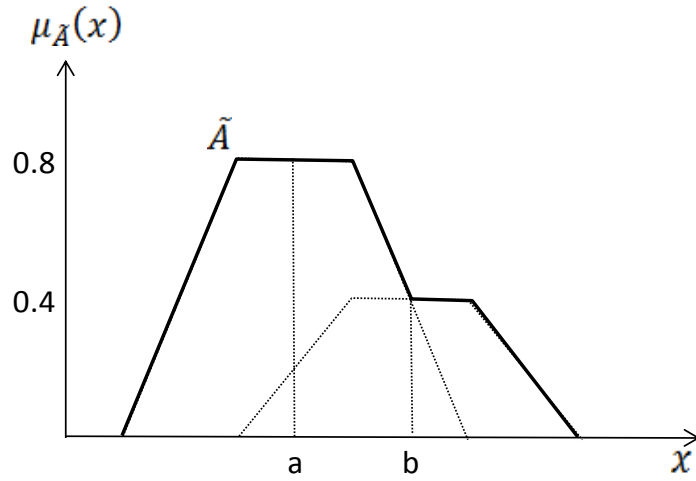
Ağırlıklı ortalama (WA-weighted average) durulaştırma yöntemi: Bu yöntem sadece simetrik üyelik fonksiyonlarına sahip kümelerin durulaştırılmasında kullanılabilir. Yöntemin cebirsel gösterimi Denklem (3.59)'da verilmiştir:

$$x_{WA} = \frac{\sum \bar{x} \mu_{\tilde{A}}(\bar{x})}{\sum \mu_{\tilde{A}}(\bar{x})} \quad (3.59)$$

Ağırlıklı ortalama yönteminde, sürecin çıktısını oluşturan her bir üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik değerini aldığı değerlerin ağırlıklı ortalaması alınır.

Örneğin, Şekil 3.8'de gösterilen iki fonksiyonun durulaştırılmış değeri aşağıdaki gibi olacaktır:

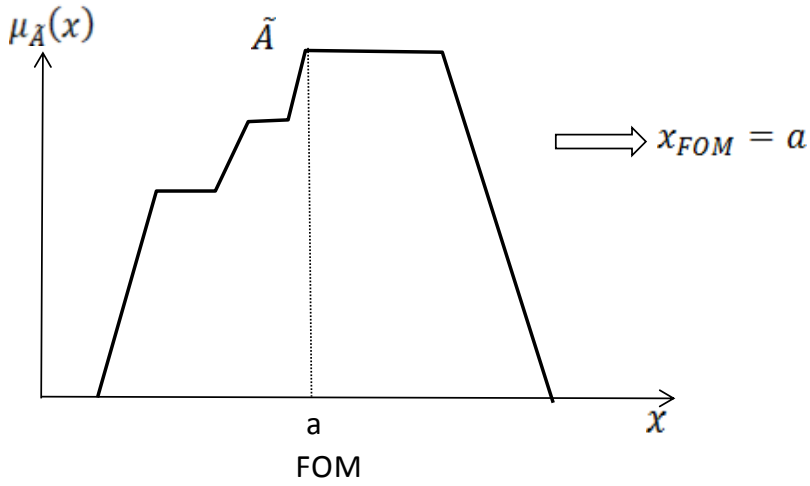
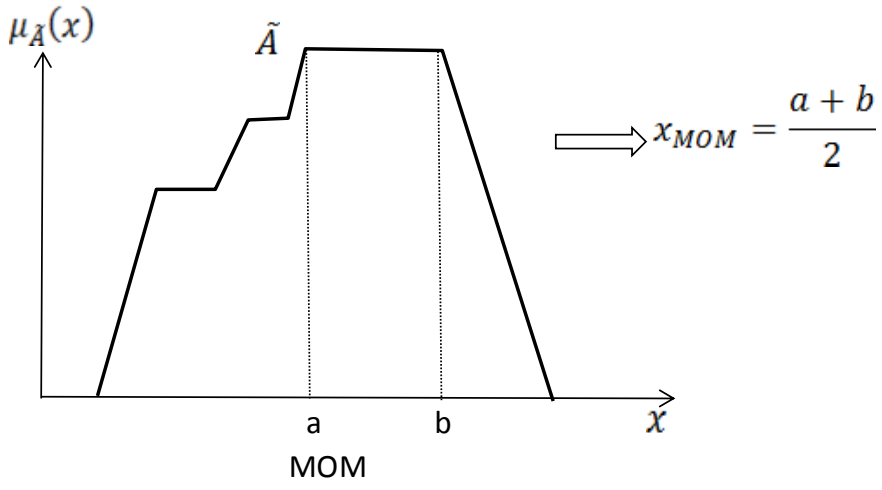
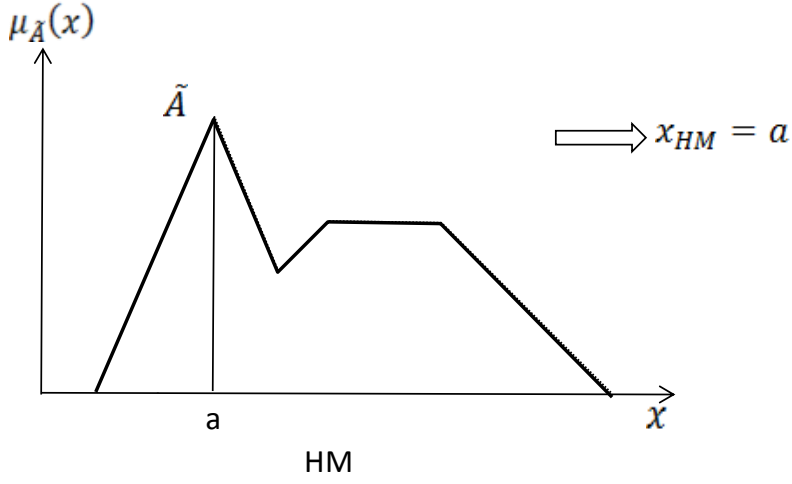
$$x_{WA} = \frac{(0,8)a + (0,4)b}{0,8 + 0,4}$$



Şekil 3.8 : Ağırlıklı ortalama durulaştırma yöntemi.

Bu yöntemin sadece simetrik üyelik fonksiyonları için geçerli olması nedeniyle, a ve b değerleri ilgili üyelik fonksiyonlarının orta değerleridir.

Büüklüğe bağılı durulaştırma yöntemleri: Yükseklik yöntemi (HM-height method), en büyüklerin ortalaması (MOM-middle of maxima) ve en büyüklerin ilki (FOM-first of maxima) yöntemleri, üyelik dereceleri içinden en büyük olanın seçimine dayalı durulaştırma yöntemleridir. Eğer birden fazla en büyük üyelik değerine sahip nokta varsa Şekil 3.9’da gösterildiği üzere bunlar içerisinde en büyük üyelik değerine sahip ilk değer (FOM-first of maxima) veya en büyük üyelik değerine sahip değerlerin ortalaması (MOM-middle of maxima) seçilebilir.



Şekil 3.9 : Yüksekliğe bağlı durulaştırma yöntemleri.

Toplamların merkezi (COS-center of sums) durulaştırma yöntemi: Bu yöntem literatürdeki mevcut durulaştırma yöntemlerinden daha hızlı bir şekilde sonuç üretir. Yöntemde çıktıyı oluşturan üyelik fonksiyonlarının birleşimi yerine bireysel olarak

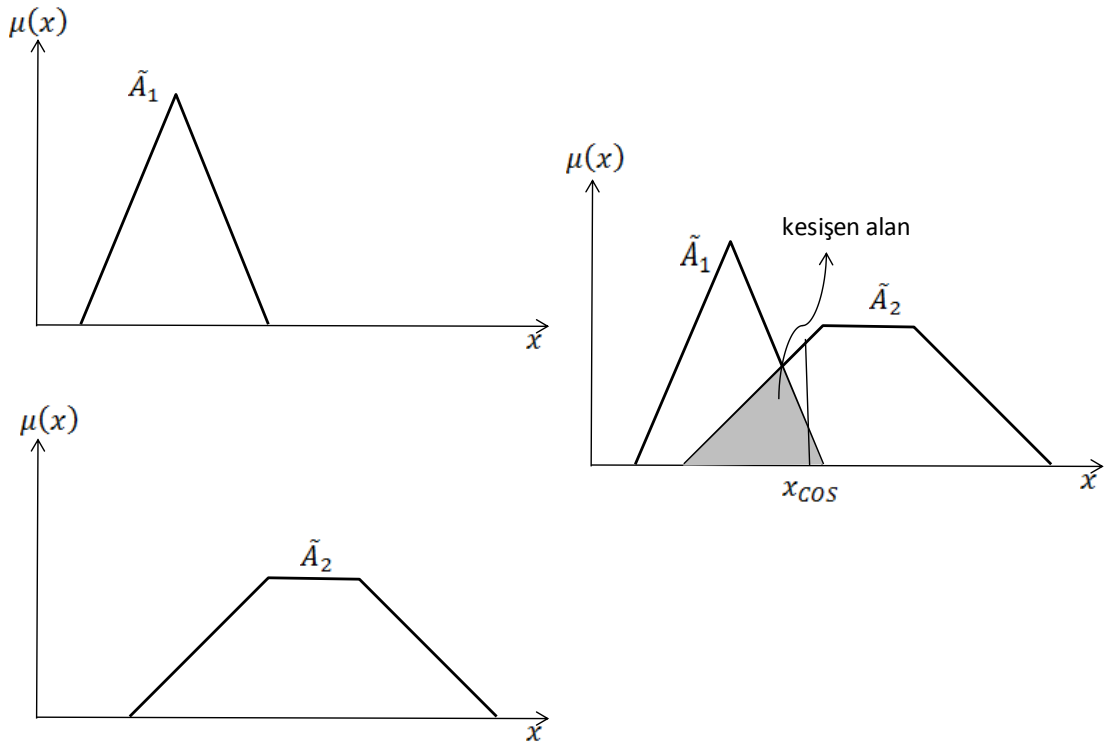
alanları dikkate alınır. Yöntemin eksikliği kesişen alanların iki kez işleme alınmasıdır (Ross,1995). Kesikli üyelik fonksiyonları durumunda yöntemin cebirsel gösterimi Denklem (3.60)'da verilmiştir (Driankov ve diğ, 1996):

$$x_{\cos} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{j=1}^m \mu_{\tilde{A}_j}(x_i)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mu_{\tilde{A}_j}(x_i)} \quad (3.60)$$

Üyelik fonksiyonlarının sürekli olması durumunda Denklem (3.61) uygulanır (Driankov ve diğ, 1996):

$$x_{\cos} = \frac{\int_x x \sum_{j=1}^m \mu_{\tilde{A}_j}(x) dx}{\int_x \sum_{j=1}^m \mu_{\tilde{A}_j}(x) dx} \quad (3.61)$$

Şekil 3.10'da toplamaların merkezi durulaştırma yönteminin grafiksel gösterimi verilmiştir;



Şekil 3.10 : Toplamaların merkezi durulaştırma yöntemi.

Orta değer (medyan) durulaştırma yöntemi:

Bulanık kümelerin özel bir alt kümesi olan bulanık sayıların durulaştırılması için kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi de orta değer (medyan) yöntemidir. Orta değer yönteminde amaç, üyelik fonksiyonu altında kalan alanı iki eşit parçaya

ayırabilecek olan değeri bulmaktır. $\tilde{M} = (m_1; m_2; m_3; m_4)$ şeklinde tanımlanan bir yamuk bulanık sayının orta değeri Denklem (3.62) kullanılarak bulunur:

$$M_{\tilde{M}}^{YBS} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{4} \quad (3.62)$$

Üçgen bulanık sayılarda $\tilde{M} = (m_l; m_m; m_r)$ orta değer Denklem (3.63) kullanılarak bulunur:

$$M_{\tilde{M}}^{\ddot{U}BS} = \frac{m_l + m_m + m_r}{3} \quad (3.63)$$

Aralık tipi bulanık sayılarda $\tilde{M} = [M_L; M_R]$ orta değer Denklem (3.64) kullanılarak bulunur:

$$M_{\tilde{M}}^{ABS} = \frac{M_L + M_R}{2} \quad (3.64)$$

3.4.2 Aralık tip 2 bulanık sayılar

İlk olarak Zadeh (1974) tarafından tanıtılan tip-2 bulanık küme, evrensel küme (X) elemanlarına, sıradan bulanık küme olan üyelik derecelerinin atandığı kümelerdir. Tip-2 bulanık kümeler için üyelik fonksiyonu Denklem (3.65)'te verilmiştir:

$$\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow \zeta([0,1]) \quad (3.65)$$

Burada, $\zeta([0,1])$ evrensel küme üzerinde tanımlanabilen bütün sıradan bulanık kümelerin kümesini ifade etmektedir.

Gerçek hayatta bulanık sayıların üyelik dereceleri genellikle tam olarak belirlenemediği için bu kümelerin kullanımı yaygındır.

Aralık tip 2 bulanık sayılar, bulanık sayıların doğru, hemen hemen doğru, çok doğru, daha doğru gibi dilsel doğruluk kavramları ve bulanık sayıların üyelik derecelerinin düşük, orta, yüksek, çok yüksek gibi dilsel terimlerle belirlenmesi arasındaki yakın ilişkiden yola çıkarak geliştirilmiştir (Zadeh, 1975).

X evrensel kümesine ait bir $\tilde{A}$ aralık tip 2 bulanık küme, $J_x [01]$ aralığını ifade etmek üzere $\mu_{\tilde{A}}(x)$ tip 2 üyelik fonksiyonu ile ifade edilir (Zadeh, 1975):

$$\tilde{A} = \left\{ \left((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) \right) \mid \forall x \in X, \forall y \in J_x \subseteq [0,1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1 \right\} \quad (3.66)$$

Denklem (3.67), $J_x \subseteq [0,1]$ olmak üzere ve $\iint$ tüm makul x ve u değerlerinin birleşimini ifade etmek üzere $\tilde{\tilde{A}}$ aralık tip 2 bulanık kümenin bir başka ifade edilmiş şeklini verir (Mendel ve diğ, 2006):

$$\tilde{\tilde{A}} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u)}{(x, u)} \quad (3.67)$$

Aralık tip 2 bulanık sayıların üst üyelik fonksiyonları ve alt üyelik fonksiyonları sıradan bulanık sayıların üyelik fonksiyonlarına sahiplerdir (Mendel ve diğ, 2006). Aralık tip 2 bulanık sayılar bulanık sayıya ait fonksiyonun şekline göre sınıflara ayrılmaktadırlar. Üçgen aralık tip 2 bulanık sayı ve yamuk aralık tip 2 bulanık sayı literatürde en sık rastlanan aralık tip 2 bulanık sayılardır.

3.4.2.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar

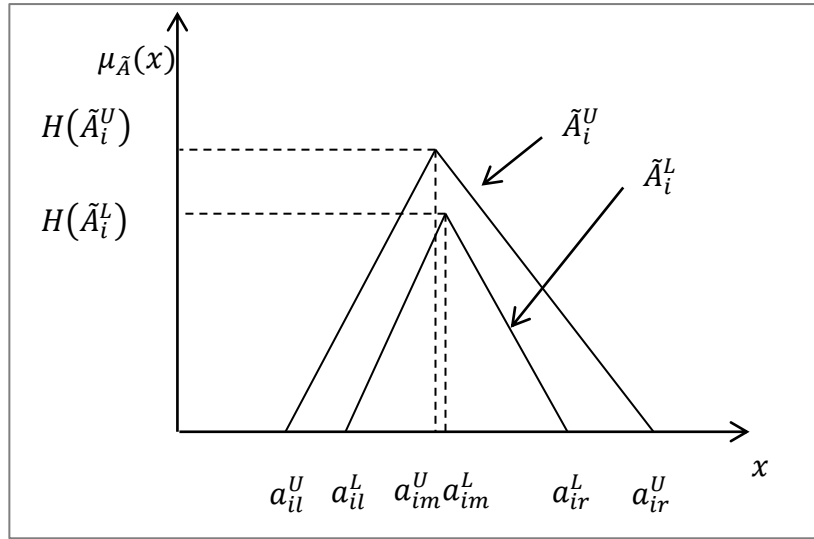
$\tilde{A}_i^L$ ve $\tilde{A}_i^U$ tip 1 bulanık kümeler olmak üzere üçgen aralık tip 2 bulanık $\tilde{\tilde{A}}_i$ kümesinin alt üyelik fonksiyonunun $\tilde{A}_i^L$, üst üyelik fonksiyonunun $\tilde{A}_i^U$ ve referans noktalarının $a_{il}^U, a_{im}^U, a_{ir}^U, a_{il}^L, a_{im}^L$ ve a_{ir}^L ile ifade edilmesi durumunda üçgen aralık tip 2 bulanık kümeler Denklem (3.68)-(3.69) ile gösterilirler (Kuo-Ping, 2011):

$$\tilde{A}_i^U = \begin{cases} \frac{x - a_{il}^U}{a_{im}^U - a_{il}^U}, & a_{il}^U \leq x \leq a_{im}^U \\ \frac{a_{ir}^U - x}{a_{ir}^U - a_{im}^U}, & a_{im}^U \leq x \leq a_{ir}^U \end{cases} \quad (3.68)$$

$$\tilde{A}_i^L = \begin{cases} \frac{x - a_{il}^L}{a_{im}^L - a_{il}^L}, & a_{il}^L \leq x \leq a_{im}^L \\ \frac{a_{ir}^L - x}{a_{ir}^L - a_{im}^L}, & a_{im}^L \leq x \leq a_{ir}^L \end{cases} \quad (3.69)$$

$H(\tilde{A}_i^U)$; a_i^U elemanının $\tilde{A}_i^U$ üst üçgen üyelik fonksiyonundaki en büyük üyelik değerini ve $H(\tilde{A}_i^L)$; a_i^L elemanının $\tilde{A}_i^L$ alt üçgen üyelik fonksiyonundaki en büyük üyelik değerini ifade etmek üzere üçgen aralık tip 2 bulanık $\tilde{\tilde{A}}_i$ sayısının üyelik fonksiyonu Şekil 3.11’de gösterilmiştir. $\tilde{\tilde{A}}_1 = \left((a_{1l}^U; a_{1m}^U; a_{1r}^U); H(\tilde{A}_1^U) \right),$
 $\left((a_{1l}^L; a_{1m}^L; a_{1r}^L); H(\tilde{A}_1^L) \right) \right)$ ve $\tilde{\tilde{A}}_2 = \left((a_{2l}^U; a_{2m}^U; a_{2r}^U); H(\tilde{A}_2^U) \right), \left((a_{2l}^L; a_{2m}^L; a_{2r}^L);$

$H(\tilde{A}_2^L))$ üçgen aralık tip 2 bulanık sayıları için temel cebirsel işlemler Denklem (3.70)-(3.76)‘da verilmektedir (Kuo-Ping, 2011).



Şekil 3.11 : Üçgen aralık tip 2 bulanık sayının üyelik fonksiyonu.

Toplama:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = & \left(\left((a_{1l}^U + a_{2l}^U; a_{1m}^U + a_{2m}^U; a_{1r}^U + a_{2r}^U); \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^U); H(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \right. \\ & \left. \left((a_{1l}^L + a_{2l}^L; a_{1m}^L + a_{2m}^L; a_{1r}^L + a_{2r}^L); \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^L); H(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \right) \quad (3.70) \end{aligned}$$

Çıkarma:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = & \left(\left((a_{1l}^U - a_{2r}^U; a_{1m}^U - a_{2m}^U; a_{1r}^U - a_{2l}^U); \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^U); H(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \right. \\ & \left. \left((a_{1l}^L - a_{2r}^L; a_{1m}^L - a_{2m}^L; a_{1r}^L - a_{2l}^L); \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^L); H(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \right) \quad (3.71) \end{aligned}$$

Çarpma:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 \cong & \left(\left((a_{1l}^U \times a_{2l}^U; a_{1m}^U \times a_{2m}^U; a_{1r}^U \times a_{2r}^U); \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^U); H(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \right. \\ & \left. \left((a_{1l}^L \times a_{2r}^L; a_{1m}^L \times a_{2m}^L; a_{1r}^L \times a_{2r}^L); \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^L); H(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \right) \quad (3.72) \end{aligned}$$

Skalar $k > 0$ sayısı ile çarpma:

$$k\tilde{\tilde{A}}_1 = \left((k \times a_{1l}^U; k \times a_{1m}^U; k \times a_{1r}^U); H(\tilde{A}_1^U) \right),$$

$$\left((k \times a_{1l}^L; k \times a_{1m}^L; k \times a_{1r}^L); H(\tilde{A}_1^L) \right) \quad (3.73)$$

Bölme:

$$\frac{\tilde{\tilde{A}}_1}{\tilde{\tilde{A}}_2} \cong \left(\left(\left(\frac{a_{1l}^U}{a_{2r}^U}; \frac{a_{1m}^U}{a_{2m}^U}; \frac{a_{1r}^U}{a_{2l}^U} \right); enk \left(H(\tilde{A}_1^U); H(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \right.$$

$$\left. \left(\left(\frac{a_{1l}^L}{a_{2r}^L}; \frac{a_{1m}^L}{a_{2m}^L}; \frac{a_{1r}^L}{a_{2l}^L} \right); enk \left(H(\tilde{A}_1^L); H(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \right) \quad (3.74)$$

Ters Alma:

$$\frac{1}{\tilde{\tilde{A}}_1} \cong \left(\left(\left(\frac{1}{a_{1r}^U}; \frac{1}{a_{1m}^U}; \frac{1}{a_{1l}^U} \right); H(\tilde{A}_1^U) \right), \left(\left(\frac{1}{a_{1r}^L}; \frac{1}{a_{1m}^L}; \frac{1}{a_{1l}^L} \right); H(\tilde{A}_1^L) \right) \right) \quad (3.75)$$

Kök alma:

$${}^n\sqrt{\tilde{\tilde{A}}_1} = \left(\left(\left({}^n\sqrt{a_{1l}^U}; {}^n\sqrt{a_{1m}^U}; {}^n\sqrt{a_{1r}^U} \right); H(\tilde{A}_1^U) \right), \right.$$

$$\left. \left(\left({}^n\sqrt{a_{1l}^L}; {}^n\sqrt{a_{1m}^L}; {}^n\sqrt{a_{1r}^L} \right); H(\tilde{A}_1^L) \right) \right) \quad (3.76)$$

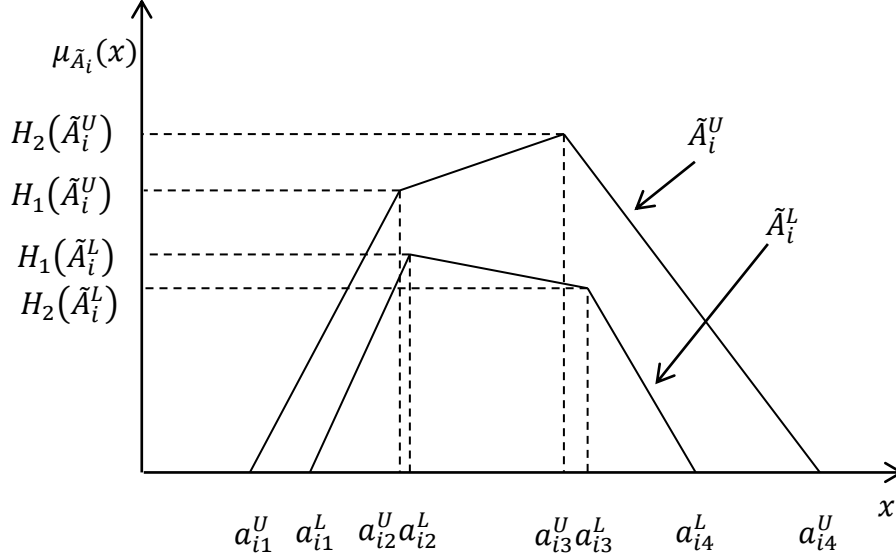
3.4.2.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık sayılar

Yamuk aralık tip 2 bulanık kümeler, $\tilde{A}_i^U$ ve $\tilde{A}_i^L$ tip 1 bulanık kümeler olmak üzere, $a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U, a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L$ ve a_{i4}^L yamuk aralık tip 2 bulanık $\tilde{\tilde{A}}_i$ kümesinin referans noktalarını, $H_j(\tilde{A}_i^U); 1 \leq j \leq 2$ olmak üzere $a_{j(j+1)}^U; \tilde{A}_i^U$ üst yamuk üyelik fonksiyonundaki üyelik değerini, $H_j(\tilde{A}_i^L); 1 \leq j \leq 2$ olmak üzere $a_{j(j+1)}^L$ elemanının $\tilde{A}_i^L$ alt yamuk üyelik fonksiyonundaki üyelik değerini ifade ettiğinde ve $H_1(\tilde{A}_i^U) \in [0,1], H_2(\tilde{A}_i^U) \in [0,1], H_1(\tilde{A}_i^L) \in [0,1], H_2(\tilde{A}_i^L) \in [0,1]$ ve $1 \leq i \leq n$ koşulları sağlandığında Denklem (3.77) ile gösterilirler (Chen ve Lee, 2010):

$$\tilde{\tilde{A}}_i = (\tilde{A}_i^U; \tilde{A}_i^L) = \left((a_{i1}^U; a_{i2}^U; a_{i3}^U; a_{i4}^U); H_1(\tilde{A}_i^U); H_2(\tilde{A}_i^U) \right),$$

$$\left((a_{i1}^L; a_{i2}^L; a_{i3}^L; a_{i4}^L); H_1(\tilde{A}_i^L); H_2(\tilde{A}_i^L) \right) \quad (3.77)$$

Yamuk aralık tip 2 bulanık $\tilde{A}_i$ sayısının üyelik fonksiyonu Şekil 3.12’de gösterilmiştir:



Şekil 3.12 : Yamuk aralık tip 2 bulanık sayının üyelik fonksiyonu.

$\tilde{A}_1 = \left(((a_{11}^U; a_{12}^U; a_{13}^U; a_{14}^U); H_1(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_1^U)), ((a_{11}^L; a_{12}^L; a_{13}^L; a_{14}^L); H_1(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_1^L)) \right)$ ve $\tilde{A}_2 = \left(((a_{21}^U; a_{22}^U; a_{23}^U; a_{24}^U); H_1(\tilde{A}_2^U); H_2(\tilde{A}_2^U)), ((a_{21}^L; a_{22}^L; a_{23}^L; a_{24}^L); H_1(\tilde{A}_2^L); H_2(\tilde{A}_2^L)) \right)$ yamuk aralık tip 2 bulanık sayıları için temel cebirsel işlemler Denklem (3.78)-(3.81)’de verilmektedir (Chen ve Lee, 2010). Yamuk aralık tip 2 bulanık sayılar için bölme, ters alma ve kök hesaplama Denklem (3.82)-(3.84)’te türetilmiştir:

Toplama:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = & \left(((a_{11}^U + a_{21}^U; a_{12}^U + a_{22}^U; a_{13}^U + a_{23}^U; a_{14}^U + a_{24}^U); \right. \\ & \left. enk(H_1(\tilde{A}_1^U); H_1(\tilde{A}_2^U)); enk(H_2(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_2^U))), \right. \\ & \left. ((a_{11}^L + a_{21}^L; a_{12}^L + a_{22}^L; a_{13}^L + a_{23}^L; a_{14}^L + a_{24}^L); \right. \\ & \left. enk(H_1(\tilde{A}_1^L); H_1(\tilde{A}_2^L)); enk(H_2(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_2^L))) \right) \quad (3.78) \end{aligned}$$

Çıkarma:

$$\begin{aligned}
\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = & \left((a_{11}^U - a_{24}^U; a_{12}^U - a_{23}^U; a_{13}^U - a_{22}^U; a_{14}^U - a_{21}^U); \right. \\
& \left. \text{enk} \left(H_1(\tilde{A}_1^U); H_1(\tilde{A}_2^U) \right); \text{enk} \left(H_2(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \\
& (a_{11}^L - a_{24}^L; a_{12}^L - a_{23}^L; a_{13}^L - a_{22}^L; a_{14}^L - a_{21}^L); \\
& \left. \text{enk} \left(H_1(\tilde{A}_1^L); H_1(\tilde{A}_2^L) \right); \text{enk} \left(H_2(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \quad (3.79)
\end{aligned}$$

Çarpma:

$$\begin{aligned}
\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 \cong & \left((a_{11}^U \times a_{21}^U; a_{12}^U \times a_{22}^U; a_{13}^U \times a_{23}^U; a_{14}^U \times a_{24}^U); \right. \\
& \left. \text{enk} \left(H_1(\tilde{A}_1^U); H_1(\tilde{A}_2^U) \right); \text{enk} \left(H_2(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \\
& (a_{11}^L \times a_{21}^L; a_{12}^L \times a_{22}^L; a_{13}^L \times a_{23}^L; a_{14}^L \times a_{24}^L); \\
& \left. \text{enk} \left(H_1(\tilde{A}_1^L); H_1(\tilde{A}_2^L) \right); \text{enk} \left(H_2(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \quad (3.80)
\end{aligned}$$

Skalar $k > 0$ sayısı ile çarpma:

$$\begin{aligned}
k\tilde{A}_1 = & \left((k \times a_{11}^U; k \times a_{12}^U; k \times a_{13}^U; k \times a_{14}^U); H_1(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_1^U) \right), \\
& \left((k \times a_{11}^L; k \times a_{12}^L; k \times a_{13}^L; k \times a_{14}^L); H_1(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_1^L) \right) \quad (3.81)
\end{aligned}$$

Bölme:

$$\begin{aligned}
\frac{\tilde{A}_1}{\tilde{A}_2} \cong & \left(\left(\frac{a_{11}^U}{a_{24}^U}; \frac{a_{12}^U}{a_{23}^U}; \frac{a_{13}^U}{a_{22}^U}; \frac{a_{14}^U}{a_{21}^U} \right); \text{enk} \left(H_1(\tilde{A}_1^U); H_1(\tilde{A}_2^U) \right); \text{enk} \left(H_2(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \\
& \left(\left(\frac{a_{11}^L}{a_{24}^L}; \frac{a_{12}^L}{a_{23}^L}; \frac{a_{13}^L}{a_{22}^L}; \frac{a_{14}^L}{a_{21}^L} \right); \text{enk} \left(H_1(\tilde{A}_1^L); H_1(\tilde{A}_2^L) \right); \text{enk} \left(H_2(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \quad (3.82)
\end{aligned}$$

Ters alma:

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\tilde{A}_1} \cong & \left(\left(\left(\frac{1}{a_{14}^U}; \frac{1}{a_{13}^U}; \frac{1}{a_{12}^U}; \frac{1}{a_{11}^U} \right); H_1(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_1^U) \right), \right. \\
& \left. \left(\left(\frac{1}{a_{14}^L}; \frac{1}{a_{13}^L}; \frac{1}{a_{12}^L}; \frac{1}{a_{11}^L} \right); H_1(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_1^L) \right) \right) \quad (3.83)
\end{aligned}$$

Kök hesaplama:

$$\begin{aligned} \sqrt[n]{\tilde{A}_1} \cong & \left(\left(\left(\sqrt[n]{a_{11}^U}; \sqrt[n]{a_{12}^U}; \sqrt[n]{a_{13}^U}; \sqrt[n]{a_{14}^U} \right); H_1(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_1^U) \right), \right. \\ & \left. \left(\left(\sqrt[n]{a_{11}^L}; \sqrt[n]{a_{12}^L}; \sqrt[n]{a_{13}^L}; \sqrt[n]{a_{14}^L} \right); H_1(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_1^L) \right) \right) \end{aligned} \quad (3.84)$$

3.4.2.3 Durulaştırma yöntemleri

Tip 2 bulanık sayılar için durulaştırma işlemi iki aşamalıdır. İlk aşamada tip 2 bulanık sayı tip indirgeme işlemiyle sıradan bir bulanık sayı olan tip indirgenmiş bulanık sayı olarak ifade edilir (Karnik ve Mendel, 2001). Tip indirgeme işlemi için pek çok farklı yöntem önerilmiştir. Bu bölümde en sık kullanılan yöntemlerden biri olan kütle merkezi tip indirgeme yöntemi ve aralık tip 2 bulanık sayılar için işlem kolaylığı sağlayan tip indirgeme indisleri yöntemi incelenecektir (Karnik ve Mendel, 2001; Niewiadomski ve diğ, 2006).

Kütle merkezi tip indirgeme (Centroid type reduction):

Kütle merkezi tip indirgeme işlemi aralık tip 2 bulanık kümenin tüm iliştirilmiş sıradan bulanık kümelerinin birleştirilmesi ve birleşim kümesinin merkezinin bulunması işlemidir. $\tilde{A}$ aralık tip 2 bulanık sayının kütle merkezi, $C_{\tilde{A}}$ ile ifade edilmek üzere $\tilde{A}$ aralık tip 2 bulanık sayının tüm iliştirilmiş sıradan bulanık sayılarının kütle merkezlerinin birleşimidir. $\tilde{A}$ aralık tip 2 bulanık sayı n_A adet iliştirilmiş sıradan bulanık kümeye sahip ise sıradan bulanık sayıya ait en büyük ve en küçüğü sırasıyla $c_l(\tilde{A}) \equiv c_l$ ve $c_r(\tilde{A}) \equiv c_r$ ile ifade edilen n_A adet kütle merkezi elde edilir. Aralık tip 2 bulanık sayıların üst üyelik fonksiyonu 1 üyelik değerini aldığından c_l ve c_r sırasıyla Denklem (3.85) ve (3.86)'da gösterilmek üzere ve $x_1 < x_2 < \dots < x_N$ olmak üzere $C_{\tilde{A}}$, Denklem (3.87) ile ifade edilir:

$$c_l = \underset{\forall \theta \in [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)]}{enk} \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} \right) \quad (3.85)$$

$$c_r = \underset{\forall \theta \in [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)]}{enb} \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} \right) \quad (3.86)$$

$$C_{\tilde{A}} = \frac{1}{\{c_l, \dots, c_r\}} \quad (3.87)$$

$C_{\tilde{A}}$ kütle merkezinin hesaplanması için Karnik ve Mernel (2001) 5'er adımdan oluşan iteratif iki algoritma önermişlerdir. $c_l(\tilde{A})$ için geliştirilen algoritma aşağıdaki adımlardan oluşur:

Adım 1. Denklem (3.85) için başlangıç adımında θ ; $\theta_i = \left(\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) \right) / 2$, $i = 1, \dots, N$ olarak belirlenir ve $c' = c(\theta_1, \dots, \theta_N) = \sum_{i=1}^N x_i \theta_i / \sum_{i=1}^N \theta_i$ hesaplanır.

Adım 2. $(1 \leq k \leq N - 1)$ olmak üzere $x_k \leq c' \leq x_{k+1}$ olacak şekilde k değeri bulunur.

Adım 3. θ_i 'ye $i \leq k$ iken $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)$ değeri, $i > k$ iken $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)$ değeri atanır ve Denklem (3.88)'te verilen $c_l(k)$ hesaplanır.

$$c_{l_k} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=k+1}^N x_i \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^k \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=k+1}^N \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)} \quad (3.88)$$

Adım 4. $c_l(k) = c'$ eşitliği sınanır. Eğer doğruysa algoritma durdurulur, $c_l(k) = c_l$ ataması yapılır ve k değeri k_L olarak adlandırılır. Aksi halde Adım 5'e gidilir.

Adım 5. $c' = c_l(k)$ ataması yapılır ve Adım 2'ye dönlür.

$c_r(\tilde{A})$ için geliştirilen algoritma aşağıdaki adımlardan oluşur:

Adım 1. Denklem (3.86) için başlangıç adımında θ ; $\theta_i = \left(\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) \right) / 2$, $i = 1, \dots, N$ olarak belirlenir ve $c' = c(\theta_1, \dots, \theta_N) = \sum_{i=1}^N x_i \theta_i / \sum_{i=1}^N \theta_i$ hesaplanır.

Adım 2. $(1 \leq k \leq N - 1)$ olmak üzere $x_k \leq c' \leq x_{k+1}$ olacak şekilde k değeri bulunur.

Adım 3. θ_i 'ye $i \leq k$ iken $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)$ değeri, $i > k$ iken $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)$ değeri atanır ve Denklem (3.89)'te verilen $c_r(k)$ hesaplanır.

$$c_{r_k} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=k+1}^N x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^k \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=k+1}^N \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)} \quad (3.89)$$

Adım 4. $c_r(k) = c'$ eşitliği sınanır. Eğer doğruysa algoritma durdurulur, $c_r(k) = c_r$ ataması yapılır ve k değeri k_R olarak adlandırılır. Aksi halde Adım 5'e gidilir.

Adım 5. $c' = c_r(k)$ ataması yapılır ve Adım 2'ye dönlür.

Tip indirgeme indisleri yöntemi:

Aralık tip 2 bulanık sayıların tip indirgemesi için Niewiadomski ve diğ. (2006) farklı bakış açılarının ifadeleri olan iyimser, kötümser, gerçekçi ve ağırlıklı ortalama indislerini önermişlerdir. X evrensel kümesinde tanımlı $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ alt üyelik fonksiyonuna ve $\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ üst üyelik fonksiyonuna sahip $\tilde{A}$ aralık tip 2 bulanık kümenin sıradan bulanık kümeye tip indirgemesinde $TI_i(\tilde{A})$; iyimser tip indirgeme, $TI_k(\tilde{A})$; kötümser tip indirgeme, $TI_g(\tilde{A})$; gerçekçi tip indirgeme ve $TI_{ao}(\tilde{A})$; ağırlıklı ortalama tip indirgeme indisleri tanımlanmıştır. $w_1 + w_2 = 1$ olmak üzere tanımlanan indisler Denklem (3.90)-(3.93)'te verilmiştir:

$$TI_i(\tilde{A}) = \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \quad x \in X \quad (3.90)$$

$$TI_k(\tilde{A}) = \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \quad x \in X \quad (3.91)$$

$$TI_g(\tilde{A}) = \frac{\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) + \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x)}{2} \quad x \in X \quad (3.92)$$

$$TI_{ao}(\tilde{A}) = w_1 \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) + w_2 \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \quad x \in X \quad (3.93)$$

3.5 Olabilirlik Kavramı

Olabilirlik teorisi, bulanık küme teorisinin genişletilmesiyle geliştirilmiş, belirsizliklerin modellenmesinde kullanılan matematiksel bir araçtır ve olabilirlik dağılımlarına dayanır (Zadeh, 1978). Olasılık teorisine bir alternatif veya olasılık teorisinin tamamlayıcısı olarak düşünülebilir. Olabilirlik teorisi tam olmayan, muğlak, tanımlanamayan veya kişisel bir bilgiyi kodlamaktadır, olasılık teorisi ise rastgele ve gerçekten gözlenmiş olaylara dayanmaktadır. Olasılık teorisinde rassal değişkenler ve olasılık dağılımları kullanılırken, olabilirlik teorisinde bulanık değişkenler ve olabilirlik dağılımları üzerinden işlemler yapılır. Literatürde olabilirlik teorisinin, olasılık teorisinin hem tamamlayıcısı olduğu yönünde hem de alternatifi olduğu yönünde farklı görüşler bulunmaktadır. Bu bölümde olabilirlik teorisine geçmeden, öncelikle olasılık teorisi hakkında kısa bir bilgi verilecektir.

3.5.1 Olasılık teorisi

Olasılık teorisi rassal olayları inceleyen bir matematik dalıdır. Rassallığın matematiksel ifadesi için Kolmogorov (1933) tarafından tanımlanan olasılık ölçümü olasılık aksiyomlarını sağlayan bir fonksiyonlar dizisidir. Herhangi bir A olayı için olasılık, $P(A)$ şeklinde ifade edilmektedir. Evrensel küme X ile ifade edilmek üzere olasılık aksiyomları şu şekildedir:

Aksiyom 1: (Normallik) $P(X) = 1$

Aksiyom 2: (Negatif olmama) $P(A) \geq 0, \forall A$

Aksiyom 3: (Sayılabilir toplanabilirlik) Herhangi bir ikişerli ayrışık sayılabilir olaylar dizisi $\{A_i\}$ için $P\{\cup_{i=1}^{\infty} A_i\} = \sum_{i=1}^{\infty} P\{A_i\}$ eşitliği geçerlidir.

Bir deney eşit olasılıklı N farklı sonuç verirse ve bu sonuçların M tanesi bir A olayına uygun ise, A olayının $P(A)$ ile gösterilen gerçekleşme olasılığı Denklem (3.94) ile ifade edilir (Akdeniz, 2004).

$$P(A) = \frac{\text{Uygun sonuçların sayısı}}{\text{Örnek uzaydaki tüm sonuçların sayısı}} = \frac{M}{N} \quad (3.94)$$

Olasılık teorisinde $P(A)$ ile gösterilmiş olan A olayının gerçekleşme olasılığı, A olayının gerçekleşmesi durumu için bir güvenilirlik ölçütüdür. $P(A)$ değeri arttıkça güvenilirlik artar. $P(A)$ ölçütü, A olayının gerçekleşmesi imkansızsa 0 değerini, A olayı kesin gerçekleşiyorsa 1 değerini alır (Dubois ve Prade, 1988).

3.5.2 Olabilirlik teorisi

Zadeh (1978), olabilirlik dağılımı kavramını, bir değişkene atanabilecek değerlere esnek bir kısıt olarak davranan bulanık bir kısıtlama şeklinde tanımlamıştır. Olabilirlik dağılımı kavramının tanımından olabilirlik teorisinin bulanık küme teorisiyle ilişkili olduğu görülmektedir. Olabilirlik teorisine göre; $U = \{u\}$ evreninin μ_F üyelik fonksiyonu ile karakterize edilen bir bulanık altkümesi olan F ve U evreninde değerler alan bir değişken olan X tanımlandığında, “ X, F ’dir” formundaki bir önerme, F ile u ’nun uyumluluğunu destekleyen ve X ’ in u değerini $\mu_F(u)$ değerine eşleştirmesi olabilirliğine özdeş olan Π_x olabilirlik dağılımını gösterir. Bu şekilde olasılık dağılımı ile ilişkilendirilmiş bir rassal değişkende olduğu gibi X, Π_x olabilirlik dağılımı ile ilişkilendirilmiş bir bulanık değişken haline dönüşür. Genellikle, bir değişken olabilirlik/olasılık tutarlılık prensibinde gösterildiği üzere

aralarında zayıf bir ilişki ile hem olasılık hem olabilirlik dağılımı ile ilişkilenebilir (Zadeh, 1978).

ξ değişkeni hakkındaki belirsizliği temsil eden olabilirlik dağılımında, X tanım kümesindeki her x elemanına bir olabilirlik derecesi $\Pi_{\xi}(x) \in [0,1]$ atanmaktadır. Olabilirlik dağılımı bulanık bir $\tilde{A}$ kümesinin üyelik fonksiyonu ile tanımlanarak $\Pi_{\xi}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x)$ ile gösterilebilir. $\Pi_{\xi}(x) = 0, \xi = x$ durumunun imkânsız olduğunu anlatır. $\Pi_{\xi}(x) = 1, \xi = x$ durumunun makul bir olay olduğunu ve hariç tutulamayacağını anlatır. Olasılığın 1 olması durumuna göre oldukça zayıf bir ifadedir. ξ değişkeni için X tanım kümesindeki elemanlardan sadece bir tanesi gerçek değer olacağından en az bir x elemanı için $\Pi_{\xi}(x) = 1$ 'dir ve bu durum normalizasyon koşulu olarak adlandırılır. En az bir değer tam anlamıyla olabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Olabilirlik teorisinde bulanık bir ξ değişkeni hakkında tamamen bilgisizlik durumunda $\forall x \in X$ için $\Pi_{\xi}(x) = 1$ 'dir. Çünkü aksi yönde bir bilgi mevcut değildir (Dubois ve Prade, 1988).

3.5.3 Olabilirlik ölçütleri

Olasılık teorisi bir olayın gerçekleşme beklentisini bir sayı kullanarak açıklar. Olabilirlik teorisinde ise bulanık bir olayın güvenilirliğinin ölçülmesinde olabilirlik ölçüsü ve gereklilik ölçüsü olmak üzere iki farklı ölçüt kullanılmaktadır. Genellikle, olabilirlik ölçütü olasılık ölçütüne paralel bir kavram olarak düşünülür. Gereklilik ölçütü ise olabilirlik ölçütünün dualidir (Dubois ve Prade, 1988). Zimmermann (1992), yüksek dereceli olabilirliğin yüksek dereceli olasılık anlamına gelmediğini belirtmektedir. Eğer bir olay olabilir değil ise aynı zamanda olası da değildir. Buradan görüldüğü üzere olabilirlik olasılığın bir üst sınırıdır.

3.5.3.1 Olabilirlik ölçütü

Olabilirlik ölçütü ilk olarak 1978 yılında Zadeh tarafından tanımlanmıştır. $\tilde{A}$; X evreninde tanımlı bir bulanık küme ve Π_{ξ} ; U evreninde değerler alan ξ değişkeni ile ilişkilendirilmiş bir olabilirlik dağılımı olmak üzere, ξ bulanık değişkeninin $\tilde{A}$ bulanık kümesine ait olması olayının olabilirliği $\Pi(\xi \in A)$ şeklinde ifade edilir ve Denklem (3.95) ile hesaplanır (Zadeh, 1978).

$$\Pi(\xi \in A) = eküs_{\xi \in \tilde{A}} enk\{\mu_{\tilde{A}}(x), \Pi_{\xi}(x)\} = eküs_{\xi \in \tilde{A}} \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (3.95)$$

Olabilirlik aksiyomları aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Zadeh, 1978):

Aksiyom 1: (Normallik) $\Pi(X) = 1$

Aksiyom 2: (Negatif olmama) $\Pi(\emptyset) = 0$

Aksiyom 3: (Maksimallik) Herhangi bir olaylar dizisi $\{\tilde{A}_i\}$ için, $\Pi(\bigcup_{i=1}^{\infty} \tilde{A}_i) = \bigvee_{i=1}^{\infty} \Pi(\tilde{A}_i) = eküs_i \Pi(\tilde{A}_i)$ eşitliği geçerlidir.

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$, U evrensel kümenin birer alt kümesi olmak üzere $\tilde{A} \cup \tilde{B}$ birleşim kümesinin olabilirlik ölçütü Denklem (3.96)'da gösterilmektedir.

$$\Pi(\tilde{A} \cup \tilde{B}) = enb \{\Pi(\tilde{A}); \Pi(\tilde{B})\} \quad (3.96)$$

$\tilde{A} \cap \tilde{B}$ kesişim kümesinin olabilirlik ölçütü Denklem (3.97)'de gösterilmektedir.

$$\Pi(\tilde{A} \cap \tilde{B}) \leq enk \{\Pi(\tilde{A}); \Pi(\tilde{B})\} \quad (3.97)$$

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ kümelerinin ayrık olması durumunda Denklem (3.97) Denklem (3.98)'e dönüşmektedir (Zadeh, 1978).

$$\Pi(\tilde{A} \cap \tilde{B}) = enk \{\Pi(\tilde{A}); \Pi(\tilde{B})\} \quad (3.98)$$

Olabilirlik ölçütü Denklem (3.99)'u sağlamaktadır (Dubois ve Prade, 1988).

$$enb \{\Pi(\tilde{A}); \Pi(\bar{\tilde{A}})\} = 1 \quad (3.99)$$

3.5.3.2 Gereklilik ölçütü

Dubois ve Prade (1988) olabilirlik ölçütünün tamamlayıcısı olarak N ile gösterilen gereklilik ölçütünü tanımlamaktadır. Denklem (3.98)'in dual aksiyomunu sağlayan gereklilik ölçütü Denklem (3.100)'de gösterilmektedir:

$$N(\tilde{A} \cap \tilde{B}) = enk \{N(\tilde{A}); N(\tilde{B})\} \quad (3.100)$$

Denklem (3.100) ancak ve ancak Denklem (3.101)'de gösterilen koşulun sağlanması durumunda gerçekleşir. Denklem (3.101) olabilirlik ve gereklilik yaklaşımları arasındaki dualite ilişkisinin sayısal ifadesidir. Sözel olarak “ Bir olayın tümleyeni imkânsızsa olayın olması gereklidir” şeklinde ifade edilir. $\xi \in A$ olayının gerekliliği $N(\xi \in A)$ ile gösterilir. $\bar{A}$ kümesi A kümesinin tümleyeni olmak üzere bir olayın gerekliliği Denklem (3.101) ile ifade edilmekte ve Denklem (3.102)'yi sağlamaktadır.

$$N(\xi \in A) = 1 - \Pi(\xi \in \bar{A}) = 1 - eküs_{\xi \in \bar{A}} \mu(x) \quad (3.101)$$

$$enk \{N(A); N(\bar{A})\} = 0 \quad (3.102)$$

Olabilirlik ölçütü ile gereklilik ölçütü arasında Denklem (3.103)-(3.105)'te verilen bağıntılar gerçekleşmektedir.

$$\forall A \subseteq U, \quad \Pi(A) \geq N(A) \quad (3.103)$$

$$N(A) > 0 \Rightarrow \Pi(A) = 1 \quad (3.104)$$

$$\Pi(A) < 1 \Rightarrow N(A) = 0 \quad (3.105)$$

Olabilirlik ve gereklilik birbirinin duali olan bulanık ölçüm çiftleridir. Ancak, olasılık teorisindeki durumdan farklı olarak Denklem (3.106)-(3.107)'te gösterildiği gibi ne olabilirlik ölçümü ne de gereklilik ölçümü kendine özgü dual değildir.

$$\Pi(\xi \in A) + \Pi(\xi \in \bar{A}) \geq 1 \quad (3.106)$$

$$N(\xi \in A) + N(\xi \in \bar{A}) \leq 1 \quad (3.107)$$

Örnek 3-3: (Zimmermann, 1992) Geçmiş tecrübelerle dayalı olarak, 6 öğrencinin yazılı sınavlardaki performanslarını bildiğimizi varsayalım. Çizelge 3.4'te bütün öğrencilerin A 'dan E 'ye harf notları için olabilirlik fonksiyonları verilmiştir:

Çizelge 3.4 : Öğrenci notları için olabilirlik değerleri.

Not Öğrenci	A	B	C	D	E
1	0,8	1	0,7	0	0
2	1	0,8	0,6	0,1	0
3	0,6	0,7	0,9	0,1	0
4	0	0,8	0,9	0,5	0
5	0	0	0,3	1	0,2
6	0,3	1	0,3	0	0

Öncelikle öğrenci-4'ün notlarına ait üyelik fonksiyonunun bir olabilirlik fonksiyonu olmadığını söyleyebiliriz çünkü $\Pi(X \neq 1)$ 'dir. Çizelgedeki bilgilere dayalı olarak “öğrenci-1 bir sonraki sınavda B alacaktır” ifadesinin olabilirliğini belirlemek istersek, bu durumda “ A ” kümesinin elemanı $\{B\}$ olacak ve $\bar{A} = \{A; C; D; E\}$ olacaktır. Böylece, $\Pi(A = 1)$ ve $N(A) = 1 - \Pi(\bar{A}) = 1 - eküs_{\bar{A}} (0,8; 0,7; 0; 0) = 0,2$ olarak hesaplanacaktır. Sonuç olarak öğrenci-1'in bir sonraki sınavda B notu alması olabilirliği 1 ve gerekliliği 0,2'dir.

Eğer ifademizi “öğrenci 1 veya 2 bir sonraki sınavda A veya B alacaktır” şeklinde değiştirirsek, bu durumda evrensel küme farklı tanımlanacak ve çizelgeki ilk iki satırdaki değerleri içerecektir. Tanımlanan ifade için $A = \{\text{öğrenci 1: } A \text{ veya } B \text{ veya öğrenci 2: } A \text{ veya } B\}$ kümesi belirlenebilir. Bu durumda $\Pi(A) = eküs_{\bar{A}}(0,8; 1; 1; 0,8) = 1$ olacak ve $N(A) = 1 - \Pi(\bar{A}) = eküs_{\bar{A}}(0,7; 0; 0; 0,6; 0,1; 0) = 1 - 0,7 = 0,3$ olarak bulunacaktır.

3.5.4 Olabilirlik ve olasılık karşılaştırması

Olasılık ve olabilirlik arasındaki en önemli fark bir olayın olasılığının, karşıt olayın olasılığını kesin olarak belirtebilmesidir. Bir olayın olabilirliği ya da gerekliliği ve karşıt olayın olabilirliği ya da gerekliliği zayıf olarak bağlıdır, yani A olayının belirsizliği karakterize edilirken hem olabilirlik hem de gereklilik ölçütlerinin değerlerinin ikisine birden ihtiyaç duyulur. Olasılık ölçütleri kesin fakat farklılaştırılmış bilgi bileşenlerine uygulanırken, olabilirlik ölçütleri kesin olmayan fakat tutarlı bilgi bileşenlerini de yansıtmaktadır. Bu özelliğinden dolayı olabilirlik fonksiyonları öznel belirsizlikleri ifade etmede daha uygundur (Dubois ve Prade, 1988). Bulanık küme modelleri özellikle belirsizliği açık bir şekilde modellemeye çalıştıklarından, kati olasılıklar bulanık kümelerle karşılaştırılamazlar. Göreli ve kısmi olasılıklar dilsel değişkenler kullanan olabilirlik ifadeleriyle karşılaştırılabilir (Zimmermann, 1992). Zadeh (1978) olasılık/ olabilirlik tutarlılığı prensibi ile olabilirliğin bir nevi olasılığın üst sınırı olduğunu ifade etmektedir. $\Pi = (\pi_1, \dots, \pi_n)$ olabilirliklerine ve $P = (p_1, \dots, p_n)$ olasılıklarına sahip X değişkeni, $u_1, \dots, u_n$ değerlerini alabiliyorsa, bu durumda P olasılık dağılımı ile Π olabilirlik dağılımının tutarlılık derecesi Denklem (3.108)’de verilmektedir:

$$\gamma = \pi_1 p_1 + \dots + \pi_n p_n \quad (3.108)$$

Olasılık/olabilirlik tutarlılığı prensibi, X değişkeninin olasılık dağılımının olabilirlik dağılımını hesaplamada bir temel oluşturmaktadır. Özellikle belirsizlik ortamında karar vermede ve tanıklığa, inanmaya dayalı teorilerde bu hesaplamalar önemli rol oynamaktadırlar.

Klir ve Yuan (1995) tarafından yapılan olasılık ve olabilirlik kavramlarının matematiksel açıdan karşılaştırması Çizelge 3.5’te gösterilmektedir:

Çizelge 3.5 : Olasılık ve olabilirlik kavramlarının matematiksel karşılaştırması (Klir ve Yuan, 1995).

Olasılık Teorisi	Olabilirlik Teorisi
Olasılık ölçüsüne dayanır.	Olabilirlik ve gereklilik ölçütlerine dayanır.
Teklikler ile ispatlanır.	İç içe geçmiş altkümeler ailesi ile ispatlanır.
Olasılık dağılım fonksiyonu ile tek bir gösterimi vardır.	Olabilirlik dağılım fonksiyonu ile tek bir gösterimi vardır.
$p: X \rightarrow [0,1]$ iken $P(A) = \sum_{x \in A} p(x)$	$r: X \rightarrow [0,1]$ iken $\Pi(A) = \text{enb}_{x \in A} r(x)$
Normalizasyon: $\sum_{x \in X} p(x) = 1$	Normalizasyon: $\text{enb}_{x \in X} r(x) = 1$
Toplanabilirlik:	Enb/enk kuralları:
$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$	$\Pi(A \cup B) = \text{enb}[\Pi(A); \Pi(B)]$
	$N(A \cap B) = \text{enk}[N(A); N(B)]$
Uygulanamamaktadır.	$N(A) = 1 - \Pi(\bar{A})$
	$\Pi(A) < 1 \Rightarrow N(A) = 0$
	$N(A) > 0 \Rightarrow \Pi(A) = 1$
$P(A) + P(\bar{A}) = 1$	$\Pi(A) + \Pi(\bar{A}) \geq 1$
	$N(A) + N(\bar{A}) \leq 1$
	$\text{enb}[\Pi(A); \Pi(\bar{A})] = 1$
	$\text{enk}[N(A); N(\bar{A})] = 0$
Genel bilgi eksikliği:	Genel bilgi eksikliği:
$p(x) = 1/ X , \quad \forall x \in X$	$r(x) = 1, \quad \forall x \in X$
Koşullu olasılıklar:	Koşullu olabilirlikler:
$p_{X Y}(x y) = p(x, y)/p_Y(y)$	$r_{X Y}(x y) = \begin{cases} r_X(x), & r_X(x) < r_Y(y) \\ [r_Y(y), 1], & r_X(x) \geq r_Y(y) \end{cases}$
$p_{Y X}(y x) = p(x, y)/p_X(x)$	$r_{Y X}(y x) = \begin{cases} r_Y(y), & r_Y(y) < r_X(x) \\ [r_X(x), 1], & r_Y(y) \geq r_X(x) \end{cases}$
Olasılıksal etkileşimler:	Olabilirsel etkileşimler:
$p(x, y) = p_X(x) \cdot p_Y(y) \quad (a)$	$r(x, y) = \text{enk}[r_X(x); r_Y(y)] \quad (\alpha)$
Olasılıksal bağımsızlık:	Olabilirsel bağımsızlık:
$p_{X Y}(x y) = p_X(x)$	$r_{X Y}(x y) = r_X(x) \quad (\beta)$
$p_{Y X}(y x) = p_Y(y) \quad (b)$	$r_{Y X}(y x) = r_Y(y)$
$(a) \Leftrightarrow (b)$	$(\beta) \Rightarrow (\alpha) \text{ ama } (\alpha) \not\Rightarrow (\beta)$

3.5.5 Güvenilirlik teorisi

Güvenilirlik ölçütü, olabilirlik ölçütü ve gereklilik ölçütünün ortalamasıdır ve kendine özgü dualdır (Liu, 2002). Bu yönde güvenilirlik ölçütü, olasılık ölçütüne benzer özellikler gösterir. Güvenilirlik ölçütü bulanık dünyada olasılık ölçütünün rolünü oynar (Peng ve diğ, 2005). ξ bulanık değişkeninin X tanım kümesinin bir alt kümesi olan $\tilde{A}$ kümesine ait olması olayının güvenilirliği, $Cr(\xi \in \tilde{A})$ şeklinde ifade edilmektedir ve olabilirlik ve gereklilik ölçümlerine bağlı üçüncü bir ölçüm olarak Denklem (3. 109)-(3.110)'da tanımlanmıştır:

$$Cr(\xi \in \tilde{A}) = \frac{1}{2} (\Pi(\xi \in \tilde{A}) + N(\xi \in \tilde{A})) \quad (3. 109)$$

$$Cr(\xi \in \tilde{A}) = \frac{1}{2} \left(eküs_{\xi \in \tilde{A}} \mu(x) + 1 - eküs_{\xi \in \tilde{A}} \mu(x) \right) \quad (3. 110)$$

3.6 Bulanık Sayıların Sıralanması

Sıradan bulanık sayıların sıralanmasında birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan yatırım analizlerinde en çok kullanılan yöntemlerden olan ağırlıklı sıralama yöntemi ve üç kriter yöntemi bu bölümde anlatılmaktadır. Ayrıca literatürde yatırım alternatiflerinin sıralanmasında kullanılmamış olan ancak sıralama sırasında karar vericiye belirsizliğin boyutu ile ilgili bilgi veren olabilirlik ölçütleri de detaylı olarak açıklanmıştır. Olabilirlik ölçütleri ile sıralama ilerleyen bölümlerde yatırım alternatiflerinin sıralanmasında kullanılacaktır.

Tip 2 bulanık sayıların sıralanması iki adımda gerçekleştirilir. İlk adımda Bölüm 3.4.2.3'de detayları verilmiş olan tip indirme yöntemlerinden biri ile tip 2 bulanık sayılar sıradan bulanık sayılara dönüştürülür. İkinci adımda sıradan bulanık sayıları sıralama yöntemlerinden biri uygulanarak sıralama yapılmaktadır. Durulaştırma yöntemlerinden herhangi biri kullanılarak elde edilen sıradan bulanık sayıların klasik eşdeğerlerinin de sıralanması ile de sıralama yapılabilir.

3.6.1 Olabilirlik ölçütlerinin sıralamada kullanımı

Bir bulanık sayı, farklı üyelik derecelerine sahip birden çok sayıyı ifade etmektedir. Sonuçlar bulanık sayı ile ifade edildiğinde özellikle seçim yapması gereken karar vericiler hangi alternatifin daha tercih edilir olduğunu sınamakta zorlanmaktadırlar.

Bu nedenle birçok araştırmacı bulanık sayıları karşılaştırmak için farklı bulanık sıralama yöntemleri önermiştir (Chen ve diğ., 1992).

Kahraman ve Tolga (2009), çalışmalarında, bulanık sıralama yöntemlerini incelemiş ve yöntemlerin alıntılanma sayılarına göre tercih edilebilirliklerini belirlemişlerdir. Bu çalışmada Dubois ve Prade (1983)'nin geliştirdiği olabilirlik ölçütlerinin bulanık sayıların karşılaştırılmasında kullanımı en çok tercih edilen karşılaştırma yöntemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dubois ve Prade (1983), $\tilde{M}$ bulanık sayısının $\tilde{N}$ bulanık sayısından büyük olup olmadığını bulmak amacıyla $\tilde{N}$ bulanık sayısının, $\tilde{M}$ bulanık sayısına göre durumunu belirleyen ve Denklem (3.111)-(3.114)'te verilen dört indisi önermişlerdir.

$$\begin{aligned}\Pi_M([N, +\infty)) &= \Pi(x \geq N | x \text{ is } M) \\ &= eküs_{\underset{u}{}} enk(\mu_M(u); eküs_{\underset{v \leq u}{}} \mu_N(v)) \\ &= eküs_{\underset{v}{}} enk(\mu_N(v); eküs_{\underset{u \geq v}{}} \mu_M(u))\end{aligned}\quad (3.111)$$

$$\begin{aligned}\Pi_M(]N, +\infty)) &= \Pi(x > N | x \text{ is } M) \\ &= eküs_{\underset{u}{}} enk(\mu_M(u); enaz_{\underset{v \geq u}{}} 1 - \mu_N(v)) \\ &= eküs_{\underset{u}{}} enaz_{\underset{v \geq u}{}} enk(\mu_M(u); 1 - \mu_N(v))\end{aligned}\quad (3.112)$$

$$\begin{aligned}N_M([N, +\infty)) &= N(x \geq N | x \text{ is } M) \\ &= enaz_{\underset{u}{}} enb\left(1 - \mu_M(u); eküs_{\underset{v \leq u}{}} \mu_N(v)\right) \\ &= enaz_{\underset{u}{}} eküs_{\underset{v \leq u}{}} enb\left((1 - \mu_M(u)); \mu_N(v)\right)\end{aligned}\quad (3.113)$$

$$\begin{aligned}N_M(]N, +\infty)) &= N(x > N | x \text{ is } M) \\ &= enaz_{\underset{u}{}} enb\left(1 - \mu_M(u); enaz_{\underset{v \geq u}{}} (1 - \mu_N(v))\right) \\ &= 1 - eküs_{\underset{u \leq v}{}} enk(\mu_M(u); \mu_N(v))\end{aligned}\quad (3.114)$$

Her bir $\alpha \in [0,1]$ değeri için A^α 'lerin alt ve üst sınır değerlerini $\underline{A}^\alpha = enaz\{x \in A^\alpha\}$ ve $\overline{A}^\alpha = eküs\{x \in A^\alpha\}$ olarak ifade etmek mümkündür. Eğer $\tilde{A}$ bulanık sayısı, kar gibi yüksek değerleri daha iyi olarak kabul edilen bir büyüklüğü ifade

ediyorsa, α -seviyesinde olabilirlikte iyimser bir kişi $\tilde{A}$ ile ifade edilen büyüklüğün gerçek değerinin $\bar{A}^\alpha$ değerine yakın ve bu değerden büyük olmayan değerler olarak gerçekleşeceğini kabul edebilir. Bunun yanında kötümser bir karar verici $\underline{A}^\alpha$ değerine yakın ve bu değerden küçük olmayan değerlerin gerçekleşeceğini kabul eder. Eğer $\tilde{A}$ bulanık sayısı, maliyet gibi düşük değerleri daha iyi olarak kabul edilen bir büyüklüğü ifade ediyorsa iyimser ve kötümser karar vericilerin beklentileri tersi yönde olacaktır. Bu açıklamadan yola çıkarak yukarıda verilen indislerin yorumlanması aşağıdaki gibidir:

$[0,1]$ aralığındaki tüm α değerleri için $\underline{N}^\alpha$ değerine yakın ve bu değerden küçük olmayan değerler, $\bar{M}^\alpha$ değerine yakın ve bu değerden büyük olmayan değerlerden küçük veya eşit ise $\Pi_M([N, +\infty))$ değeri yüksektir.

$[0,1]$ aralığındaki tüm α değerleri için $\bar{N}^\alpha$ değerine yakın ve bu değerden büyük olmayan değerler, $\bar{M}^\alpha$ değerine yakın veya bu değerden büyük olmayan değerlerden küçük veya eşit ise $\Pi_M([N, +\infty))$ değeri yüksektir.

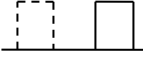
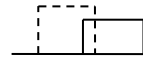
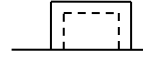
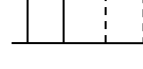
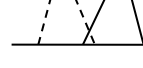
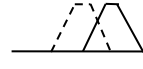
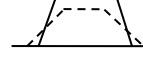
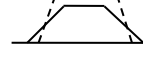
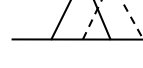
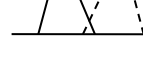
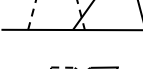
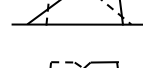
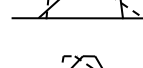
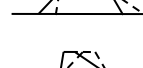
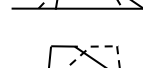
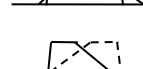
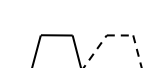
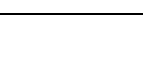
$[0,1]$ aralığındaki tüm α değerleri için $\underline{N}^\alpha$ değerine yakın ve bu değerden küçük olmayan değerler, $\underline{M}^\alpha$ değerine yakın ve bu değerden küçük olmayan değerlerden küçük veya eşit ise $N_M([N, +\infty))$ değeri yüksektir.

$[0,1]$ aralığındaki tüm α değerleri için $\bar{N}^\alpha$ değerine yakın ve bu değerden büyük olmayan değerler, $\underline{M}^\alpha$ değerine yakın ve bu değerden küçük olmayan değerlerden küçük veya eşit ise $N_M([N, +\infty))$ değeri yüksektir.

Bu dört indis, karar vericinin davranışları ve istekleri doğrultusunda, iyimser veya kötümser olmasına ve ilgili büyüklüklerin büyük ya da küçük olmasına göre iki bulanık sayının karşılaştırılmasını sağlamaktadır.

Bulanık sayıların indis değerlerine göre konumları ve aralarındaki ilişkiler Çizelge 3.6'da özetlenmektedir.

Çizelge 3.6 : Bulanık sayıların indis değerlerine göre konumları (Dubois ve Prade, 1983).

$\Pi_M([N, +\infty))$	$\Pi_M(]N, +\infty))$	$N_M([N, +\infty))$	$N_M(]N, +\infty))$	Konum
1	1	1	1	
1	1	1	0	
1	1	0	0	
1	0	1	0	
0	0	0	0	
1	Yüksek	Yüksek	Yüksek	
1	Yüksek	Yüksek	Düşük	
1	Yüksek	Düşük	Düşük	
1	Düşük	Yüksek	Düşük	
1	Düşük	Düşük	Düşük	
Düşük	Düşük	Düşük	0	
1	Yüksek	Yüksek	Orta	
1	Yüksek	Orta	Düşük	
1	Orta	Yüksek	Düşük	
1	Orta	Orta	Düşük	
Yüksek	Orta	Orta	0	
Yüksek	Orta	Yüksek	0	
Yüksek	Yüksek	Orta	0	
Orta	Düşük	Düşük	0	

3.6.2 Ağırlıklı sıralama yöntemi

Chiu ve Park (1994) bulanık sayıların sıralanması için, w ile simgelenen ve genellikle en olası değere ve diğer etmenlere göre karar verici tarafından belirlenen bir tercih katsayısı kullanmışlardır. Tercih katsayısı belirlenirken, en olası değer in büyüklüğü önemliyse $w = 0,3$ gibi büyük değerler aksi halde $w = 0,1$ gibi küçük değerler tavsiye edilmektedir. $\tilde{M} = (M_{i_l}; M_{i_m}; M_{i_r})$ bulanık sayısı için, M_{i_l} ; en düşük olası değeri, M_{i_m} ; en olası değeri ve M_{i_r} ; en yüksek olası değeri ifade ettiğinde, $M_{i_{CP}}$ ile gösterilen öncelik değeri Denklem (3.115)'te verilmektedir. $\tilde{M} = (M_{i_l}; M_{i_m}; M_{i_r})$ ve $\tilde{N} = (N_{i_l}; N_{i_m}; N_{i_r})$ bulanık sayıları $M_{i_{CP}} > N_{i_{CP}}$ ise $\tilde{M} > \tilde{N}$ şeklinde sıralanır (Chiu ve Park, 1994).

$$M_{i_{CP}} = \left(\frac{M_{i_l} + M_{i_m} + M_{i_r}}{3} \right) + wM_{i_m} \quad (3.115)$$

3.6.3 Üç kriter sıralama yöntemi

Kaufmann ve Gupta (1988) üçgen bulanık sayıların sıralanması için üç kriter sıralama yöntemini önermişlerdir. Yöntemde ilk kriter sıradan sayıların, ikinci kriter modların ve üçüncü kriter menzilin karşılaştırılmasıdır. $\tilde{M} = (m_l; m_m; m_r)$ üçgen bulanık sayısı için, ilk kriter olan sıradan sayı, M_{KG} sembolü ile ifadelendirilmekte ve Denklem (3.116) ile elde edilmektedir. $\tilde{M}$ bulanık sayısının modu m_m , menzili $(m_r - m_l)$ 'dir .

$$M_{KG} = \frac{m_l + 2m_m + m_r}{4} \quad (3.116)$$

Bu yöntemde en büyük sıradan sayıya sahip bulanık sayı, bahsi geçen bulanık sayıların en büyüğü olarak nitelendirilmektedir. Sıradan sayıların eşit olması durumunda modu büyük olan bulanık sayı, bahsi geçen bulanık sayıların en büyüğü olarak nitelendirilmektedir. Sıradan sayıları ve modları eşit olan bulanık sayılarda menzili büyük olan bulanık sayı, bahsi geçen bulanık sayıların en büyüğü olarak nitelendirilmektedir (Kaufmann ve Gupta, 1988).

3.7 Bulanık Sayıların Varyansı

Varyans eşdeğerlerini hesaplamak için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan bazıları bulanık varyansın aralığını vermekte, bazıları ise bulanık sayılar için klasik

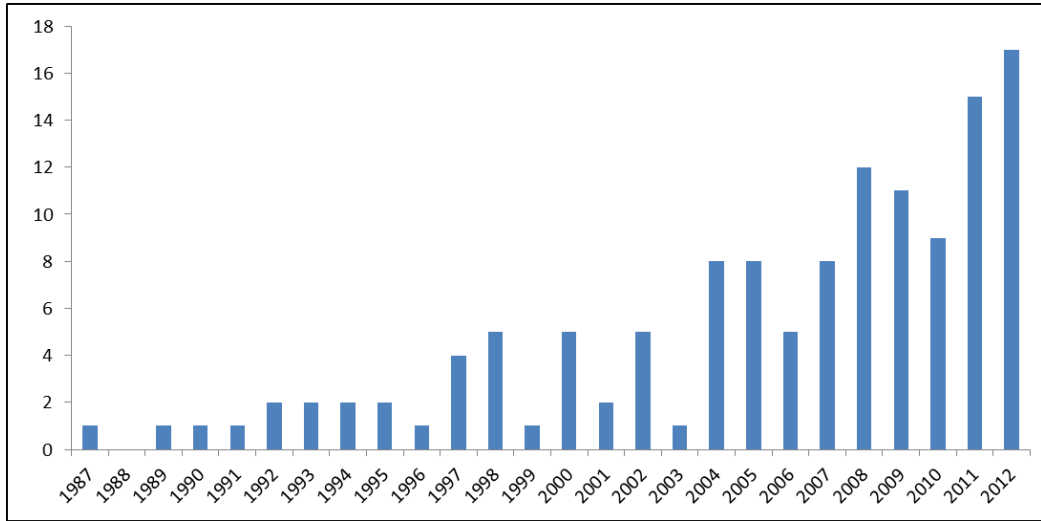
varyanslar tanımlamaktadır. Tez bünyesinde Carlsson ve Fuller (2001)'in geliştirdiği bulanık sayıların varyanslarının klasik eşdeğerleri kullanılacaktır.

Carlsson ve Fuller (2001) $\tilde{A} = (A_l; A_m; A_r)$ üçgen bulanık sayısının varyansını hesaplamak için, σ_A ; $\tilde{A}$ 'nın standart sapmasını ve γ ; α -kesim seviyesini ifade etmek üzere Denklem (3.117)'yi önermiştir (Detaylı bilgi için bkz. Carlsson ve Fuller, 2001):

$$\begin{aligned} Var(A) = \sigma_A^2 &= \frac{1}{2} \int_0^1 \gamma ((A_m - A_l)\gamma + (A_l - A_r) + (A_r - A_m)\gamma)^2 \\ &= \frac{(A_r - A_l)^2}{24} \end{aligned} \quad (3.117)$$

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür çalışması, bulanık mantık kullanılan mevcut yatırım analizi çalışmalarını ortaya koyabilmek için yapılmıştır. Bulanık mantık kullanılan yatırım analizi konulu çalışmalar ile ilgili tarama için Sciencedirect ve Taylor & Francis veri tabanlarında, başlıklarında, anahtar sözcüklerinde ve özetlerinde “bulanık yatırım”, “bulanık şimdiki değer”, “bulanık gelecek değer”, “bulanık kazanç maliyet oranı”, “bulanık nakit akışları”, “ bulanık geri dönüş oranı”, ”bulanık muhasebe”, “bulanık anapara bütçeleme” ve “bulanık geri dönüş süresi” kelime gruplarını içeren yayınlar taranmıştır. İlk arama yapılan 2009 yılı Ocak ayına kadar yayımlanan toplam 306 yayın belirlenmiştir. İkinci aramanın yapıldığı 2 Mayıs 2012 tarihine kadar yayımlanan toplam 532 yayın belirlenmiştir. Yayınların özetleri incelendiğinde bunlardan 129 tanesinin yatırım değerlendirme ile doğrudan alakalı olduğu görülmüştür. Yatırım değerlendirme konusunda tespit edilen çalışmalar Şekil. 4.1’de yıllara göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.1 : Makalelerin yayımlandıkları yıllara göre sınıflandırılması.

Yatırım değerlendirme konusundaki yayınlar kullandıkları yöntemlere göre sınıflandırılmış ve Çizelge 4.1 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1 : Literatür taraması sonucu yayın sınıflandırması.

Kullanılan Yöntem	Yayınlar
Bulanık Net Şimdiki Değer	Ward (1985), Buckley (1987), Kaufmann ve Gupta (1988), Chiu ve Park (1994, 1998), Chan ve diğ. (2000), Kuchta (2000), Karsak ve Tolga (2001), Kahraman ve diğ. (2002), Tercenno ve diğ. (2003), Kahraman ve diğ. (2004), Beşkese ve diğ. (2004), Yao ve diğ. (2005), Sheen (2005a, 2005b), Kahraman ve diğ. (2006), Sevastjanov ve diğ. (2006), Huang (2007), Omitaomu ve Badiru (2007), Dietz ve diğ. (2008), Aguilar-Lasserre ve diğ. (2009a, 2009b), Xu ve diğ. (2009), Shahriari (2011), Bhattacharyya ve diğ. (2011), Tsao (2012), Neto ve diğ. (2012), Xu ve diğ. (2012).
Bulanık Net Gelecek Değer	Buckley (1987), Chiu ve Park (1994), Kuchta (2000), Kahraman ve diğ. (2002), Kahraman ve diğ. (2006).
Bulanık Eşdeğer Düzgün Ödeme Analizi	Kahraman ve diğ. (2002), Tolga ve diğ. (2005), Sheen (2005a), Kahraman ve diğ. (2006), Liou ve Chen (2006), Tsao (2012).
Bulanık Geri Ödeme Süresi	Karsak (1998), Kuchta (2000), Kahraman ve diğ. (2002), Sheen (2005a, 2005b).
Bulanık Fayda Maliyet Oranı	Wang ve Liang (1995), Kahraman ve diğ. (2000), Kahraman ve diğ. (2002), Sheen (2005a), Kahraman ve diğ. (2006).
Bulanık Yenileme Analizi	Chang (2005), Tolga ve diğ. (2005).
Reel Opsiyonlar	Carlsson ve Fuller (2003), Tao ve diğ. (2007), Carlsson ve diğ. (2007), Uçal ve Kahraman (2009), Zmeskal (2010), Liao ve Ho (2010a), Ho ve Liao (2011), Lee ve Lee (2011), Bednyagin ve Gnansounou (2011), Damghani ve diğ. (2011), Mao ve Wu (2011), You ve diğ. (2012), Tavana ve Zandi (2012).
Bulanık Verim Oranı Analizi	Pohjola ve Turunen (1990), Buckley (1992), Carlsson and Fuller (1998), Kuchta (2000), Kahraman ve diğ. (2002), Tercenno ve diğ. (2003), Kahraman ve diğ. (2006), Sevastjanov ve diğ. (2006), Sewastjanow ve Dymowa (2008), Baş (2008), Wee ve diğ. (2009), Bas ve Kahraman (2009).
Diğer Yöntemler	Serguieva ve Hunter (2004), de Andres Sanchez ve Gomez (2004), Ammar ve Khalifa (2005), Sorenson ve Lavelle (2008), Khashei ve diğ. (2008), Liang ve Gao (2008), Kahraman (2008), Huang (2008), Sakallı ve Baykoç (2010), Cheng ve diğ. (2010), Kahraman ve Kaya (2010), Liao ve Ho (2010b), Cheng ve Roy (2011), Liu ve Jiang (2012).

Yatırım analizi konusunda yapılmış çalışmalar aşağıda türlerine göre sınıflandırılarak incelenmektedir:

Makaleler: Buckley (1987) finans matematiğindeki bileşik basit faiz oranı problemleri için bulanık eşdeğer geliştirmiştir. Bulanık faiz oranı kullanarak klasik ya da bulanık sayı ile ifade edilebilen n dönem için bulanık şimdiki değeri ve bulanık gelecek değeri formüle etmiştir. Aynı zamanda bulanık yatırım alternatiflerini sıralamak için bulanık net nakit akışlarını karşılaştırmıştır. Pohjola ve Turunen (1990) karlılık analizini bulanık veriler için genişletmişlerdir. İç verim oranını tip 2 bulanık sayılarla ifade etmişler, karlılık ölçüsü olarak tip 2 bulanık iç verim oranının öznel bir ortalamasının seçilmesini önermişlerdir. Buckley (1992) bulanık doğrusal, doğrusal olmayan ve diferansiyel denklemlerin çözümü için önerdiği yöntemi iç verim oranına uygulamıştır. Chiu ve Park (1994) çalışmalarında belirsiz nakit akışlarını ve faiz oranını üçgen bulanık sayılar ile ifade etmişler ve bulanık şimdiki değer analizini geliştirmişlerdir. Wang ve Liang (1995) bulanık ortamda fayda maliyet analizini gerçekleştirebilmek için iki algoritma önermişlerdir. İlk algoritma bulanık fayda maliyet oranını, ikinci algoritma bulanık fayda maliyet artış oranını vermektedir. Chiu ve Park (1998) üçgen bulanık sayılar için bulanık şimdiki değer analizini geliştirmişler, şimdiki zaman kriterini kullanarak bulanık projelerde önceliklendirme amaçlı bir baskın proje belirleme yöntemi önermişlerdir. Karsak (1998) bulanık geri dönüş süresi yöntemini geliştirmiştir ve yatırım alternatiflerinin seçiminde proje süresinin etkisini yorumlamıştır. Carlsson ve Fuller (1998) bulanık nakit akışları içeren yatırım analizi problemlerinde olabilirlik dağılımlarını kullanarak iç verim oranı karar kuralını incelemişlerdir. Chan ve diğ. (2000) bulanık nakit akışlarını kullanan ekonomik kriterler belirleyerek bir teknoloji seçme algoritması önermişlerdir. Kahraman ve diğ. (2000) bulanık fayda maliyet oranı yöntemini, bulanık düzgün ödeme değerini esas alarak kullanmışlardır. Kuchta (2000) birçok klasik yatırım seçim yöntemlerinin bulanık eşdeğerlerini önerdiği çalışmada aralık tipi bulanık sayıları kullanmıştır. Bulanık geri ödeme süresi, bulanık net şimdiki değer analizi, bulanık net gelecek değer analizi, bulanık net şimdiki değer yararlılığı analizi ve bulanık iç verim oranı analizi formüllerini tanımlamış, bulanık nakit akışları, bulanık faiz oranı ve bulanık proje ömrü durumlarında yatırım değerlendirmeyi incelemiştir. Karsak ve Tolga (2001) önerdikleri bulanık karar algoritmasında ekonomik kriterlerin değerlendirilmesinde bulanık iskontolu nakit akışları analizi kullanmışlardır. Kahraman ve diğ. (2002) kesikli ve sürekli iskontoloma durumlarında bulanık net şimdiki değer, bulanık eşdeğer düzgün ödeme değeri, bulanık gelecek değer, bulanık fayda-maliyet oranı ve

bulanık geri dönüş süresi formüllerini geometrik ve trigonometrik nakit akışları için geliştirmişlerdir. Tercenno ve diğ. (2003) bulanık nakit akışları için bulanık net şimdiki değer ve bulanık iç verim oranı formüllerini geliştirmişler, olabirsel matematiksel bir program ile bulanık sayıların sıralanmasını incelemişlerdir. Carlsson ve Fuller (2003) reel opsiyon değerlemesi için bir bulanık yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmada beklenen nakit akışları ve beklenen maliyetler yamuk bulanık sayılar ile değerlendirilerek bulanık kümelerde sezgisel bir reel opsiyon kuralı oluşturulmuştur. Kahraman ve diğ. (2004) belirsiz nakit akışı ve faiz oranının üçgen bulanık sayılar ile ifade edildiği, bulanık net şimdiki değer temelli bulanık mühendislik ekonomisi karar modelleri önermişlerdir. De Andres Sanchez ve Gomez (2004) üçgen bulanık sayılarla bulanık regresyon kullanarak hazine bonoları için ortalama faiz oranı tahmini gerçekleştirmişlerdir. Beşkese ve diğ. (2004) imalat esnekliğini sayısallaştırmak için bulanık nakit akışlarının ve bulanık faiz oranının üçgen bulanık sayılarla ifade edildiği bulanık şimdiki değer ve bulanık matematiksel programlama temelli bulanık modeller önermişlerdir. Serguieva ve Hunter (2004) önerdikleri bir bulanık kriter ile her bir yatırım fırsatı ile ilgili riskin bir ölçüsünü tanımlamışlardır. Yao ve diğ. (2005) bir bulanık iskontolu nakit akışı formülü geliştirmişler ve klasik durum ile bulanık durumun arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Sheen (2005a, 2005b) bulanık net şimdiki değer, bulanık geri dönüş süresi ve bulanık fayda maliyet oranı yöntemlerini Mellin transformu kullanarak geliştirmiştir. Tolga ve diğ. (2005) karar vericiler için bir işletim sistemi seçim iskeleti kurma amaçlı bulanık yenileme analizi ve bulanık analitik hiyerarşi sürecinde oluşan bir yöntem sunmuşlardır. Önerilen yöntemde bulanık yenileme analizi karar verme sürecinde ekonomik faktörlerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Chang (2005) makine yenilemesi için bulanık bir yöntem önermiştir. Amortisman parametrelerinin bulanık modellemesi, bulanık stratejik yenileme ve bulanık ekonomik ömür kavramlarını tanımlamıştır. Ammar ve Khalifa (2005) yamuk bulanık sayılar kullanarak bir yatırım probleminin en iyi karını belirlemeyi hedefleyen bir algoritma önermişlerdir. Liou ve Chen (2006) belirsiz nakit akışlarını ve faiz oranlarını üçgen bulanık sayılar ile ifade ederek bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizini geliştirmişlerdir. Çalışmada üçgen bulanık sayılar kullanılmış, bulanık sermaye açığını kapatma faktörü ve bulanık amortisman faktörleri tanımlanmıştır. Huang (2007) bulanık net düzgün nakit akışları ve bulanık yatırım harcamaları olduğunda kullanılmak üzere güvenilirlik ölçüsü temelli bir yaklaşım geliştirmiştir. Omitaomu ve Badiru (2007)

üçgen bulanık sayıları temel alan bulanık şimdiki değer analizi ile bilgi sistemi projelerinin ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır. Carlsson ve diğ. (2007) bulanık nakit akışlarının yamuk bulanık sayılarla ifade edilmesi durumunda, araştırma geliştirme projelerindeki opsiyonları değerlendirmek için reel opsiyon temelli bir yöntem geliştirmişlerdir. Liang ve Gao (2008) bulanık girdiler ve çoklu çelişen amaç durumu için yatırımın getirisini rassal olarak enbüyükleyen ve genetik algoritma temelli bulanık benzetim ile çözümlenen bir model geliştirmişlerdir. Sorenson ve Lavelle (2008) belirsiz yatırımlarda şimdiki değer analizi kullanıldığında bulanık kümeleri ve olasılık paradigmalarını karşılaştırarak alternatifleri sıralayan bir yaklaşım önermişlerdir. Khashei ve diğ. (2008) yapay sinir ağları ve bulanık regresyon modelleri temelli yeni bir hibrit tahmin yöntemi önermişler ve önerdikleri modeli finansal verilere uygulamışlardır. Baş ve Kahraman (2009) sermaye kısıtlaması problemini bulanıklaştırdıkları çalışmalarında bulanık iç verim oranının belirlenmesinde alfa kesim değerleri kullanmışlardır. Dietz ve diğ. (2008) ve Aguilar Lasserre ve diğ. (2009a, 2009b) çalışmalarında bulanık net şimdiki değer enbüyüklemesini ve diğer iki performans kriterini hesaba katan çok amaçlı genetik algoritma geliştirmişlerdir. Uçal ve Kahraman (2009) kesikli iskonto lama kullanarak bir bulanık reel opsiyon modeli geliştirmişlerdir. Xu ve diğ. (2009) bulanık net şimdiki değer analizini kullanan yeni bir bulanık rassal kısıtlı programlama modeli önermişlerdir. Wee ve diğ. (2009) amortisman hesabı için envanter yatırımının getirisini ve karı enbüyüklemeyi amaçlayan bir bulanık çok ölçütlü envanter yenileme modeli geliştirmişlerdir. Sakallı ve Baykoç (2010), makine satın alımı ile ilgili bir yatırım analizi problemini, çıktıları ve olasılıkları modellemede rassal bulanık değişkenler kullanarak karar ağacı yöntemi ile çözmüşlerdir. Zmeskal (2010) bütün girdi parametrelerinin belirsiz olduğu durumlar için bulanık ve stokastik temelli bir hibrit binominal Amerikan reel opsiyon modeli önermiştir. Cheng ve diğ. (2010) proje nakit akışlarını belirlemek için bir bulanık hibrit sinir ağları yöntemi geliştirmişlerdir. Kahraman ve Kaya (2010) stokastik yatırım analizinde bulanık parametreler kullanmışlardır. Ayrıca bulanık bir olayın olasılığı kavramını kullanarak yatırım analizlerini incelemişlerdir. Liao ve Ho (2010b) belirsizlik altında proje değerlendirmede kullanılmak üzere bir projenin bulanık net şimdiki değerinin ortalamasını veren bir bulanık binominal yaklaşım geliştirmişlerdir. Ho ve Liao (2011) belirsiz ortamlarda yatırım projelerinin değerlendirilmesi için bir bulanık reel opsiyon modeli önermişlerdir. Lee ve Lee

(2011) tedarik zincirinde RFID adaptasyonunu değerlendirmek için beklenen nakit akışlarının ve yatırım giderlerinin yamuk bulanık sayılar ile ifade edildiği bir reel opsiyon analizi yöntemini kullanmışlardır. Bednyagin ve Gnansounou (2011) füzyon enerjisi araştırma geliştirme programını değerlendirmek için bir reel opsiyon yöntemi önermişlerdir. Mao ve Wu (2011) gayrimenkul yatırımlarında gelir ve gider risklerinin seviyelerini belirlemede bulanık matematik kullanmışlar ve bu riskleri temel alan bulanık reel opsiyon yöntemi ile gayrimenkul projelerini değerlendirmişlerdir. Damghani ve diğ. (2011) bulanıklık altında birçok yatırım alternatifinin arasından en uygun portföyü seçmek için bir modüler karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bhattacharyya ve diğ. (2011) araştırma geliştirme projelerinin seçiminde karar vermeyi kolaylaştırmak için bulanık net şimdiki değer analizini kullanan bir bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı önermişlerdir. Cheng ve Roy (2011) nakit akışı tahminine odaklı proje performans değerlendirmede kullanılmak üzere zaman serileri verileri için hibrit bir bulanık yapay zeka modeli önermişlerdir. Tsao (2012) yatırımların bulanık ortamlarda değerlendirilebilmesi için bulanık net şimdiki değeri hesaplama amaçlı pratik algortimalar önermiştir. Neto ve diğ. (2012) bulanık net şimdiki değer analizi kullanarak iş aksaması sigortası alımının elverişliliğini sınamışlardır. Xu ve diğ. (2012) bulanık net şimdiki değer analizi kullanarak çok amaçlı bir karar verme modeli geliştirmişlerdir. You ve diğ. (2012) kurumsal kaynak planlaması yatırımını bulanık reel opsiyonlar temelli bir bulanık model ile incelemişlerdir. Tavana ve Zandi (2012) reel opsiyon analizini beklenen maliyet ve getirilerin hesabında kullanarak çok ölçütlü bir karar verme modeli geliştirmişlerdir. Liu ve Jiang (2012) geri dönüşü olmayan bir yatırım projesine yatırım yapma opsiyonunu değerlendirmek için bir bulanık stokastik model geliştirmişlerdir.

Kitaplar ve kitap bölümleri: Kaufmann ve Gupta (1988) bulanık iskonto oranı kullanarak yatırım alternatiflerinin seçimi için bulanık şimdiki değer yöntemi geliştirmişlerdir. Kahraman ve diğ. (2006) bulanık şimdiki değer, bulanık eşdeğer düzgün ödeme değeri, bulanık gelecek değer, bulanık fayda maliyet oranı ve bulanık geri ödeme süresi formüllerini geometrik ve trigonometrik nakit akışları için geliştirmişlerdir. Sevastjanov ve diğ. (2006) finansal parametrelerin bulanık aralıklarla değerlendirilmesi amaçlı bir teknik önermişlerdir. Tao ve diğ. (2007) nükleer santrallerde bilgi teknolojileri yatırımlarını değerlendirmek için bulanık risk

analizi ve bulanık reel opsiyonlar temelli bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Kahraman (2008) bulanık karar ağacı yöntemini tanımlamış ve yatırım analizine uygulamıştır. Sewastjanow ve Dymoes (2008) bulanık iç verim oranı tahmininde yaşanan sıkıntıları gidermek için bulanık iç verim oranını, doğrusal olmayan bulanık bir denklem ile analiz etmişlerdir. Liao ve Ho (2010a) belirsizlik altında proje değerlendirmede kullanılmak üzere projenin bulanık net şimdiki değerinin ortalama değerini hesaplayan bir bulanık binominal yaklaşım önermişlerdir.

Bildiriler: Yatırım analizi konusunda yüzden fazla bildiri tespit edilmiştir. Bu bildirilerin bir kısmı yukarıda detayları verilen makale ve kitap bölümleri olarak değerlendirilmiştir. Bu bölümde bunların dışında kalan bildiriler incelenecektir. Yatırım analizinde ilk olarak bulanık mantık uygulaması Ward (1985) tarafından yamuk bulanık nakit akışları için geliştirmiştir. Çalışmada bulanık şimdiki değer analizi önerilmiştir. Kahraman ve Ulukan (1997) yatırım parametrelerinin üçgen bulanık sayılarla ifade edilmesi durumunda sürekli iskontolama kullanarak bulanık şimdiki değer ve bulanık gelecek değer formüllerini geliştirmişlerdir. Gao ve diğ. (2005) bulanık şans-kısıtlı programlama ile yatırım analizi problemlerini formüle etmişlerdir. Daha sonra bulanık simülasyon, sinir ağları ve genetik algoritmayı birleştirerek hibrit bir algoritma önermişlerdir. Shi ve diğ (1997) birden fazla karar verici durumunda bulanık mantığı kullanan çok kriterli bir yatırım analizi modeli geliştirmişlerdir. Baskak ve Kahraman (1998) yenilenmesi düşünülen ekipmanın ömrünün bulanık sayı ile ifade edildiği durum için bulanık yenileme analizi uygulamışlardır. Kahraman ve Tolga (1998) bulanık şimdiki değer, bulanık yıllık düzgün ödeme, bulanık gelecek değer, bulanık kazanç maliyet oranı ve bulanık geri dönüş oranı yöntemlerini geliştirmişlerdir. Çetin ve Kahraman (1999) bulanık yıllık düzgün ödeme ve bulanık gelecek değer yöntemlerini sayısal örneklerle uygulamışlardır. Pochampally ve diğ. (2003) kullanılmış ürünlerin tekrar imalata alınması için bulanık kazanç maliyet analizi uygulamışlardır. Tao ve diğ. (2007) bilgi teknolojisi yatırımı için bir bulanık reel opsiyon değerlendirme yöntemi uygulamışlardır. Baş (2008) bulanık iç verim oranı hesaplamaları için iyimser ve kötümser bulanık ilişkilerin kullanımını önermiştir. Dong ve Zhu (2009) yapısal elemanlar teorisini faiz oranının bulanık olması durumunda bulanık net şimdiki değer yöntemine uygulamışlardır. Tsao (2009) bulanık net şimdiki değere ait risk parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmak üzere pratik algoritmalar önermiştir.

Santoyo ve diğ. (2010) sabit varlıklar problemini inceleyen bir yöntem önermişlerdir. Uçal ve Kuchta (2011) proje çizelgelemede bulanık net şimdiki değeri enbüyüklemeyi amaçlamışlardır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda nakit akışlarının gerçekleştiği dönemler ile satınalma/satış dönemlerinin farklı olduğu projelerin ve yatırım parametrelerinin tip 2 bulanık sayılar ile ifade edildiği projelerin mevcut bulanık yatırım analizi yöntemleri ile değerlendirilmesinin mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Tez kapsamında nakit akışlarının gerçekleştiği dönemlerin satınalma/satış dönemlerinden farklı olması durumunda kullanılmak üzere muhasebe esaslı yaklaşımların geliştirilmesine karar verilmiştir. Ayrıca aralık tip 2 bulanık üyelik fonksiyonlarına sahip yatırım parametrelerinin değerlendirilebilmesi için aralık tip 2 bulanık üyelik fonksiyonların kullanılacağı yatırım analizi yöntemleri geliştirilecektir. Bunun yanı sıra yapılan literatür araştırmasında bulanık yatırım analizlerinde duyarlılık analizlerinin tek bir parametrenin değişimine yönelik olduğu tespit edilmiş, yatırımın değerini belirleyen nakit akışı faktörlerinin değişkenliğinin yatırımın değerine etkisini belirleyebilmek için duyarlılık analizi yöntemleri geliştirilmesi uygun bulunmuştur.

5. BULANIK YATIRIM ANALİZİ TEKNİKLERİ

Literatür araştırması sırasında yatırım analizi yöntemlerinin sıradan bulanık sayılar kullanılarak genişletildiği birçok yayına rastlanmıştır. En sık kullanılan bulanık yatırım analizi yöntemleri aşağıda verilmektedir:

5.1 Bulanık Şimdiki Değer Analizi

Chiu ve Park (1994) çalışmalarında, bulanık nakit akışları için şimdiki değer analizini geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, t anındaki periyodik nakit akışı $\tilde{F}_t = (f_{t_l}; f_{t_m}; f_{t_r})$, iskonto oranı $\forall \tilde{i} > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t = (i_{t_l}; i_{t_m}; i_{t_r})$ üçgen bulanık sayısı ile gösterilmektedir. Denklem (5.1)'de nakit akışlarının üçgen bulanık şimdiki değeri ($\widetilde{SD}$) gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} \widetilde{SD} = & \left(\sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_l}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_r})} + \frac{enk(f_{t_l}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_l})} \right); \sum_{t=0}^n \frac{f_{t_m}}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_m})}; \right. \\ & \left. \sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_r}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_l})} + \frac{enk(f_{t_r}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_r})} \right) \right) \end{aligned} \quad (5.1)$$

t anındaki nakit akışı $\tilde{F}_t = (f_{t_1}; f_{t_2}; f_{t_3}; f_{t_4})$, iskonto oranı $\forall \tilde{i} > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t = (i_{t_1}; i_{t_2}; i_{t_3}; i_{t_4})$ yamuk bulanık sayılar ile gösterildiğinde Denklem (5.2)'de nakit akışlarının yamuk bulanık şimdiki değeri geliştirilmiştir:

$$\begin{aligned} \widetilde{SD} = & \left(\sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_1}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_4})} + \frac{enk(f_{t_1}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_1})} \right); \right. \\ & \sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_2}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_3})} + \frac{enk(f_{t_2}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_2})} \right); \\ & \left. \sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_3}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_2})} + \frac{enk(f_{t_3}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_3})} \right); \right. \end{aligned}$$

$$\sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_4}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_1})} + \frac{enk(f_{t_4}; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_4})} \right) \quad (5.2)$$

Düzgün ödemeli bulanık nakit akışlarının şimdiki değeri Denklem (5.3) ile hesaplanmaktadır:

$$\widetilde{SD} = \tilde{A} \frac{((1 + \tilde{i})^n - 1)}{\tilde{i}(1 + \tilde{i})^n} \quad (5.3)$$

Aşağıda sırasıyla üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılarak bulanık şimdiki değer analizi örnekleri verilmektedir:

Örnek 5-1: 5 yıl süreli üçgen bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 5.1'de verilen yatırım alternatifinin, bulanık üçgen sayı ile tanımlanmış $i = (9; 11; 13)\%$ faiz oranı altında bulanık şimdiki değerleri hesaplanacaktır. A projesi (200;230;250) TL ilk yatırım maliyetine ($\tilde{I} = (-250; -230; -200)TL$) sahiptir.

Çizelge 5.1 : Alternatife ait nakit akışları.

Yıl	1	2	3	4	5
Proje A	(60;75;90)	(55;70;88)	(53;70;85)	(50;65;80)	(45;60;77)

$$\begin{aligned} \widetilde{SD} = & \left(\left(\left(\frac{enb(-250; 0)}{(1 + 0,13)^0} + \frac{enk(-250; 0)}{(1 + 0,09)^0} \right) + \left(\frac{enb(60; 0)}{(1 + 0,13)^1} + \frac{enk(60; 0)}{(1 + 0,09)^1} \right) + \right. \\ & \left(\frac{enb(55; 0)}{(1 + 0,13)^1} + \frac{enk(55; 0)}{(1 + 0,09)^1} \right) + \left(\frac{enb(53; 0)}{(1 + 0,13)^2} + \frac{enk(53; 0)}{(1 + 0,09)^2} \right) + \\ & \left. \left(\frac{enb(50; 0)}{(1 + 0,13)^4} + \frac{enk(50; 0)}{(1 + 0,09)^4} \right) + \left(\frac{enb(45; 0)}{(1 + 0,13)^5} + \frac{enk(45; 0)}{(1 + 0,09)^5} \right) \right); \\ & \left(\frac{-230}{(1 + 0,11)^0} + \frac{75}{(1 + 0,11)^1} + \frac{70}{(1 + 0,11)^2} + \right. \\ & \left. \frac{70}{(1 + 0,11)^3} + \frac{65}{(1 + 0,11)^4} + \frac{60}{(1 + 0,11)^5} \right); \\ & \left(\left(\frac{enb(-200; 0)}{(1 + 0,09)^0} + \frac{enk(-200; 0)}{(1 + 0,13)^0} \right) + \left(\frac{enb(90; 0)}{(1 + 0,09)^1} + \frac{enk(90; 0)}{(1 + 0,13)^1} \right) + \right. \end{aligned}$$

$$\left(\frac{enb(88;0)}{(1+0,09)^2} + \frac{enk(88;0)}{(1+0,13)^2} \right) + \left(\frac{enb(85;0)}{(1+0,09)^3} + \frac{enk(85;0)}{(1+0,13)^3} \right) +$$

$$\left(\frac{enb(80;0)}{(1+0,09)^4} + \frac{enk(80;0)}{(1+0,13)^4} \right) + \left(\frac{enb(77;0)}{(1+0,09)^5} + \frac{enk(77;0)}{(1+0,13)^5} \right) \Bigg)$$

$$\widetilde{SD} = (-62,01; 23,98; 128,99)TL$$

Örnek 5-2: 5 yıl süreli yamuk bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 5.2’de verilen yatırım alternatifinin, yamuk bulanık sayı ile tanımlanmış $i = (9; 10; 12; 13)\%$ faiz oranı altında bulanık şimdiki değerleri hesaplanacaktır. B projesi $(180;190;230;250)$ TL ilk yatırım maliyetine $(\tilde{I} = (-250; -230; -190; -180)TL)$ sahiptir.

Çizelge 5.2 : Alternatife ait nakit akışları.

Yıl	1	2	3	4	5
Proje B	$(65;70;82;90)$	$(65;75;85;95)$	$(70;75;80;85)$	$(60;67;76;85)$	$(78;84;93;99)$

$$\widetilde{SD} = \left(\left(\left(\frac{enb(-250;0)}{(1+0,13)^0} + \frac{enk(-250;0)}{(1+0,09)^0} \right) + \left(\frac{enb(65;0)}{(1+0,13)^1} + \frac{enk(65;0)}{(1+0,09)^1} \right) + \right.$$

$$\left. \left(\frac{enb(65;0)}{(1+0,13)^2} + \frac{enk(65;0)}{(1+0,09)^2} \right) + \left(\frac{enb(70;0)}{(1+0,13)^3} + \frac{enk(70;0)}{(1+0,09)^3} \right) + \right.$$

$$\left. \left(\frac{enb(60;0)}{(1+0,13)^4} + \frac{enk(60;0)}{(1+0,09)^4} \right) + \left(\frac{enb(78;0)}{(1+0,13)^5} + \frac{enk(78;0)}{(1+0,09)^5} \right) \right);$$

$$\left(\left(\frac{enb(-230;0)}{(1+0,12)^0} + \frac{enk(-230;0)}{(1+0,10)^0} \right) + \left(\frac{enb(70;0)}{(1+0,12)^1} + \frac{enk(70;0)}{(1+0,10)^1} \right) + \right.$$

$$\left. \left(\frac{enb(75;0)}{(1+0,12)^2} + \frac{enk(75;0)}{(1+0,10)^2} \right) + \left(\frac{enb(75;0)}{(1+0,12)^3} + \frac{enk(75;0)}{(1+0,10)^3} \right) + \right.$$

$$\left. \left(\frac{enb(67;0)}{(1+0,12)^4} + \frac{enk(67;0)}{(1+0,10)^4} \right) + \left(\frac{enb(84;0)}{(1+0,12)^5} + \frac{enk(84;0)}{(1+0,10)^5} \right) \right);$$

$$\left(\left(\frac{enb(-190;0)}{(1+0,10)^0} + \frac{enk(-190;0)}{(1+0,12)^0} \right) + \left(\frac{enb(82;0)}{(1+0,10)^1} + \frac{enk(82;0)}{(1+0,12)^1} \right) + \right.$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{enb(85;0)}{(1+0,10)^2} + \frac{enk(85;0)}{(1+0,12)^2} \right) + \left(\frac{enb(80;0)}{(1+0,10)^3} + \frac{enk(80;0)}{(1+0,12)^3} \right) + \\
& \left(\frac{enb(76;0)}{(1+0,10)^4} + \frac{enk(76;0)}{(1+0,12)^4} \right) + \left(\frac{enb(93;0)}{(1+0,10)^5} + \frac{enk(93;0)}{(1+0,12)^5} \right); \\
& \left(\left(\frac{enb(-180;0)}{(1+0,09)^0} + \frac{enk(-180;0)}{(1+0,13)^0} \right) + \left(\frac{enb(90;0)}{(1+0,09)^1} + \frac{enk(90;0)}{(1+0,13)^1} \right) + \right. \\
& \left(\frac{enb(95;0)}{(1+0,09)^2} + \frac{enk(95;0)}{(1+0,13)^2} \right) + \left(\frac{enb(85;0)}{(1+0,09)^3} + \frac{enk(85;0)}{(1+0,13)^3} \right) + \\
& \left. \left(\frac{enb(85;0)}{(1+0,09)^4} + \frac{enk(85;0)}{(1+0,13)^4} \right) + \left(\frac{enb(99;0)}{(1+0,09)^5} + \frac{enk(99;0)}{(1+0,13)^5} \right) \right)
\end{aligned}$$

$$\widetilde{SD} = (-13,92; 35,92; 124,55; 172,72)TL$$

5.2 Bulanık Gelecek Değer Analizi

Chiu ve Park (1994), t anındaki nakit akışı $\tilde{F}_t = (f_{t_l}; f_{t_m}; f_{t_r})$, iskonto oranı $\forall i > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t = (i_{t_l}; i_{t_m}; i_{t_r})$ ile ifade edildiğinde nakit akışlarının üçgen bulanık gelecek değerini hesaplamak için Denklem (5.4)'ü geliştirmişlerdir:

$$\begin{aligned}
\widetilde{GD} = & \left(\left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_l}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_l}) + enk(f_{t_l}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_r}) \right) + f_{t_l} \right); \right. \\
& \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(f_{t_m} \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_m}) \right) + f_{t_m} \right); \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_r}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_r}) + \right. \right. \\
& \left. \left. enk(f_{t_r}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_l}) \right) + f_{t_r} \right) \quad (5.4)
\end{aligned}$$

t anındaki nakit akışı $\tilde{F}_t = (f_{t_1}; f_{t_2}; f_{t_3}; f_{t_4})$, iskonto oranı $\forall i > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t = (i_{t_1}; i_{t_2}; i_{t_3}; i_{t_4})$ yamuk bulanık sayılar ile gösterildiğinde nakit akışlarının yamuk bulanık şimdiki değeri Denklem (5.5)'te geliştirilmiştir:

$$\widetilde{GD} = \left(\left(\sum_{t=0}^{n-1} (enb(f_{t_1}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_1}) + enk(f_{t_1}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_4})) + f_{t_1} \right); \right.$$

$$\begin{aligned}
& \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_2}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_2}) + enk(f_{t_2}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_3}) \right) + f_{t_2} \right); \\
& \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_3}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_3}) + enk(f_{t_3}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_2}) \right) + f_{t_3} \right); \\
& \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_4}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_4}) + enk(f_{t_4}; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_1}) \right) + f_{t_4} \right) \quad (5.5)
\end{aligned}$$

Düzgün ödemeli bulanık nakit akışlarının gelecek değeri Denklem (5.6) ile hesaplanmaktadır:

$$\tilde{F} = \tilde{A} \frac{((1 + \tilde{i})^n - 1)}{\tilde{i}} \quad (5.6)$$

Aşağıda sırasıyla üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılarak bulanık gelecek değer analizi örnekleri verilmektedir:

Örnek 5-3: 5 yıl süreli üçgen bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 5.1’de verilen yatırım alternatifinin üçgen bulanık sayı ile tanımlanmış $i = (9; 11; 13)\%$ faiz oranı altında bulanık gelecek değerleri hesaplanacaktır. A projesi (200;230;250) TL ilk yatırım maliyetine ($\tilde{I} = (-250; -230; -200)TL$) sahiptir.

$$\begin{aligned}
\widetilde{GD} = & ((enb(-250; 0) (1 + 0,09)^5 + enk(-250; 0) (1 + 0,13)^5) + \\
& (enb(60; 0) (1 + 0,09)^4 + enk(60; 0) (1 + 0,13)^4) + \\
& (enb(55; 0) (1 + 0,09)^3 + enk(55; 0) (1 + 0,13)^3) + \\
& (enb(53; 0) (1 + 0,09)^2 + enk(53; 0) (1 + 0,13)^2) + \\
& (enb(50; 0) (1 + 0,09)^1 + enk(50; 0) (1 + 0,13)^1) + 45); \\
& (-230(1 + 0,11)^5 + 75(1 + 0,11)^4 + 70(1 + 0,11)^3 + \\
& 70(1 + 0,11)^2 + 65(1 + 0,11)^1 + 60); \\
& (enb(-200; 0) (1 + 0,13)^5 + enk(-200; 0) (1 + 0,09)^5) + \\
& (enb(90; 0) (1 + 0,13)^4 + enk(90; 0) (1 + 0,09)^4) + \\
& (enb(88; 0) (1 + 0,13)^3 + enk(88; 0) (1 + 0,09)^3) + \\
& (enb(85; 0) (1 + 0,13)^2 + enk(85; 0) (1 + 0,09)^2) +
\end{aligned}$$

$$(enb(80; 0) (1 + 0,13)^1 + enk(80; 0) (1 + 0,09)^1) + 77)$$

$$\widetilde{GD} = (-142,22; 40,42; 241,93)TL$$

Örnek 5-4: 5 yıl süreli yamuk bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 5.2’de verilen yatırım alternatifinin $i = (9; 10; 12; 13)\%$ yamuk bulanık sayı ile tanımlanmış faiz oranı altında bulanık gelecek değeri hesaplanacaktır. B projesi $(180;190;230;250)$ TL ilk yatırım maliyetine $(\tilde{I} = (-250; -230; -190; -180)TL)$ sahiptir.

$$\begin{aligned} \widetilde{GD} = & ((enb(-250; 0) (1 + 0,09)^5 + enk(-250; 0) (1 + 0,13)^5) + \\ & (enb(65; 0) (1 + 0,09)^4 + enk(65; 0) (1 + 0,13)^4) + \\ & (enb(65; 0) (1 + 0,09)^3 + enk(65; 0) (1 + 0,13)^3) + \\ & (enb(70; 0) (1 + 0,09)^2 + enk(70; 0) (1 + 0,13)^2) + \\ & (enb(60; 0) (1 + 0,09)^1 + enk(60; 0) (1 + 0,13)^1) + 78); \\ & ((enb(-230; 0) (1 + 0,10)^5 + enk(-230; 0) (1 + 0,12)^5) + \\ & (enb(70; 0) (1 + 0,10)^4 + enk(70; 0) (1 + 0,12)^4) + \\ & (enb(75; 0) (1 + 0,10)^3 + enk(75; 0) (1 + 0,12)^3) + \\ & (enb(75; 0) (1 + 0,10)^2 + enk(75; 0) (1 + 0,12)^2) + \\ & (enb(67; 0) (1 + 0,10)^1 + enk(67; 0) (1 + 0,12)^1) + 84); \\ & ((enb(-190; 0) (1 + 0,12)^5 + enk(-190; 0) (1 + 0,10)^5) + \\ & (enb(82; 0) (1 + 0,12)^4 + enk(82; 0) (1 + 0,10)^4) + \\ & (enb(85; 0) (1 + 0,12)^3 + enk(85; 0) (1 + 0,10)^3) + \\ & (enb(80; 0) (1 + 0,12)^2 + enk(80; 0) (1 + 0,10)^2) + \\ & (enb(76; 0) (1 + 0,12)^1 + enk(76; 0) (1 + 0,10)^1) + 93); \\ & ((enb(-180; 0) (1 + 0,13)^5 + enk(-180; 0) (1 + 0,09)^5) + \\ & (enb(90; 0) (1 + 0,13)^4 + enk(90; 0) (1 + 0,09)^4) + \\ & (enb(95; 0) (1 + 0,13)^3 + enk(95; 0) (1 + 0,09)^3) + \\ & (enb(85; 0) (1 + 0,13)^2 + enk(85; 0) (1 + 0,09)^2) + \end{aligned}$$

$$(enb(85; 0) (1 + 0,13)^1 + enk(85; 0) (1 + 0,09)^1) + 99))$$

$$\widetilde{GD} = (-58,11; 45,42; 220,92; 310,45)TL$$

5.3 Bulanık Eşdeğer Düzgün Ödeme Nakit Akışı Analizi

Kahraman ve diğ. (2002), bulanık sayılar için her bir dönemde gerçekleşen tüm gelir ve giderlerin, eşdeğer düzgün ödeme miktarlarına çevrilmesi olarak tanımlanan bulanık eşdeğer düzgün ödeme nakit akışı analizini ($\widetilde{EDÖD}$) geliştirmişlerdir. Özellikle farklı kullanım ömürleri olan alternatiflerin karşılaştırılmasında kullanılan bu yöntem için genel denklem $\widetilde{NŞD}$; bulanık net şimdiki değeri, n ; analiz dönemini ve $\tilde{i}$; bulanık kesikli faiz oranını ifade etmek üzere Denklem (5.7)'de verilmektedir.

$$\widetilde{EDÖD} = \tilde{A} = \widetilde{NŞD} \gamma^{-1}(n, r) = \widetilde{NŞD} \frac{(1 + \tilde{i})^n \tilde{i}}{(1 + \tilde{i})^n - 1} \quad (5.7)$$

Bulanık net şimdiki değer hesaplandıktan sonra Denklem (5.8)'de üyelik fonksiyonu verilen bulanık eşdeğer düzgün nakit akışı $\widetilde{EDÖD} (\tilde{A}_n)$ hesaplanır.

$$f_{n_i}(y|\tilde{A}_n) = f_i(y|\widetilde{NPV}) \gamma^{-1}(n, f_i(y|\tilde{r})) \quad (5.8)$$

Bulanık sayılar için $\widetilde{EDÖD}$ aralığı Denklem (5.9)'da gösterilmektedir:

$$\tilde{A}_n(y) = \left(\frac{NPV^l(y)}{\gamma(n, r^l(y))}, \frac{NPV^r(y)}{\gamma(n, r^r(y))} \right) \quad (5.9)$$

Bulanık net şimdiki değer $\widetilde{NŞD} = (NŞD_l; NŞD_m; NŞD_r)$, iskonto oranının $\forall \tilde{i} > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t = (i_l; i_m; i_r)$ üçgen bulanık sayılar ile ifade edilmesi durumunda bulanık eşdeğer düzgün nakit akışı $\widetilde{EDÖD} (\tilde{A}_n)$ Denklem (5.10) ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{EDÖD} = \left(NŞD_l \frac{(1 + i_r)^n i_r}{(1 + i_r)^n - 1}; NŞD_m \frac{(1 + i_m)^n i_m}{(1 + i_m)^n - 1}; NŞD_r \frac{(1 + i_l)^n i_l}{(1 + i_l)^n - 1} \right) \quad (5.10)$$

Bulanık net şimdiki değer $\widetilde{NŞD} = (NŞD_1; NŞD_2; NŞD_3; NŞD_4)$, iskonto oranının $\forall \tilde{i} > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t = (i_1; i_2; i_3; i_4)$ yamuk bulanık sayılar ile ifade edilmesi durumunda bulanık eşdeğer düzgün nakit akışı $\widetilde{EDÖD} (\tilde{A}_n)$ Denklem (5.11) ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{EDÖD} = \left(NŞD_1 \frac{(1 + i_4)^n i_4}{(1 + i_4)^n - 1}; NŞD_2 \frac{(1 + i_3)^n i_3}{(1 + i_3)^n - 1}; \right.$$

$$N\dot{S}D_3 \frac{(1+i_2)^n i_2}{(1+i_2)^n - 1}; N\dot{S}D_4 \frac{(1+i_1)^n i_1}{(1+i_1)^n - 1} \quad (5.11)$$

Aşağıda sırasıyla üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılarak bulanık eşdeğer düzgün ödeme nakit akışı analizi örnekleri verilmektedir:

Örnek 5-5: Örnek 5.1’de hesaplanan $\widetilde{S\dot{D}} = (-62,01; 23,98; 128,99)TL$ üçgen bulanık şimdiki değere sahip nakit akışları için üçgen $\widetilde{ED\ddot{O}D}$ aşağıda hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} \widetilde{ED\ddot{O}D} = & \left(-62,01 \frac{(1+0,13)^5 0,13}{(1+0,13)^5 - 1}; 23,98 \frac{(1+0,11)^5 0,11}{(1+0,11)^5 - 1}; \right. \\ & \left. 128,99 \frac{(1+0,09)^5 0,09}{(1+0,09)^5 - 1} \right) = (-17,63; 6,49; 33,16)TL \end{aligned}$$

Örnek 5-6: Örnek 5.2’de hesaplanan $\widetilde{S\dot{D}} = (-13,92; 35,92; 124,55; 172,72)TL$ yamuk bulanık şimdiki değere sahip nakit akışları için yamuk $\widetilde{ED\ddot{O}D}$ aşağıda hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} \widetilde{ED\ddot{O}D} = & \left(-13,92 \frac{(1+0,13)^5 0,13}{(1+0,13)^5 - 1}; 35,92 \frac{(1+0,12)^5 0,12}{(1+0,12)^5 - 1}; \right. \\ & \left. 124,55 \frac{(1+0,10)^5 0,10}{(1+0,10)^5 - 1}; 172,72 \frac{(1+0,09)^5 0,09}{(1+0,09)^5 - 1} \right) \\ \widetilde{ED\ddot{O}D} = & (-3,95; 9,96; 32,85; 44,40)TL \end{aligned}$$

5.4 Bulanık Kazanç Maliyet Oranı Analizi

Kahraman ve diğ. (2002), düzenli ve düzensiz ödeme durumlarında ve artış analizinde bulanık kazanç/maliyet oranı $(\tilde{B}/\tilde{C})$ analizini geliştirmişlerdir. $\tilde{B}$; yatırımın net getirisi, $\tilde{C}$; ilk yatırım maliyeti ve $\tilde{i}$; bulanık iskonto oranı olmak üzere bulanık kazanç/maliyet artış oranı Denklem (5.12)’de gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \tilde{B}}{\Delta \tilde{C}} = & \frac{\sum_{t=0}^n ((\tilde{B}_{2t} - \tilde{B}_{1t})(1 + \tilde{i})^{-t})}{\sum_{t=0}^n ((\tilde{C}_{2t} - \tilde{C}_{1t})(1 + \tilde{i})^{-t})} = \left(\frac{\sum_{t=0}^n ((B_{2tl} - B_{1tr})(1 + i_r)^{-t})}{\sum_{t=0}^n ((C_{2tr} - C_{1tl})(1 + i_r)^{-t})}; \right. \\ & \left. \frac{\sum_{t=0}^n ((B_{2tr} - B_{1tl})(1 + i_l)^{-t})}{\sum_{t=0}^n ((C_{2tl} - C_{1tr})(1 + i_l)^{-t})} \right) \quad (5.12) \end{aligned}$$

Düzenli ödeme durumunda kazanç/maliyet artış oranı $(\Delta\tilde{B}/\Delta\tilde{C})$ Denklem (5.13)'te verilmektedir.

$$\frac{\Delta\tilde{B}}{\Delta\tilde{C}} = \left(\frac{(A_{2l} - A_{1r})((1 + i_r)^n - 1)}{(C_{2r} - C_{1l})(1 + i_r)^n i_r}, \frac{(A_{2r} - A_{1l})((1 + i_l)^n - 1)}{(C_{2l} - C_{1r})(1 + i_l)^n i_l} \right) \quad (5.13)$$

$\tilde{B} = (B_l; B_m; B_r)$ yatırımın net getirisi, $\tilde{C} = (C_l; C_m; C_r)$ ilk yatırım maliyeti ve $\tilde{i} = (i_l; i_m; i_r)$ iskonto oranı üçgen bulanık sayılarla ifade edildiğinde üçgen bulanık kazanç/maliyet artış oranı Denklem (5.14) ile elde edilir.

$$\frac{\Delta\tilde{B}}{\Delta\tilde{C}} = \left(\frac{\sum_{t=0}^n \left((B_{2tl} - B_{1tr})(1 + i_r)^{-t} \right)}{\sum_{t=0}^n \left((C_{2tr} - C_{1tl})(1 + i_r)^{-t} \right)}, \frac{\sum_{t=0}^n \left((B_{2tm} - B_{1tm})(1 + i_m)^{-t} \right)}{\sum_{t=0}^n \left((C_{2tm} - C_{1tm})(1 + i_m)^{-t} \right)}, \right. \\ \left. \frac{\sum_{t=0}^n \left((B_{2tr} - B_{1tl})(1 + i_l)^{-t} \right)}{\sum_{t=0}^n \left((C_{2tl} - C_{1tr})(1 + i_l)^{-t} \right)} \right) \quad (5.14)$$

$\tilde{B} = (B_{i_{t1}}; B_{i_{t2}}; B_{i_{t3}}; B_{i_{t4}});$ i yatırımının t anındaki net getirisi, $\tilde{C} = (C_{i_{t1}}; C_{i_{t2}}; C_{i_{t3}}; C_{i_{t4}});$ i yatırımının t anındaki ilk yatırım maliyeti ve $\tilde{i} = (i_1; i_2; i_3; i_4)$ iskonto oranı yamuk bulanık sayılarla ifade edildiğinde yamuk bulanık kazanç/maliyet artış oranı Denklem (5.15) ile elde edilir.

$$\frac{\Delta\tilde{B}}{\Delta\tilde{C}} = \left(\frac{\sum_{t=0}^n (B_{2t1} - B_{1t4})(1 + i_4)^{-t}}{\sum_{t=0}^n (C_{2t4} - C_{1t1})(1 + i_4)^{-t}}, \frac{\sum_{t=0}^n (B_{2t2} - B_{1t3})(1 + i_3)^{-t}}{\sum_{t=0}^n (C_{2t3} - C_{1t2})(1 + i_3)^{-t}}, \right. \\ \left. \frac{\sum_{t=0}^n (B_{2t3} - B_{1t2})(1 + i_2)^{-t}}{\sum_{t=0}^n (C_{2t2} - C_{1t3})(1 + i_2)^{-t}}, \frac{\sum_{t=0}^n (B_{2t4} - B_{1t1})(1 + i_1)^{-t}}{\sum_{t=0}^n (C_{2t1} - C_{1t4})(1 + i_1)^{-t}} \right) \quad (5.15)$$

Aşağıda sırasıyla üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılarak bulanık kazanç/maliyet oranı analizi örnekleri verilmektedir:

Örnek 5-7: 5 yıl süreli üçgen bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 5.3'te verilen yatırım alternatiflerinin üçgen bulanık sayı ile tanımlanmış $i = (9; 11; 13)\%$ faiz oranı altında bulanık fayda/maliyet artış oranı aşağıda hesaplanmaktadır:

Çizelge 5.3 : Alternatiflere ait üçgen bulanık nakit akışları.

	Yıl	Alternatif 1	Alternatif 2
Maliyet	0	(200;230;250)	(290;310;340)
Getiriler	1	(60;75;90)	(90;100;115)
	2	(55;70;88)	(85;95;105)
	3	(53;70;85)	(80;95;100)
	4	(50;65;80)	(75;90;100)
	5	(45;60;77)	(70;85;95)

Alternatif 2'nin ilk yatırım maliyeti ve kazançları Alternatif 1'den daha büyük olduğu için işlemler yapılırken Alternatif 2'nin nakit akışlarından Alternatif 1'in nakit akışlarının çıkarılmasına karar verilmiştir.

$$\Delta\tilde{B} = \left(\frac{(90 - 90)}{(1 + 0,13)^1} + \frac{(85 - 88)}{(1 + 0,13)^2} + \frac{(80 - 85)}{(1 + 0,13)^3} + \frac{(75 - 80)}{(1 + 0,13)^4} + \frac{(70 - 77)}{(1 + 0,13)^5}; \right. \\ \left. \frac{(100 - 75)}{(1 + 0,11)^1} + \frac{(95 - 70)}{(1 + 0,11)^2} + \frac{(95 - 70)}{(1 + 0,11)^3} + \frac{(90 - 65)}{(1 + 0,11)^4} + \frac{(85 - 60)}{(1 + 0,11)^5}; \right. \\ \left. \frac{(115 - 60)}{(1 + 0,11)^1} + \frac{(105 - 55)}{(1 + 0,11)^2} + \frac{(100 - 53)}{(1 + 0,11)^3} + \frac{(100 - 50)}{(1 + 0,11)^4} + \frac{(95 - 45)}{(1 + 0,11)^5} \right) \\ \Delta\tilde{B} = (-3,80; 14,84; 32,50)$$

$$\Delta\tilde{C} = ((290 - 250); (310 - 230); (340 - 200)) = (40; 80; 140)$$

Bölüm 3.4.1.3'de verilen üçgen bulanık sayılar için geliştirilmiş aritmetik işlemler bulanık sayıların tam pozitif ya da tam negatif olduğu durumlarla sınırlı kalmaktadır. Özellikle bulanık kazanç maliyet oranı analizinde çok karşılaşılan bir durum olan bulanık sayının alt sınırının negatif olmasına karşın üst sınırının pozitif olması durumunda aritmetik işlemler tanımlanmamıştır. Hem negatifliği hem pozitifliği bünyesinde barındıran bir sayının tamamen pozitif veya tamamen negatif olan bir sayı ile aritmetik işlemlerinde pozitif sayı gibi davranış gösterdiği kabul edilir.

$$\frac{\Delta\tilde{B}}{\Delta\tilde{C}} = \frac{(-3,80; 14,84; 32,50)}{(40; 80; 140)} = (-0,027; 0,185; 0,812)$$

Bulanık kazanç maliyet artış analizinde 1'den küçük bir değer elde edildiği için Alternatif 1'e yatırım yapılmalıdır.

Örnek 5-8: 5 yıl süreli yamuk bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 5.4'te verilen yatırım alternatiflerinin $i = (9; 10; 12; 13)\%$ bulanık yamuk sayı ile tanımlanmış faiz oranı altında bulanık fayda maliyet artış oranı aşağıda hesaplanmaktadır.

Çizelge 5.4 : Alternatiflere ait yamuk bulanık nakit akışları.

	Yıl	Alternatif 1	Alternatif 2
Maliyet	0	(180;190;230;250)	(150;170;180;200)
Getiriler	1	(65;70;82;90)	(45;48;52;55)
	2	(65;75;85;95)	(53;62;65;72)
	3	(70;75;80;85)	(75;82;86;94)
	4	(60;67;76;85)	(85;92;98;105)
	5	(78;84;93;99)	(90;95;98;103)

Kazanç maliyet artış oranı hesaplanırken ilk yatırım maliyeti daha büyük olan 1 numaralı alternatifin getirilerinden 2 numaralı alternatifin getirileri çıkarılarak işlem yapılacaktır.

$$\Delta\tilde{B} = \left(\frac{(65 - 55)}{(1 + 0,13)^1} + \frac{(65 - 72)}{(1 + 0,13)^2} + \frac{(70 - 94)}{(1 + 0,13)^3} + \frac{(60 - 105)}{(1 + 0,13)^4} + \frac{(78 - 103)}{(1 + 0,13)^5} \right);$$

$$\frac{(70 - 52)}{(1 + 0,12)^1} + \frac{(75 - 65)}{(1 + 0,12)^2} + \frac{(75 - 86)}{(1 + 0,12)^3} + \frac{(67 - 98)}{(1 + 0,12)^4} + \frac{(84 - 98)}{(1 + 0,12)^5};$$

$$\frac{(82 - 48)}{(1 + 0,10)^1} + \frac{(85 - 62)}{(1 + 0,10)^2} + \frac{(80 - 82)}{(1 + 0,10)^3} + \frac{(76 - 92)}{(1 + 0,10)^4} + \frac{(93 - 95)}{(1 + 0,10)^5};$$

$$\frac{(90 - 45)}{(1 + 0,09)^1} + \frac{(95 - 53)}{(1 + 0,09)^2} + \frac{(85 - 75)}{(1 + 0,09)^3} + \frac{(85 - 85)}{(1 + 0,09)^4} + \frac{(99 - 90)}{(1 + 0,09)^5} \Big)$$

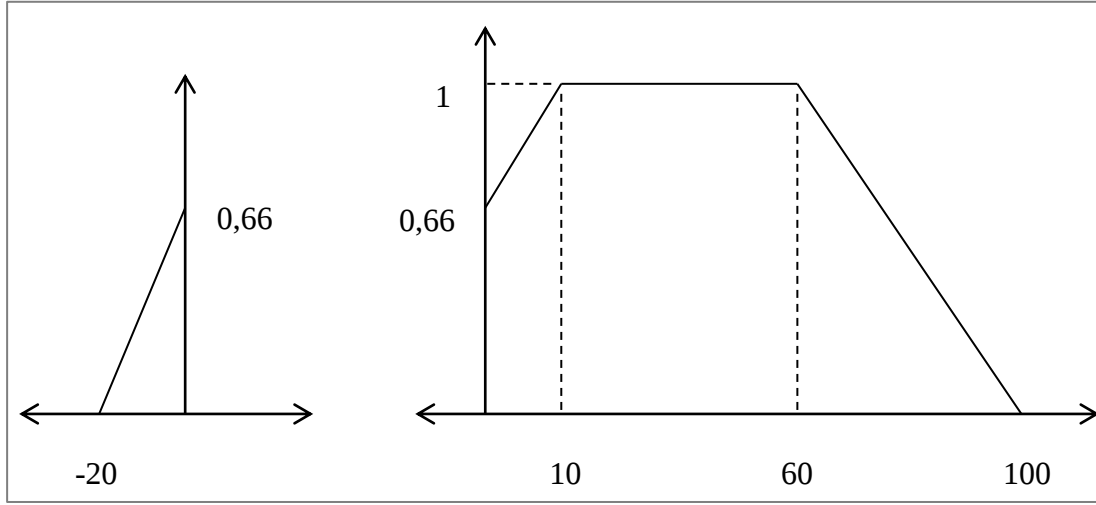
$$\Delta\tilde{B} = (-13,57; -7,94; -1,24; 5,85)$$

$$\Delta\tilde{C} = \left(\frac{(180 - 200)}{(1 + 0,09)^0}; \frac{(190 - 180)}{(1 + 0,10)^0}; \frac{(230 - 170)}{(1 + 0,12)^0}; \frac{(250 - 150)}{(1 + 0,13)^0} \right)$$

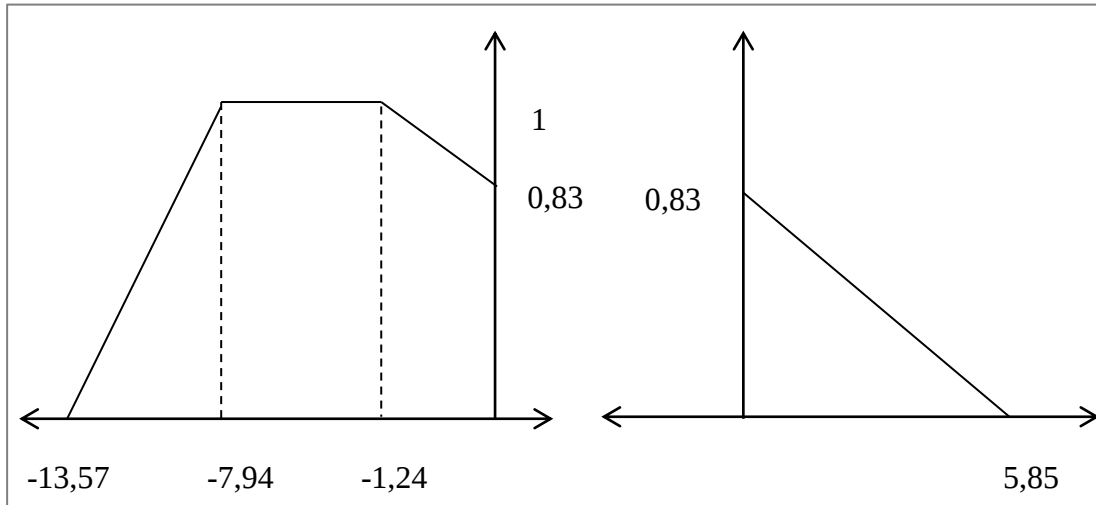
$$\Delta\tilde{C} = (-20; 10; 60; 100)$$

Hem negatifliği hem pozitifliği bünyesinde barındıran iki sayının aritmetik işlemlerinde bulanık sayıların negatif taraflarını ve pozitif taraflarını ayrı bulanık sayılar gibi değerlendirerek olabilecek tüm kombinasyonlar hesaplanacak ve

işlemlerin tanımlı olduğu aralık nihai işlemin sonucu olarak belirlenecektir. Şekil 5.1’de bulanık maliyet artış miktarını, Şekil 5.2’de bulanık kazanç artış miktarını ifade eden sayılar negatif ve pozitif taraflarına ayrıştırılmıştır.



Şekil 5.1 : $\Delta \tilde{C}$ sayısının ayrıştırılması.



Şekil 5.2 : $\Delta \tilde{B}$ sayısının ayrıştırılması.

$\Delta \tilde{B}$ nin ve $\Delta \tilde{C}$ nin pozitif olması durumu:

$$\frac{\Delta \tilde{B}}{\Delta \tilde{C}} = \left(\frac{0}{100}; \frac{0}{60}; \frac{0}{10}; \frac{5,85}{0} \right)$$

$\Delta \tilde{B}$ nin ve $\Delta \tilde{C}$ nin negatif olması durumu:

$$\frac{\Delta \tilde{B}}{\Delta \tilde{C}} = \left(\frac{0}{-20}; \frac{-1,24}{0}; \frac{-7,94}{0}; \frac{-13,57}{0} \right)$$

$\Delta\tilde{B}$ nin pozitif ve $\Delta\tilde{C}$ nin negatif olması durumu:

$$\frac{\Delta\tilde{B}}{\Delta\tilde{C}} = \left(\frac{0}{-20}; \frac{0}{0}; \frac{0}{0}; \frac{5,85}{0} \right)$$

$\Delta\tilde{B}$ nin negatif ve $\Delta\tilde{C}$ nin pozitif olması durumu:

$$\frac{\Delta\tilde{B}}{\Delta\tilde{C}} = \left(\frac{0}{100}; \frac{-1,24}{60}; \frac{-7,94}{10}; \frac{-13,57}{0} \right)$$

Yukarıdaki kombinasyonların tanımlı bulunduğu en geniş aralık [-0,79;0] olarak belirlenir. Aralık tamamen negatif bölgede olduğundan Alternatif 2 seçilir.

5.5 Bulanık Geri Ödeme Süresi Analizi

Kahraman ve diğ. (2002), bulanık yatırım analizlerinde ilk yatırım maliyetinin geri dönüş oranını belirleme amacıyla, bulanık geri ödeme süresi analizini geliştirmişlerdir. Sağ gösterimi $C_{j_0}^{r(y)}$, sol gösterimi $C_{j_0}^{l(y)}$ olan $\tilde{C}_{j_0}$; j alternatifinin ilk yatırım maliyetini ve sağ gösterimi $B_{j_t}^{r(y)}$, sol gösterimi $B_{j_t}^{l(y)}$ olan $\tilde{B}_{j_t}$; j alternatifinden t döneminde elde edilen net kazancı, $i^{r(y)}$ iskonto oranının sağ gösterimini ve $i^{l(y)}$ iskonto oranının sol gösterimini ifade etmek üzere; paranın zaman değeri göz önüne alınmadığında Denklem (5.16)'yı, paranın zaman değeri göz önüne alındığında Denklem (5.17)'yi sağlayan en küçük m_j değeri; j yatırımı için geri dönüş süresini vermektedir.

$$\sum_{t=1}^{m_j} B_{j_t} \geq C_{j_0} \quad (5.16)$$

$$\left(\sum_{t=1}^{m_j} \left(\frac{B_{j_t}^{l(y)}}{(1+i^{r(y)})^t} \right); \sum_{t=1}^{m_j} \left(\frac{B_{j_t}^{r(y)}}{(1+i^{l(y)})^t} \right) \right) \geq (C_{j_0}^{l(y)}; C_{j_0}^{r(y)}) \quad (5.17)$$

$\tilde{B} = (B_l; B_m; B_r)$ yatırımın net getirisi, $\tilde{C} = (C_l; C_m; C_r)$ ilk yatırım maliyeti ve $\tilde{i} = (i_l; i_m; i_r)$ iskonto oranı üçgen bulanık sayılarla ifade edildiğinde Denklem (5.18)'i sağlayan en küçük m değeri yatırımın üçgen bulanık geri dönüş süresini vermektedir.

$$\left(\sum_{t=1}^m \left(\frac{B_{t_l}}{(1+i_r)^t} \right); \sum_{t=1}^m \left(\frac{B_{t_m}}{(1+i_m)^t} \right); \sum_{t=1}^m \left(\frac{B_{t_r}}{(1+i_l)^t} \right) \right) \geq (C_l; C_m; C_r) \quad (5.18)$$

$\tilde{B} = (B_{t_1}; B_{t_2}; B_{t_3}; B_{t_4})$; yatırımın t anındaki getirisi, $\tilde{C} = (C_1; C_2; C_3; C_4)$ yatırımın ilk yatırım maliyeti ve $\tilde{i} = (i_1; i_2; i_3; i_4)$ iskonto oranı yamuk bulanık sayılarla ifade edildiğinde Denklem (5.19)'u sağlayan en küçük m değeri yatırımın yamuk bulanık geri dönüş süresini vermektedir.

$$\left(\sum_{t=1}^m \left(\frac{B_{t_1}}{(1+i_4)^t} \right); \sum_{t=1}^m \left(\frac{B_{t_2}}{(1+i_3)^t} \right); \sum_{t=1}^m \left(\frac{B_{t_3}}{(1+i_2)^t} \right); \sum_{t=1}^m \left(\frac{B_{t_4}}{(1+i_1)^t} \right) \right) \geq (C_1; C_2; C_3; C_4) \quad (5.19)$$

Daha önceki çalışmalar incelendiğinde, bulanık geri dönüş süresi analizinde sıralamaların belirlenmesinde, ağırlıklı sıralama ve üç kriter sıralama yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür.

Örnek 5.9'da bulanık geri dönüş süresi analizinde ağırlıklı sıralama yöntemi, üç kriter sıralama yöntemi ve olabilirlik ve gereklilik indisleri ile sıralama yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Bulanık geri dönüş süresi yönteminde bulanık sayıların sıralanması için ağırlıklı sıralama yöntemi uygulandığında öncelik değerleri Denklem (5.20) ve (5.21) ile elde edilmektedir. F_{i_l} ; en düşük olası nakit akışını, F_{i_m} ; en olası nakit akışını (modu), F_{i_r} ; en yüksek olası nakit akışını, w ; mod ve karar vericinin davranışına göre belirlenen ağırlık katsayısını, I_{CP} ; ilk yatırımın öncelik değerini ve $F_{i_{CP}}$; i döneminde oluşan nakit akışlarının öncelik değerini ifade etmektedir. Denklem (5.22)'yi sağlayan en düşük z değeri yatırımın geri dönüş süresini vermektedir.

$$F_{i_{CP}} = \left(\frac{F_{i_l} + F_{i_m} + F_{i_r}}{3} \right) + wF_{i_m} \quad (5.20)$$

$$I_{CP} = \left(\frac{I_l + I_m + I_r}{3} \right) + wI_m \quad (5.21)$$

$$\sum_{i=1}^z F_{i_{CP}} > I_{CP} \quad (5.22)$$

Bulanık geri dönüş süresi yönteminde bulanık sayıların sıralanması için üç kriter yöntemi uygulandığında öncelik değerleri Denklem (5.23) ve (5.24) ile elde

edilmektedir. Denklem (5.25)'i sağlayan en düşük z değeri yatırımın geri dönüş süresini vermektedir.

$$F_{i_{KG}} = \left(\frac{F_{i_l} + 2F_{i_m} + F_{i_r}}{4} \right) \quad (5.23)$$

$$I_{KG} = \left(\frac{I_l + 2I_m + I_r}{4} \right) \quad (5.24)$$

$$\sum_{i=1}^z F_{i_{KG}} > I_{KG} \quad (5.25)$$

$\mathcal{M}(x)$ sıralama ölçütü; karar vericinin seçimine göre Denklem (3.111)-(3.114) arasında verilen dört indisten biri olarak tanımlansın. γ ; karar verici tarafından belirlenen eşik değeri olmak üzere Denklem (5.26)'yı sağlayan en küçük z değeri geri dönüş süresini vermektedir:

$$\mathcal{M} \left(\sum_{i=1}^z \tilde{F}_i \geq \tilde{I} \right) \geq \gamma \quad (5.26)$$

Denklem (5.26)'da verilen tanımlama bugüne kadar yayınlanmış bulanık geri dönüş süresi yöntemlerinden daha esnek ve yatırım projelerinin farklı durumlarıyla karar vericinin farklı tutumlarını birleştirerek göz önünde bulundurmaya imkan tanır.

Örnek 5-9: Bir imalatçı yeni bir ürün üretmek için makine yatırımı yapmak istemektedir. Yeni makine $\tilde{I} = (100000; 130000; 150000)$ ilk yatırım maliyetine, $\tilde{C} = (10000; 15000; 20000)$ \$ yıllık çalışma maliyetine, $\tilde{B} = (30000; 40000; 50000)$ \$ yıllık getiriye sahiptir. Makinenin faydalı ömrü 10 yıldır.

Yatırımın yıllık net nakit akışı aşağıda hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \tilde{F}_i &= \tilde{B} - \tilde{C} = (30000; 40000; 50000) - (10000; 15000; 20000) \\ &= (10000; 25000; 40000)$ \end{aligned}$$

$$\left(\sum_{t=1}^n F_{t_l}; \sum_{t=1}^n F_{t_m}; \sum_{t=1}^n F_{t_r} \right) = (10000n_k; 25000n_k; 40000n_k)$$

Geri dönüş süresi formülüne veriler uyarlandığında aşağıdaki eşitsizlik elde edilir:

$$(10000n_k; 25000n_k; 40000n_k) \geq (100000; 130000; 150000)$$

Ağırlıklı ortalama sıralama yöntemi:

İlk yatırımın öncelik değeri Denklem (5.21) kullanılarak bulunmuştur:

$$I_{CP} = \left(\frac{100000 + 130000 + 150000}{3} \right) + 0.3 * 130000 = 165667$$

Yatırımın nakit akışları (F_i) projenin faydalı ömrü boyunca eşittir.

$$F_1 = F_2 = \dots = F_n = (10000; 25000; 40000)$$

Nakit akışlarının öncelik değerleri Denklem (5.20) kullanılarak bulunmuştur:

$$F_{1_{CP}} = F_{2_{CP}} = \dots = F_{n_{CP}} = 32500.$$

Yüksek ağırlıkla ($w = 0,3$) ağırlıklı ortalama sıralama yöntemi uygulandığında yatırımın geri dönüş süresi 6 yıl olarak bulunmuştur:

$$\sum_{i=1}^z F_{i_{CP}} > I_{CP} \rightarrow z = 6 \text{ yıl}$$

Üç kriter yöntemi:

İlk yatırım için sıradan sayı Denklem (5.24)'ü kullanarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$I_{KG} = \left(\frac{I_l + 2I_m + I_r}{4} \right) = \frac{100000 + 260000 + 150000}{4} = 127500$$

$$F_1 = F_2 = \dots = F_n = (10000; 25000; 40000)$$

Nakit akışları için sıradan sayılar Denklem (5.23)'ü kullanarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$F_{1_{KG}} = F_{2_{KG}} = \dots = F_{n_{KG}} = 25000$$

Üç kriter yöntemi uygulandığında birinci kriter yatırımın geri dönüş süresi olarak ağırlıklı sıralama yöntemiyle aynı sonucu (6 yıl) vermektedir:

$$\sum_{i=1}^z F_{i_{KG}} > I_{KG} \rightarrow z = 6 \text{ yıl}$$

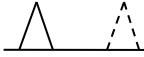
Olabilirlik ve gereklilik ölçütleri ile sıralama yöntemi:

İki yöntemle de aynı bulanık olmayan sonuçlar elde edilmiştir. Olabilirlik ve gereklilik ölçütleri kullanıldığında sonuçlar farklı olmaktadır. Denklem (3.111)-

(3.114) arasında verilen indislerin aldığı sonuçlar Çizelge 5.5'te verilmektedir. $\tilde{M} = \tilde{C} = (10000n_k; 25000n_k; 40000n_k)$, $\tilde{N} = \tilde{I} = (100000; 130000; 150000)$ olarak hesaplamalar yapılmıştır.

İlk yatırımı düşük değerler ve nakit akışları yüksek değerler alan projeler tercih edilecektir. İyimser bir karar verici üç sene sonrasında ilk yatırımın proje nakit akışları tarafından karşılanacağını Denklem (3.111)'de verilen $\Pi_M([N, +\infty))$ indisinin aldığı değerler sonucunda bekleyebilir. Bu ihtimal ancak 4 sene sonunda kabul edilebilir bir değer almaktadır. Bu nedenle iyimser bir karar verici muhtemelen yatırımın geri dönüş süresini 4 sene olarak belirleyecektir.

Çizelge 5.5 : Yıllara ait olabilirlik ve gereklilik ölçütleri değerleri.

n	1	2	3	4	5	6
İndisler						
$\Pi_M([N, +\infty))$	0	0	0,3	0,8	0,97	1
$\Pi_M(]N, +\infty))$	0	0	0	0,4	0,85	1
$N_M([N, +\infty))$	0	0	0	0	0	0
$N_M(]N, +\infty))$	0	0	0	0	0	0,05
Grafikler						

Kötümser bir karar verici ilk yatırımın yüksek değerler almasını ve nakit akışlarının düşük değerler almasını beklemektedir. Bu nedenle karar verici $N_M(]N, +\infty))$ indisini göz önüne alacak ve yatırımın geri dönüş süresini 6 seneden daha fazla olarak belirleyecektir. Eğer firma tarafından geri dönüş süresi 6 yıl ya da daha az olarak belirlenirse proje geri çevrilecektir.

$\Pi_M(]N, +\infty))$ indisi ilk yatırım için kötümser, nakit akışları için iyimser bir bakış açısı sergilendiğinde tercih edilecektir. Bu durum, projeye yatırım yapılmasında nakit akışlarının daha büyük bir öneme sahip olduğu ve ilk yatırımın, donanım fiyatları, tedarikçi anlaşmaları gibi dış faktörlerden daha fazla etkilendiği durumlarda gerçekleşir. Bu durumda projenin geri dönüş süresi 5 yıl olarak belirlenecektir.

$N_M([N, +\infty))$ indisi ilk yatırım için iyimser, nakit akışları için kötümser bakış açısına sahip olunduğunda kullanılır. Bu indis ilk yatırımın zamanlaması nedeniyle sahip olduğu belirsizlik, yatırımın nakit akışlarına oranla daha az olduğundan yatırım

anazlerine en uygun olan indistir. Bu durumda, yatırımın geri dönüş süresi, 6 yıldan daha uzun olarak belirlenecektir.

5.6 Bulanık Verim Oranı Analizi

Bir yatırımın nakit akışlarının şimdiki değere iskonto edilmesi durumunda ilk yatırım maliyetlerinin karşılandığı en düşük faiz oranına o yatırımın iç verim oranı denir (Tolga ve Kahraman, 1994). VO ; iç verim oranını, F_t ; t anında gerçekleşen nakit akışını, I ; yatırımın ilk yatırım maliyetini ve n ; yatırımın faydalı ömrünü ifade etmek üzere bir yatırıma ait iç verim oranı Denklem (5.27) kullanılarak hesaplanır:

$$\sum_{t=1}^n F_t(1 + VO)^{-t} - I = 0 \quad (5.27)$$

Denklem (5.27) bulanık nakit akışları için genişletildiğinde $\tilde{F}_t$; t anında gerçekleşen bulanık nakit akışını, $\tilde{VO}$; bulanık iç verim oranını, $\tilde{I}$; yatırımın bulanık ilk yatırım maliyetini ve n ; yatırımın faydalı ömrünü ifade etmek üzere Denklem (5.28) elde edilir:

$$\sum_{t=1}^n \tilde{F}_t(1 + \tilde{VO})^{-t} - \tilde{I} = 0 \quad (5.28)$$

Ward (1985) çalışmasında Denklem (5.28)'in sağ tarafının bulanık sayı olmasına karşı sol tarafının 0 (klasik sayı) olmasından ötürü formülün gerçekleşmesinin mümkün olmadığını açıklamıştır. Buckley (1987) bazı bulanık nakit akışlarının iç verim oranının hesaplanamadığını gösterdiği çalışmasında iç verim oranı analizinin bulanık sayılara genişletilemeyeceğini belirtmiştir.

Kahraman ve diğ. (2002) çalışmalarında iç verim oranını hesaplamak için Denklem (5.29)'u önererek eşitliğin iki tarafının da bulanık sayı olması nedeniyle bulanık iç verim oranı analizinde yaşanan sıkıntıları ortadan kaldırmışlardır:

$$\sum_{i=1}^n \$D(\tilde{F}_i, i) = \tilde{F}_0 \quad (5.29)$$

Örnek 5-10: Çizelge 5.1'de nakit akışları verilen yatırım analizinin iç verim oranını belirlemek için nakit akışları Denklem (5.29)'a uygulandığında aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\begin{aligned}
(200; 230; 250) = & \left(\left(\frac{enb(60; 0)}{(1 + VO_r)^1} + \frac{enk(60; 0)}{(1 + VO_l)^1} \right) + \left(\frac{enb(55; 0)}{(1 + VO_r)^1} + \frac{enk(55; 0)}{(1 + VO_l)^1} \right) + \right. \\
& \left(\frac{enb(53; 0)}{(1 + VO_r)^2} + \frac{enk(53; 0)}{(1 + VO_l)^2} \right) + \left(\frac{enb(50; 0)}{(1 + VO_r)^4} + \frac{enk(50; 0)}{(1 + VO_l)^4} \right) + \\
& \left. \left(\frac{enb(45; 0)}{(1 + VO_r)^5} + \frac{enk(45; 0)}{(1 + VO_l)^5} \right) \right); \left(\frac{75}{(1 + VO_m)^1} + \frac{70}{(1 + VO_m)^2} + \right. \\
& \frac{70}{(1 + VO_m)^3} + \frac{65}{(1 + VO_m)^4} + \frac{60}{(1 + VO_m)^5} \Big); \\
& \left(\left(\frac{enb(90; 0)}{(1 + VO_l)^1} + \frac{enk(90; 0)}{(1 + VO_r)^1} \right) + \left(\frac{enb(88; 0)}{(1 + VO_l)^2} + \frac{enk(88; 0)}{(1 + VO_r)^2} \right) + \right. \\
& \left(\frac{enb(85; 0)}{(1 + VO_l)^3} + \frac{enk(85; 0)}{(1 + VO_r)^3} \right) + \left(\frac{enb(80; 0)}{(1 + VO_l)^4} + \frac{enk(80; 0)}{(1 + VO_r)^4} \right) + \\
& \left. \left(\frac{enb(77; 0)}{(1 + VO_l)^5} + \frac{enk(77; 0)}{(1 + VO_r)^5} \right) \right)
\end{aligned}$$

Yukarıda verilen eşitlikteki koşullar incelenerek sadeleştirildiğinde aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\begin{aligned}
(200; 230; 250) = & \left(\left(\frac{60}{(1 + VO_r)^1} + \frac{55}{(1 + VO_r)^1} + \frac{53}{(1 + VO_r)^2} + \frac{50}{(1 + VO_r)^4} + \right. \right. \\
& \left. \frac{45}{(1 + VO_r)^5} \right); \left(\frac{75}{(1 + VO_m)^1} + \frac{70}{(1 + VO_m)^2} + \frac{70}{(1 + VO_m)^3} + \right. \\
& \left. \frac{65}{(1 + VO_m)^4} + \frac{60}{(1 + VO_m)^5} \right); \left(\frac{90}{(1 + VO_l)^1} + \frac{88}{(1 + VO_l)^2} + \right. \\
& \left. \frac{85}{(1 + VO_l)^3} + \frac{80}{(1 + VO_l)^4} + \frac{77}{(1 + VO_l)^5} \right)
\end{aligned}$$

Yukarıda verilen eşitliği çözmek için Bölüm 6.3.2’de Monte Carlo simülasyonunun kullanımı önerilecektir. Monte Carlo simülasyonu ile verim oranı yaklaşık $\tilde{\tau} = (0,156; 0,161; 0,171)$ olarak hesaplanmıştır. Çözümün detayları Bölüm 6.3.2’de bulunmaktadır.

5.7 Mellin Dönüşümü Esaslı Yaklaşımlar

Park (1986) risk analizinde, Mellin dönüşümünün bazı kullanışlı özelliklerini genişletmiş ve olasılıksal nakit akışı modellemesine uygulamıştır. Mellin dönüşümü özellikle bağımsız rassal değişkenlerin çarpımlarını veya katsayılarını içeren nakit akışı grafiğinin şimdiki değerini tahmin etmede kullanışlıdır. Mellin dönüşümü ile türev veya dönüşüm proseslerine gerek kalmadan istatistiksel momentleri elde etmek mümkündür. Mellin dönüşümü, aynı zamanda kesikli ödeme ve kesikli iskontolamaya dayanan nakit akışı dağılımlarının her hangi bir dereceden momentini hesaplamada kullanılabilir (Park, 1986).

$f(x)$ fonksiyonunun Mellin dönüşümü $M_x(s)$ olarak gösterildiğinde, x değişkeninin pozitif değerler alması durumunda $M_x(s) = \int_0^{\infty} x^{s-1} f(x) dx = E(X^{s-1})$ olarak tanımlanmıştır. X rassal değişkeninin ilk iki istatistiksel momentleri, Mellin dönüşümü ile $\mu = E[X^1] = M_x(2)$ ve $\sigma^2 = E[X^2] - E[X]^2 = M_x(3) - (M_x(2))^2$ olarak ifade edilir (Park ve Sharp-Bette, 1990).

Park (1986) Mellin dönüşüm özelliklerini ve çarpma, bölme işlemleri için Mellin dönüşümlerini Çizelge 5.6 ve 5.7’de gösterildiği şekilde belirtmiştir.

Çizelge 5.6 : Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının Mellin dönüşüm özellikleri (Park, 1986).

Özellik	Olasılık Yoğunluk Fonsiyonu	Mellin Dönüşümü
Standart	$f(x)$	$M_x(s)$
Derecelendirme	$f(ax)$	$a^{-s} M_x(s)$
Doğrusal	$af(x)$	$a M_x(s)$
Aktarım	$X^a f(x)$	$M_x(a + s)$
Üstel	$f(x^a)$	$a^{-1} M_x(s/a)$

Çizelge 5.7 : Çarpma ve bölme işlemleri için Mellin dönüşümleri (Park, 1986).

Özellik	Olasılık Yoğunluk Fonsiyonu	Mellin Dönüşümü
X	$f(x)$	$M_x(s)$
X^b	$f(x)$	$M_x(bs - b + 1)$
$1/X$	$f(x)$	$M_x(2 - s)$
aX	$f(x)$	$a^{s-1}M_x(s)$
XY	$f(x), g(y)$	$M_x(s)M_y(s)$
X/Y	$f(x), g(y)$	$M_x(s)M_y(2 - s)$
aX^bY^c	$f(x), g(y)$	$a^{s-1}M_x(bs - b + 1)M_y(cs - c + 1)$
e^{-X}	$f(x)$	$L(s - 1)$

Çizelge 5.7’de geçen X ve Y rassal değişkenleri, a , b ve c sabitleri ve $L(s)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu olan $f(x)$ ‘in Laplace dönüşümünü ifade etmektedir.

Çizelge 5.8’da örnek olasılık yoğunluk fonksiyonları için Mellin dönüşümleri verilmektedir (Yoon, 2008).

Çizelge 5.8 : Örnek olasılık fonksiyonları için Mellin dönüşümleri (Yoon, 2008).

İsim	Parametreler	$M_x(s)$
Üçgen	$T(l; m; u)$	$\frac{2}{(u-l)s(s+1)} \left[\frac{u(u^s - m^s)}{(u-m)} - \frac{l(m^s - l^s)}{(m-l)} \right]$
Yamuk	$TR(a; b; c; d)$	$\frac{2}{(c+d-b-a)s(s+1)} \left[\frac{(d^{s+1} - c^{s+1})}{(d-c)} - \frac{(b^{s+1} - a^{s+1})}{(b-a)} \right]$

5.7.1 Mellin dönüşümü esaslı bulanık şimdiki değer analizi

Yoon (2008) Mellin dönüşümünü bulanık nakit akışı analizinde, bulanık nakit akışlarının şimdiki değer hesaplaması ve bulanık nakit akışlı alternatiflerin karşılaştırılması olmak üzere iki yönetime uygulamıştır. Bulanık nakit akışlarının şimdiki değeri hesaplanırken şimdiki değer $P = F(1+i)^{-n} = FX^{-n} = FY$ ve şimdiki değerın Mellin dönüşümü $M_P(s) = M_F(s)M_Y(s)$ eşitlikleri ile

tanımlanmıştır. Şimdiki değerin ortalaması ve varyansı $\mu_P = M_P(2) = M_F(2)M_Y(2)$ ve $\sigma_P^2 = M_P(3) - [M_P(2)]^2$ olarak tanımlanmaktadır.

Örnek 5-11: Nakit akışlarının 10 sene sonraki gelecek değeri $\tilde{F} = (15000; 17000; 20000; 24000)$ \$ yamuk bulanık sayısı olarak verildiğinde ve faiz oranı $i = (9; 11; 13)\%$ üçgen bulanık sayısı olarak ifade edildiğinde, Mellin dönüşümü kullanılarak aşağıdaki değerler elde edilir:

$$M_F(s) = \frac{2}{(12000)s(s+1)} \left[\frac{(24000^{s+1} - 20000^{s+1})}{(4000)} - \frac{(17000^{s+1} - 15000^{s+1})}{(2000)} \right]$$

$$M_Y(s) = M_x(-ns + n + 1)$$

$$M_Y(s) = \frac{2}{(u-l)(-ns+n+1)(-ns+n+2)} \left(\frac{u(u^{(-ns+n+1)} - m^{(-ns+n+1)})}{(u-m)} - \frac{l(m^{(-ns+n+1)} - l^{(-ns+n+1)})}{(m-l)} \right)$$

$$M_Y(s) = \frac{2}{0.04(-10s+11)(-10s+12)} \left(\frac{1.13(1.13^{(-10s+11)} - 1.11^{(-10s+11)})}{0.02} - \frac{1.09(1.11^{(-10s+11)} - 1.09^{(-10s+11)})}{0.02} \right)$$

Şimdiki değerin ortalaması $\mu_P = M_P(2) = M_F(2)M_Y(2) = 19083 * 0.3532 = \6740 olarak hesaplanır. Şimdiki değerin varyans ve standart sapması $\sigma_P^2 = M_P(3) - [M_P(2)]^2 = 46147200 - 6740^2 = 719600$ ve $\sigma_P = \$848$ olarak hesaplanır.

5.7.2 Mellin dönüşümü esaslı bulanık gelecek değer analizi

A_t ; t yılının sonundaki nakit akışı olmak üzere, bir yatırım alternatifinin gelecek değeri $F = \sum_{t=0}^n A_t(1+i)^{n-t} = \sum_{t=0}^n A_t Y^{n-t}$ eşitliği ile hesaplanır. X^b rassal değişkeninin Mellin dönüşümü $M_x(bs - b + 1)$ olduğundan, F için Mellin dönüşümü yapıldığında $M_F(s) = \sum_{t=0}^n M_{A_t}(s)M_Y((n-t)s - (n-t) + 1)$ eşitliği elde edilir (Yoon, 2008).

Örnek 5-12: İki proje için 5 yıl süreli beklenen nakit akışları Çizelge 5.9’da verildiği gibi olsun. Faiz oranı $i = (9; 11; 13)\%$ bulanık üçgen sayı ile tanımlansın.

Çizelge 5.9 : Alternatiflerin nakit akışları.

Yıl	Alternatif 1	Alternatif 2
0	(-250;-230;-200)	(-340;-310;-290)
1	(60;75;90)	(90;100;115)
2	(55;70;88)	(85;95;105)
3	(53;70;85)	(80;95;100)
4	(50;65;80)	(75;90;100)
5	(45;60;77)	(70;85;95)

Alternatiflerin gelecek değerlerinin ortalaması $n=5$ ve $s=2$ alınarak hesaplanmış ve işlemler Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10 : Alternatifler için hesaplamalar.

	Alternatif 1			Alternatif 2			
t	$M_{A_t}(2)$	$M_Y(-t + 6)$	$M_F(2)$	$M_{A_t}(2)$	$M_Y(-t + 6)$	$M_F(2)$	
0	-226,67	1,6856	-382,16	-313,33	1,6856	-528,26	
1	75	1,5186	113,89	101,67	1,5186	154,39	
2	71	1,3678	97,12	95	1,3678	129,95	
3	69,33	1,2322	85,43	91,67	1,2322	112,95	
4	65	1,11	72,15	88,33	1,11	98,05	
5	60,67	1	60,67	83,33	1	83,33	
TOPLAM			47,10	TOPLAM			50,41

A alternatifi için gelecek değer ortalaması \$47,10, B alternatifi için \$50,41 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda B alternatifinin seçilmesi uygundur.

6. YATIRIM ANALİZLERİNE YENİ BULANIK YAKLAŞIMLAR

6.1 Yatırım Analizi Parametrelerinin Tahmini

Talep tahminleri firmaların kısa ve uzun vadeli planlarını doğrudan etkilediğinden, yanlış tahminler sonucunda firmalar pazardan çekilmek durumunda bile kalabilmektedir. Özellikle belirsiz koşullar altında, analizleri geleneksel yöntemlerle yapmak gerçeğe uzak sonuçlar doğurabilmekte ve yatırımcıların yanlış yönlendirmelerine neden olabilmektedir. Bu nedenle talep tahminlerinde belirsizliği göz önünde bulunduran yöntemler giderek daha çok kullanılmaktadır.

Bu bölümde mevsimsellik içeren verilerin tahmininde kullanılmak üzere bir bulanık zaman serileri yaklaşımı önerilecektir. Ayrıca talep tahmininde diğer bir yaklaşım olan bulanık regresyon yaklaşımı ile geçmiş faiz oranı ve enflasyon verilerinin faiz oranına etkisi belirlenip gelecek dönem için faiz oranı tahmin edilecektir.

6.1.1 Bulanık zaman serileri esaslı yaklaşım

Geçmişe ilişkin verilerin zaman içindeki değişimini gösteren bir dizi değer bir zaman serisini oluşturur. Zaman serisi analizi ile bu değerlerin değişim biçimi araştırılır ve sürecin davranışını temsil eden bir model kurulur. Bu modelin kurulabilmesi için verilere ait ortalama, eğilim, mevsimsel değişim ve periyodik değişim bilgilerinin bilinmesi gerekir (Tanyaş ve Baskak, 2008).

Bulanık zaman serileri; bulanık verinin çözümlemesinde, dilsel veriler ile bulanık mantığın zaman serilerine uygulanma sürecinin birleştirilerek kullanılması yöntemidir (Nguyen ve Wu, 2006). Klasik zaman serileri analizleri doğrusallık kabulüne ve en az 50 gözleme ihtiyaç duymaktadır. Bulanık zaman serileri yaklaşımları ile az sayıda gözlem olması durumunda ve doğrusallık kısıtının sağlanamadığı durumlarda gerçeğe daha yakın sonuçlara ulaşılabilmektedir (Kahraman ve diğ, 2010). Bulanık zaman serileri yaklaşımları üç aşamadan oluşur. İlk aşama gözlem değerlerinin bulanıklaştırılmasıdır. İkinci aşamada bulanık ilişkiler oluşturulur ve son aşamada netleştirme işlemi ile sonuçlara ulaşılır (Yolcu ve diğ, 2009).

Literatür taraması yapıldığında talep tahmininde bulanık zaman serilerinin geniş kullanım alanına sahip olduğu görülmüştür. Bulanık zaman serisi analizleri ilk olarak Song ve Chissom (1993a, 1993b, 1994) tarafından geliştirilmiştir. Chen (1996) üniversite kayıtlarının tahmini için bulanık zaman serileri temelli yeni bir metot geliştirmiştir. Song (1999) bulanık zaman serileri için bir mevsimsel tahmin modeli önermiştir. Singh (2007) gözlem değerlerinin bulanıklaştırılmasında farklı parametrelerin etkilerini içeren dilsel veriler kullanarak bulanık ilişkileri oluşturmuş ve önerdiği yöntemi daha önce geliştirilen yöntemlerle karşılaştırmıştır. Ayrıca bulanık mantıksal ilişkilerin gruplandırılması ve sezgisel kuralların kullanılması ile geliştirilen birçok tahmin modeli bulunmaktadır (Huarng, 2001; Chen, 2002; Lee ve Chou, 2004; Huarng ve Yu, 2005; Own ve Yu, 2005; Tsaur ve diğ, 2005; Yu, 2005; Chen ve Chung, 2006; Chen ve diğ, 2007; Li ve Cheng, 2007).

6.1.1.1 Bulanık zaman serileri

$Y(t) (t = \dots, 0, 1, 2, 3, \dots)$ R 'nin bir alt kümesi olmak üzere, $R; f_i(t), (i = 1, 2, 3, \dots)$ bulanık kümelerinin tanımlandığı evrensel küme olsun. $F(t); f_i$ kümelerinin birleşimi ise, $F(t), Y(t)$ üzerinde bulanık zaman serileri olarak tanımlanır.

$F(t)$ 'nin ancak $F(t - 1)$ sonucunda ortaya çıktığını ve $F(t - 1) \rightarrow F(t)$ olarak gösterildiğini kabul edelim. Bu durumda $F(t)$ ile $F(t - 1)$ arasındaki ilişki Denklem (6.1)'de verilen bulanık bağıntısal eşitlikle ifade edilir (Singh, 2007).

$$F(t) = F(t - 1) \circ R(t, t - 1) \quad (6.1)$$

Enbüyük-enküçük operatörünün " $\circ$ " ile ifade edildiği Eşitlik 6.1'de, R bağıntısı, $F(t)$ 'nin birinci mertebeden modeli olarak adlandırılır.

Eğer $F(t);$ birden çok $F(t - n), F(t - n + 1), \dots, F(t - 1)$ bulanık kümeleri sonucunda ortaya çıkıyorsa, bulanık bağıntı; $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in} \rightarrow A_j$ olmak üzere Denklem (6.2)'deki gibi ifade edilir (Singh, 2007).

$$F(t - n) = A_{i1}, F(t - n + 1) = A_{i2}, \dots, F(t - 1) = A_{in} \quad (6.2)$$

$F(t)$ 'nin $F(t - 1), F(t - 2), \dots$ ve $F(t - m) (m > 0)$ bulanık kümeleri sonucunda ortaya çıktığını ve bağıntıların zamanla değiştiğini kabul edelim. $F(t)$ zamanla değişen bulanık zaman serileri olarak adlandırılır. $w; F(t)$ tahmininin etkilendiği yılların sayısını ifade eden ve birden büyük bir zaman parametresi olmak üzere bulanık ilişki Denklem (6.3)'teki gibi ifade edilir (Singh, 2007).

$$F(t) = F(t - 1) \circ R^w(t, t - 1) \quad (6.3)$$

6.1.1.2 Bulanık zaman serileri ile talep tahmini modeli

Singh (2007), 5 adımdan oluşan bir bulanık zaman serileri ile tahmin yöntemi önermiştir. Bu yöntem, kullanım kolaylığı nedeniyle sıkça kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntemin adımları aşağıda verilmektedir:

1. Adım: Evrensel kümenin tanımlanması: Bu aşamada geçmiş zamana ait zaman serisi verilerinin aralığı temel alınarak tüm verileri içerecek şekilde evrensel kümenin alt ve üst sınırları belirlenir.

2. Adım: Evrensel kümenin eşit büyüklükteki aralıklara ayrıştırılması: $u_1, u_2, \dots, u_m$. Aralıkların sayısı dilsel verilerin sayıları $(A_1, A_2, \dots, A_m)$ ile uyumlu olacak şekilde belirlenir.

3. Adım: A_i bulanık kümelerinin belirlenmesi: Aşama 2’de belirlenen aralıklara uygun olarak, üyelik fonksiyonu özelliklerinin her bir aralığa uygulanmasıyla her bir bulanık küme belirlenir.

4. Adım: Geçmiş verinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantıksal bağıntıların belirlenmesi: Eğer A_i ; n yılına ait bulanık üretim miktarı ve A_j ; $n+1$ yılına ait bulanık üretim miktarı ise, bulanık mantıksal bağıntı $A_i \rightarrow A_j$ olarak kurulur.

5. Adım: Bir sonraki döneme ait tahminin gerçekleştirilmesi: $[*A_j]$; A_j ’nin en yüksek üyelik değerini aldığı u_j aralığını, $L[*A_j]$; u_j aralığının alt sınırını, $U[*A_j]$; u_j aralığının üst sınırını, $l[*A_j]$; A_j ’nin en yüksek üyelik değerini aldığı u_j aralığının uzunluğunu, $M[*A_j]$; A_j ’nin en yüksek üyelik değerini aldığı u_j aralığının orta değerini ifade etmektedir. A_i ; n yılına ait bulanıklaştırılmış veriyi, A_j ; $n+1$ yılına ait bulanıklaştırılmış veriyi, E_i ; n yılına ait asıl veriyi, E_{i-1} ; $n-1$ yılına ait asıl veriyi, E_{i-2} ; $n-2$ yılına ait asıl veriyi ve F_j ; $n+1$ yılına ait bulanık olmayan tahmin değerini ifade etmek üzere aşağıda verilen döngü ile bir sonraki döneme ait tahmin sonuçları elde edilir.

Döngü:

k yılında $k + 1$ yılına mantıksal bağıntı $A_i \rightarrow A_j$ ve $k = 3, \dots, K$ (zaman serisinin son değeri) için aşağıdaki döngü hesaplanır (Singh, 2007):

$$D_i = ||(E_i - E_{i-1})| - |(E_{i-1} - E_{i-2})||$$

$$X_i = E_i - D_i/2$$

$$XX_i = E_i + D_i/2$$

$$Y_i = E_i + D_i$$

$$YY_i = E_i - D_i$$

$$I = 1, \dots, 4 \text{ için,}$$

Eğer $X_i \geq L[*A_j]$ ve $X_i \leq U[*A_j]$ ise $P_1 = X_i$; $n = 1$ aksi halde $P_1 = 0$; $n = 0$ 'dır.

Sonraki I değeri için;

Eğer $XX_i \geq L[*A_j]$ ve $XX_i \leq U[*A_j]$ ise $P_2 = XX_i$; $m = 1$ aksi halde $P_2 = 0$; $m = 0$ 'dır.

Sonraki I değeri için;

Eğer $Y_i \geq L[*A_j]$ ve $Y_i \leq U[*A_j]$ ise $P_3 = Y_i$; $o = 1$ aksi halde $P_3 = 0$; $o = 0$ 'dır.

Sonraki I değeri için;

Eğer $YY_i \geq L[*A_j]$ ve $YY_i \leq U[*A_j]$ ise $P_4 = YY_i$; $p = 1$ aksi halde $P_4 = 0$; $p = 0$ 'dır.

$$B = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

Eğer $B = 0$ ise $F_j = M[*A_j]$ aksi halde $F_j = (B + M[*A_j])/(n + m + o + p + 1)$

Sonraki k için döngü tekrarlanır.

Singh (2007)'in geliştirdiği bu modelde gelecek döneme ait talebi belirlerken başvuru noktası olarak kabul edilen uzman görüşleri tek bir değer olarak kabul edilmiştir. Ancak tek bir uzman görüşü ile yapılan tahminin doğruluğu tartışılabilir. Farklı uzman görüşleri alınarak gelecek dönem tahminleri yapılması hedeflendiğinde ve uzmanlardan edinilen dilsel verilerin farklı olması durumunda evrensel kümenin alt aralıklarının bütün içerdiği üyelik değerleri hesaba katılmalıdır. 4. ve 5. adımların arasında farklı uzman görüşlerinden elde edilen tahminler için A_i dilsel verilerinin ve u_i aralıklarının geliştirilmesini içeren bir ara adım uygulanmalıdır. A_{ix} ($x = 1, 2, \dots, z$), z adet farklı uzmandan alınan talep tahminlerini ifade etmek üzere farklı uzmanlar tarafından farklı ifadelendirilen aralıkların alt ve üst sınırları Denklem (6.4) ile belirlenir (Uçal, 2011).

$$u_{ix} = \left[\begin{matrix} enk \\ x=1,2,\dots,Z \end{matrix} L[*A_{ix}]; \begin{matrix} enb \\ x=1,2,\dots,Z \end{matrix} U[*A_{ix}] \right] \quad (6.4)$$

Uygulama 6-1: Gıda sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın pazarda nispeten yeni olan bir ürünü için talep tahmini yapılacaktır. 24 aylık geçmiş satış verisi olan ürünün talep tahmini veri eksikliğinden ötürü klasik zaman serileri yaklaşımları ile yapılamamaktadır. Gıda sektöründe faaliyet gösteren firma Ocak 2009’da bir kremalı bisküvi çeşidi üretimine başlamıştır. Ürünün Ocak 2009- Aralık 2010 arasındaki satış değerleri Çizelge 6.1’de verilmektedir.

Ürünün 2011 yılı için talep tahmini yapılması amaçlanmaktadır. Uzmanlar ile yapılan görüşmelerde ürüne ait talebin özellikle tatil dönemlerinde, ramazan ayı içerisinde ve dini bayramlarının öncesi ve sonrasında azaldığı vurgulanmıştır. Firma yetkilileri ürüne ait üretim kapasitesinin talebe orantılı olarak arttırılabileceğini, kapasite kısıdının olmadığını belirtmişlerdir.

Çizelge 6.1 : Kremalı bisküvi 2009-2010 satış verileri.

	Satış Miktarı (2009)	Satış miktarı (2010)
Ocak	82671	95413
Şubat	56409	88163
Mart	82360	71347
Nisan	63833	65213
Mayıs	81722	75345
Haziran	38744	40796
Temmuz	47527	36147
Ağustos	45842	30622
Eylül	28411	44591
Ekim	78175	79533
Kasım	67660	50929
Aralık	85000	90469

Uzmanlardan, üretim tahminlerini Çizelge 6.2’de gösterilen dilsel seçenekleri kullanarak gerçekleştirmeleri istenmiştir. Bu veriler doğrultusunda bulanık zaman serileri ile talep tahmini yöntemi aşamaları aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

Çizelge 6.2 : Tahminde kullanılan dilsel ifadeler.

Sembol	Dilsel İfade
A_1	Çok Düşük talep
A_2	Düşük talep
A_3	Ortalama altı talep
A_4	Ortalama talep
A_5	Ortalama üstü talep
A_6	Yüksek talep
A_7	Çok yüksek talep

1. Adım: Evrensel kümenin tanımlanması: Çizelge 6.1’de verilen satış verileri 28411 ile 95413 arasında değerler almaktadır. Evrensel küme alt sınırı 27000, üst sınırı 97000 olarak belirlenmiştir.

$$U = [27000; 97000]$$

2. Adım: Evrensel kümenin eşit büyüklükteki aralıklara ayrıştırılması: Evrensel küme 7 aralığa ayrıştırılmıştır:

$$u_1 = [27000; 37000]$$

$$u_2 = [37000; 47000]$$

$$u_3 = [47000; 57000]$$

$$u_4 = [57000; 67000]$$

$$u_5 = [67000; 77000]$$

$$u_6 = [77000; 87000]$$

$$u_7 = [87000; 97000]$$

3. Adım: A_i bulanık kümelerinin belirlenmesi: Aşama 2’de belirlenen aralıklara uygun olarak 7 farklı ifade kullanılarak uzmanların görüşlerinin alınmasına karar verilmiştir.

Dilsel ifadelere ait üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$A_1 = \left\{ \frac{1}{u_1} + \frac{0,5}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0}{u_7} \right\}$$

$$A_2 = \left\{ \frac{0,5}{u_1} + \frac{1}{u_2} + \frac{0,5}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0}{u_7} \right\}$$

$$A_3 = \left\{ \frac{0}{u_1} + \frac{0,5}{u_2} + \frac{1}{u_3} + \frac{0,5}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0}{u_7} \right\}$$

$$A_4 = \left\{ \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0,5}{u_3} + \frac{1}{u_4} + \frac{0,5}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0}{u_7} \right\}$$

$$A_5 = \left\{ \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0,5}{u_4} + \frac{1}{u_5} + \frac{0,5}{u_6} + \frac{0}{u_7} \right\}$$

$$A_6 = \left\{ \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0,5}{u_5} + \frac{1}{u_6} + \frac{0,5}{u_7} \right\}$$

$$A_7 = \left\{ \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0,5}{u_6} + \frac{1}{u_7} \right\}$$

4. Adım: Geçmiş verinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantıksal bağıntıların belirlenmesi: Geçmiş dönemlere ait satış verileri bulanıklaştırılarak Çizelge 6.3'te verilmiştir.

5. Adım: Bir sonraki döneme ait tahminin gerçekleştirilmesi: Bu aşamada ilk olarak üretim sorumlusu, üretim müdürü ve satış-pazarlama sorumlusundan oluşan uzmanlardan gelecek 12 ay için talep tahminlerini Çizelge 6.2'deki ifadeleri kullanarak gerçekleştirmeleri istenmiştir. Uzmanlar haziran ve eylül ayları dışındaki aylar için aynı ifadeleri kullanmışlardır. Haziran ve eylül aylarında kullanılan farklı ifadeleri hesaplamalara katarken tahmin aralıklarının alt sınırlarının en küçüğü ve üst sınırlarının en büyüğü ile yeni bir aralık oluşturulmuş ve hesaplamalar sonucunda Çizelge 6.4'te elde edilen tahminlere ulaşılmıştır.

Haziran ayı için tahmin aralığı:

$$\begin{aligned} u_{haziran} &= [enk(37000; 47000); enb(47000; 57000)] \\ &= [37000; 57000] \end{aligned}$$

Eylül ayı için tahmin aralığı:

$$u_{eylül} = [enk(27000; 47000); enb(37000; 57000)] = [27000; 57000]$$

Çizelge 6.3 : Geçmiş verinin bulanıklaştırılması.

Tarih	Dönem numarası	Gerçekleşen değer	Bulanıklaştırılmış değer
Ocak 2009	1	82671	u_6
Şubat 2009	2	56409	u_3
Mart 2009	3	82360	u_6
Nisan 2009	4	63833	u_4
Mayıs 2009	5	81722	u_6
Haziran 2009	6	38744	u_2
Temmuz2009	7	47527	u_3
Ağustos 2009	8	45842	u_2
Eylül 2009	9	28411	u_1
Ekim 2009	10	78175	u_6
Kasım 2009	11	67660	u_5
Aralık 2009	12	85000	u_6
Ocak 2010	13	95413	u_7
Şubat 2010	14	88163	u_7
Mart 2010	15	71347	u_5
Nisan 2010	16	65213	u_4
Mayıs 2010	17	75345	u_5
Haziran 2010	18	40796	u_2
Temmuz2010	19	36147	u_1
Ağustos 2010	20	30622	u_1
Eylül 2010	21	44591	u_2
Ekim 2010	22	79533	u_6
Kasım 2010	23	50929	u_3
Aralık 2010	24	90469	u_7

Çizelge 6.4 : Talep tahminleri.

Dönem	Uzman tahminleri	Talep Tahminleri
Ocak 2011	u_6	82000
Şubat 2011	u_5	72000
Mart 2011	u_6	82000
Nisan 2011	u_4	62000
Mayıs 2011	u_7	92000
Haziran 2011	u_2, u_3	52000
Temmuz 2011	u_3	52000
Ağustos 2011	u_2	43667
Eylül 2011	u_1, u_3	37000
Ekim 2011	u_5	72000
Kasım 2011	u_6	82000
Aralık 2011	u_6	84083

Günümüzde talep tahminleri şirketler için kısa ve uzun vadeli önemli kararların verilmesinde en önemli etkenlerden biri haline gelmiştir. Birçok bilinmeyen parametreyi içeren talep tahminlerinin gerçeği en iyi şekilde yansıtması için belirsizliğin etkilerini en aza indiren bulanık mantık araçlarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Bulanık zaman serileri; bulanık verinin çözümlemesinde, dilsel veriler ile bulanık mantığın zaman serilerine uygulanma sürecini birleştirmektedir.

Bu bölümde bir bisküvi çeşidi için talep tahmini yapılmıştır. Tahmin yapılırken farklı uzmanlardan görüş alınmış, görüş ayrılıkları, birlikte incelenerek gelecek durumu ifade edebilecek bütün verilerden faydalanılmıştır. Uzman görüşleri alınırken dönemsel talep değişikliklerine yol açan özel durumlar da göz önünde bulundurularak değerlendirilme yapılması sağlanmıştır.

6.1.1.3 Bulanık zaman serileri ile mevsimsel talep tahmini modeli

Zaman serileri ile mevsimsel talep tahmini yapılırken genellikle iki farklı yaklaşım benimsenmektedir. İlk yaklaşım mevsimsel zaman serilerinin gelecekteki değerini doğrudan tahmin edilmesidir. İkinci yaklaşım zaman serisi verilerinden mevsimselliği kaldırdıktan sonra sıradan tahmin yöntemlerinin uygulanmasıdır (Liu ve Wei, 2010). Mevsimselliği ölçmede en sık kullanılan yöntemlerden biri, eğilimi, döngüsel hareketleri ve düzensiz elemanları ortadan kaldıran hareketli ortalamalara

oranlama yöntemidir. Önerilen yöntemde hareketli ortalamalara oranlama yöntemi mevsimsel değişimleri ortadan kaldırmak için kullanılmakta, daha sonra Singh (2007)'in yöntemi temel alınarak tahmin verileri hesaplanmaktadır. Birden fazla uzman görüşünün dikkate alınabilmesi için ek bir adım tanımlanmıştır.

Önerilen yöntemin adımları aşağıdaki gibidir (Uçal Sarı ve Öztayşi, 2012):

1. Adım: Geçmiş verinin mevsimsellikten arındırılması: Mevsimsel değişimleri ortadan kaldırmak için hareketli ortalamalara oranlama yönteminin kullanılması. Bu yöntem mevsimsel indisleri 6 adımda belirler (Liu, 2009):

1. Mevsimsel zaman aralığı k iken k dönem için hareketli ortalamalar hesaplanır.
2. Mevsimsel zaman aralığı k tek sayı ise 3. Adım'a geçilir. Aksi halde her ardışık iki hareketli ortalamasının ortalama hareketli ortalaması hesaplanır.
3. Her döneme ait gerçek değer ilgili hareketli ortalamaya bölünür.
4. Her dönem için oranların medyanı hesaplanır.
5. k medyanın ortalaması 1'e eşit olacak şekilde her dönemin medyanı denkleştirilerek mevsimsel indis hesaplanır.
6. Gerçek değerlerin mevsimsel indise bölünmesiyle mevsimsellikten arındırılmış değer elde edilir.

2. Adım: Evrensel kümenin tanımlanması: Bu aşamada geçmiş zamana ait zaman serisi verilerinin aralığı temel alınarak tüm verileri içerecek şekilde D_1 ve D_2 uygun pozitif sayılar olmak üzere $U = [D_{enk} - D_1; D_{enb} - D_2]$ kuralı ile evrensel kümenin alt ve üst sınırları belirlenir (Singh, 2007).

3. Adım: Evrensel kümenin eşit büyüklükteki $u_1, u_2, \dots, u_m$ aralıklarına ayrıştırılması: Aralıkların sayısı dilsel verilerin sayıları $(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_m)$ ile uyumlu olacak şekilde belirlenir (Singh, 2007).

4. Adım: A_i bulanık kümelerinin belirlenmesi: 2. Adım'da belirlenen aralıklara uygun olarak, üyelik fonksiyonu özelliklerinin her bir aralığa uygulanmasıyla her bir bulanık küme belirlenir (Singh, 2007).

5. Adım: Geçmiş verinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantıksal bağıntıların belirlenmesi: Eğer $\tilde{A}_i$; n yılına ait bulanık üretim miktarı ve $\tilde{A}_j$; $n + 1$ yılına ait

bulanık üretim miktarı ise, bulanık mantıksal bağıntı $\tilde{A}_i \rightarrow \tilde{A}_j$ olarak kurulur (Singh, 2007).

6. Adım: $n + 1$ üretim yılı için uzmanlara ait dilsel beklentilerin bulanıklaştırılması: Birden fazla uzman görüşünün olması durumunda A_{ix} ($x = 1, 2, \dots, z$); z farklı uzmana ait dilsel talep beklentilerini ifade etmek üzere Denklem (6.4) kullanılarak aralık belirlenir.

7. Adım: Bir sonraki döneme ait tahminin gerçekleştirilmesi: $[^*A_j]$; A_j 'nin en yüksek üyelik değerini aldığı u_j aralığını, $L[^*A_j]$; u_j aralığının alt sınırını, $U[^*A_j]$; u_j aralığının üst sınırını, $l[^*A_j]$; A_j 'nin en yüksek üyelik değerini aldığı u_j aralığının uzunluğunu, $M[^*A_j]$; A_j 'nin en yüksek üyelik değerini aldığı u_j aralığının orta değerini ifade etmektedir. A_i ; n yılına ait bulanıklaştırılmış veri, A_j ; $n + 1$ yılına ait bulanıklaştırılmış veri, E_i ; n yılına ait asıl veri, E_{i-1} ; $n - 1$ yılına ait asıl veri, E_{i-2} ; $n - 2$ yılına ait asıl veri ve F_j ; $n + 1$ yılına ait bulanık olmayan tahmin değerini ifade etmek üzere aşağıda verilen döngü ile bir sonraki döneme ait tahmin sonuçları elde edilir (Singh, 2007).

Döngü:

k yılında $k + 1$ yılına mantıksal bağıntı $A_i \rightarrow A_j$ ve $k = 3, \dots, K$ (zaman serisinin son değeri) için aşağıdaki döngü hesaplanır:

$$D_i = ||(E_i - E_{i-1})| - |(E_{i-1} - E_{i-2})||$$

$$X_i = E_i - D_i/2$$

$$XX_i = E_i + D_i/2$$

$$Y_i = E_i + D_i$$

$$YY_i = E_i - D_i$$

$$I = 1, \dots, 4 \text{ için,}$$

Eğer $X_i \geq L[^*A_j]$ ve $X_i \leq U[^*A_j]$ ise $P_1 = X_i$; $n = 1$ aksi halde $P_1 = 0$; $n = 0$ 'dır.

Sonraki I değeri için;

Eğer $XX_i \geq L[*A_j]$ ve $XX_i \leq U[*A_j]$ ise $P_2 = XX_i$; $m = 1$ aksi halde $P_2 = 0$; $m = 0$ 'dır.

Sonraki I değeri için;

Eğer $Y_i \geq L[*A_j]$ ve $Y_i \leq U[*A_j]$ ise $P_3 = Y_i$; $o = 1$ aksi halde $P_3 = 0$; $o = 0$ 'dır.

Sonraki I değeri için;

Eğer $YY_i \geq L[*A_j]$ ve $YY_i \leq U[*A_j]$ ise $P_4 = YY_i$; $p = 1$ aksi halde $P_4 = 0$; $p = 0$ 'dır.

$$B = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

Eğer $B = 0$ ise $F_j = M[*A_j]$ aksi halde $F_j = (B + M[*A_j]) / (n + m + o + p + 1)$

Sonraki k için döngü tekrarlanır.

8. Adım: F_j değerlerinin ilgili mevsimsel indis ile çarpılması: Bu aşamada mevsimselliği içeren bir sonraki döneme ait talep tahmini belirlenir.

Uygulama 6-2: Hatay ilindeki 10 markete ait iki yıllık kilovat cinsinden elektrik tüketim miktarları Çizelge 6.5'te verilmektedir. Bir elektrik dağıtım firması marketleri önceliklendirerek en iyi dağıtım stratejini belirleyebilmek için marketlerin gelecek döneme ait elektrik ihtiyaçlarını tahmin etmek istemektedir.

1.Adım: Geçmiş verinin mevsimsellikten arındırılması: Hareketli ortalamalara oranlama yöntemi ile geçmiş veriler mevsimsel değişimlerden arındırılmıştır. Hareketli ortalama dönemi 12 ay olarak belirlenmiştir. Mevsimsel zaman dönemi çift sayı olduğundan iki ardışık hareketli ortalamanın ortalaması hesaplanmıştır. Her döneme ait gerçekleşmiş değerler ilgili hareketli ortalama bölünmüştür. Daha sonra her dönem için oranların orta noktaları hesaplanmıştır. Son olarak mevsimsel indisler hesaplanmış ve gerçekleşen değerlerin ilgili mevsimsel indislere bölümüyle Çizelge 6.6'da verilen Hatay ilindeki marketlere ait mevsimsellikten arındırılmış enerji tüketimleri belirlenmiştir.

2. Adım: Evrensel kümenin tanımlanması: Her bir market için evrensel küme $U_1 = [4700; 5960]$, $U_2 = [3720; 6625]$, $U_3 = [5440; 8065]$, $U_4 = [4610; 6465]$, $U_5 = [5000; 7261]$, $U_6 = [4275; 4905]$, $U_7 = [5228; 8028]$, $U_8 = [4632; 5577]$, $U_9 = [6048; 7413]$ ve $U_{10} = [3995; 5045]$ olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 6.5 : Marketlere ait geçmiş elektrik tüketim miktarları.

Dönem	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
01.2010	4018	5149	6404	4535	4426	3943	6031	5190	5713	4894
02.2010	4712	4271	5613	4136	3848	3301	7580	5483	4992	3756
03. 2010	4202	4393	5921	4216	4239	3847	6813	4795	5171	3603
04. 2010	4370	4173	6001	4180	5002	3480	5262	4362	5277	3631
05. 2010	5921	4592	5277	5693	5629	4267	5609	5339	6489	4811
06. 2010	6747	6263	6651	6999	6592	5342	7311	5772	7590	5253
07. 2010	8096	6079	7854	7646	7531	5840	8535	6171	8760	6184
08. 2010	7731	7024	7841	7012	7534	6238	7651	6325	9313	5894
09. 2010	7328	6449	4972	6761	7164	5780	6848	6136	8788	5645
10. 2010	4937	5273	7187	4672	6016	4872	6090	4508	7179	3912
11. 2010	4208	3929	3851	4474	4270	3457	6072	3853	5553	3390
12. 2010	4199	5257	4228	4050	4691	3828	7823	4351	5499	3909
01.2011	3979	4491	5405	4536	5193	4269	5426	4853	6322	4986
02.2011	4662	4616	4741	4122	4519	3580	6800	5131	5262	3775
03.2011	4129	4753	4889	4184	4954	4152	6048	4496	5457	3605
04.2011	4290	4510	4951	4145	5838	3748	4528	4013	5535	3624
05.2011	5323	6831	5900	4437	6162	4410	6646	5024	6062	4766
06.2011	5944	6251	6777	5332	7032	5082	6819	5842	6619	4981
07.2011	8319	7607	8111	7067	8939	6296	6662	6115	8221	6827
08.2011	7880	7266	8602	7731	9788	6167	9079	6868	8693	6496
09.2011	6412	5653	7158	6051	9006	5631	8324	5642	7834	4952
10.2011	4297	4625	9986	4213	7568	4776	7420	4143	6412	3450
11.2011	3713	3438	5574	4084	5359	3352	7392	3547	4938	2983
12.2011	3659	4615	6082	3669	5867	3734	9501	4006	4909	3461

Çizelge 6.6 : Mevsimsellikten arındırılmış veriler.

Dönem	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
01.2010	5427	6413	6564	4998	5001	4277	7175	5383	6066	4475
02.0210	5448	5245	6608	5021	5124	4285	7175	5401	6322	4588
03.2010	5453	5217	6903	5043	5293	4297	7386	5392	6252	4605
04.2010	5393	5167	7153	4999	5419	4297	7754	5457	6222	4568
05.2010	5836	3721	5441	6315	5876	4469	5723	5306	6924	4566
06.2010	5933	5526	6038	6440	6072	4851	7329	4920	7387	4752
07.2010	5500	5281	5748	5268	5517	4537	6700	5153	6759	4554
08.2010	5496	5267	5673	5268	5576	4562	6643	5125	6796	4558
09.2010	5491	5297	5596	5266	5633	4587	6580	5098	6819	4559
10.2010	5485	5327	5512	5263	5696	4610	6518	5071	6842	4559
11.2010	5457	5435	5495	5210	5752	4628	6530	5043	6835	4557
12.2010	5399	5529	5525	5091	5792	4623	6553	5033	6776	4544
01.2011	5375	5593	5540	4999	5868	4631	6455	5034	6713	4559
02.2011	5390	5668	5581	5004	6018	4647	6437	5054	6664	4611
03.2011	5358	5645	5700	5005	6186	4638	6557	5056	6598	4607
04.2011	5294	5584	5901	4957	6325	4628	6672	5020	6526	4559
05.2011	5247	5536	6083	4922	6433	4619	6781	4993	6468	4523
06.2011	5227	5515	6153	4906	6477	4615	6836	4980	6442	4506
07.2011	5651	6608	5936	4869	6548	4891	5230	5107	6343	5027
08.2011	5602	5449	6223	5808	7244	4510	7883	5565	6343	5024
09.2011	4805	4643	8056	4713	7081	4468	7998	4687	6079	3999
10.2011	4774	4672	7659	4746	7165	4520	7941	4660	6111	4021
11.2011	4815	4756	7953	4756	7219	4487	7950	4643	6078	4009
12.2011	4704	4854	7948	4612	7244	4509	7958	4634	6049	4023

3. Adım: Evrensel kümenin eşit büyüklükteki aralıklara ayrıştırılması: Evrensel kümeler 7 eşit aralığa ayrıştırılmıştır. Örnek olarak ilk marketin aralıkları $u_1 = [4700; 4880]$, $u_2 = [4880; 5060]$, $u_3 = [5060; 5240]$, $u_4 = [5240; 5420]$, $u_5 = [5420; 5600]$, $u_6 = [5600; 5780]$, $u_7 = [5780; 5960]$ olarak belirlenmiştir.

4. Adım: $\tilde{A}_i$ bulanık kümelerinin belirlenmesi: Kullanılan dilsel değişkenler Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7 : Dilsel değişkenler.

Sembol	Dilsel değişken
$\tilde{A}_1$	Çok düşük
$\tilde{A}_2$	Düşük
$\tilde{A}_3$	Ortalama Altı
$\tilde{A}_4$	Ortalama
$\tilde{A}_5$	Ortalama üstü
$\tilde{A}_6$	Yüksek
$\tilde{A}_7$	Çok yüksek

5. Adım: Geçmiş verinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantıksal bağıntıların belirlenmesi: Örnek olarak ilk markete ait veriler Çizelge 6.8’de verilmiştir.

6. Adım: $n + 1$ üretim yılı için uzmanlara ait dilsel beklentilerin bulanıklaştırılması: 2012 yılı Ocak ayı için 5 farklı uzmandan görüş alınmıştır. Örnek olarak ilk marketin 2012 yılı Ocak ayı enerji tüketim beklentilerinde ortalama ve ortalama altı dilsel ifadeleri kullanılmıştır. Denklem (6.4) kullanılarak 2012 yılı Ocak ayı için uzman görüşünü ifade eden bulanık aralık hesaplanmıştır:

$$u_{i5} = \left[\underset{x=1,2,\dots,5}{enk} (5060; 5240); \underset{x=1,2,\dots,5}{enb} 5240; 5420 \right] = [5060; 5420]$$

7. Adım: Döngü uygulanarak Ocak 2012 için bulunan değerler Çizelge 6.9’da verilmiştir:

8. Adım: İlgili mevsimsel indislerle tahmin değerlerinin çarpılması ile Ocak 2012 için marketlere ait tahmini enerji tüketim değerleri hesaplanmış ve Çizelge 6.10’da verilmiştir:

Çizelge 6.8 : Market 1'e ait bulanıklaştırılmış veriler.

Dönem	Mevsimsellikten arındırılmış veriler	Bulanıklaştırılmış Değer
01.2009	5427	u_5
02.2009	5448	u_5
03.2009	5453	u_5
04.2009	5393	u_4
05.2009	5836	u_7
06.2009	5933	u_7
07.2009	5500	u_5
08.2009	5496	u_5
09.2009	5491	u_5
10.2009	5485	u_5
11.2009	5457	u_5
12.2009	5399	u_4
01.2010	5375	u_4
02.2010	5390	u_4
03.2010	5358	u_4
04.2010	5294	u_4
05.2010	5247	u_4
06.2010	5227	u_3
07.2010	5651	u_6
08.2010	5602	u_6
09.2010	4805	u_1
10.2010	4774	u_1
11.2010	4815	u_1
12.2010	4704	u_1

Çizelge 6.9 : Mevsimsellik içermeyen enerji tüketim tahminleri.

Dönem	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
01.2012	5240	4876	6565	5405	5969	4516	6428	5037	6633	4445

Çizelge 6.10 : Marketlere ait enerji tüketim tahminleri.

Dönem	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
01.2012	4075	3915	6404	4904	5282	4163	5403	4856	6246	4861

Yapılan tahminler sonucunda tahmini enerji tüketimi en yüksek olan 4 numaralı markete ve tüketim sıralamasında onu izleyen 9 numaralı markete öncelik verilmesi gerektiği görülmüştür.

6.1.2 Bulanık regresyon esaslı yaklaşım

Literatür araştırmasında bulanık faiz oranı tahmini yapan tek bir çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bu bölümde geçmiş yıllara ait faiz oranı verileri ve enflasyon oranı tahmin verilerine bir sonraki döneme ait bulanık faiz oranını belirlemek için bulanık regresyon analizi uygulanacaktır.

Bulanık regresyon eksik veri olması durumunda talep tahmininde kullanılan yöntemlerden biridir. Bulanık regresyon kullanarak değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyen birçok çalışma bulunmaktadır. En sık kullanılan bulanık regresyon yöntemlerinden biri Tanaka (1987) tarafından önerilen simetrik bulanık katsayılar ile bulanık olmayan girdiler için geliştirilmiş olan bulanık regresyon modelidir. Ishibuchi ve Nii (2001) bu modeli asimetrik bulanık katsayılar kullanarak genişletmiş ve bulanık girdiler için bir doğrusal programlama modeli önermişlerdir.

Bulanık katsayıları $\tilde{A}_i = (a_i^L; a_i^M; a_i^U)$ üçgensel bulanık sayılar olan bulanık doğrusal model Denklem (6.5)'te verilmektedir (Ishibuchi ve Nii, 2001):

$$\tilde{Y} = \tilde{F}(x) = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \dots + \tilde{A}_n x_n \quad (6.5)$$

Doğrusal bulanık modelin merkezi, sağ ve sol taraf değerleri, $f^M(x)$ modelin merkezini, $f^L(x)$ modelin alt sınırını ve $f^U(x)$ modelin üst sınırını ifade etmek üzere Denklem (6.6)-(6.8) ile belirlenmektedir (Ishibuchi ve Nii, 2001):

$$f^L(x) = a_0^L + \sum_{\substack{i=1 \\ x_i \geq 0}}^n a_i^L \cdot x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ x_i < 0}}^n a_i^U \cdot x_i \quad (6.6)$$

$$f^M(x) = a_0^M + \sum_{i=1}^n a_i^M \cdot x_i \quad (6.7)$$

$$f^U(x) = a_0^U + \sum_{\substack{i=1 \\ x_i \geq 0}}^n a_i^U \cdot x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ x_i < 0}}^n a_i^L \cdot x_i \quad (6.8)$$

$F(x) = (f^L(x); f^M(x); f^U(x))$ değerinin α -kesimi Denklem (6.9)'da verilen aralık olarak hesaplanabilir.

$$[F(x)]^\alpha = [\alpha f^M(x) + (1 - \alpha)f^L(x); \alpha f^M(x) - (1 - \alpha)f^U(x)] \quad (6.9)$$

Ishibuchi ve Nii (2001) doğrusal programlama problemlerinde üçgen bulanık katsayıları belirlemek için bir yöntem önermiştir. Yöntem 2 adımdan oluşmaktadır:

Adım 1. En küçük kareler yöntemi ile $F(x)$ doğrusal bulanık regresyon modelinin merkezinin belirlenmesi. Bu aşamada, her bir üçgen bulanık katsayının merkez değerleri (a_i^M) belirlenir.

Adım 2. $F(x)$ doğrusal bulanık regresyon modelinin alt limitinin (a_i^L) ve üst limitinin (a_i^U) aşağıdaki doğrusal programlama probleminin çözülmesi ile belirlenmesi.

$$\text{En küçük} \quad z = \sum_{p=1}^m \{f^U(x_p) - f^L(x_p)\} \quad (6.10)$$

$$\text{Öyleki} \quad \alpha f^M(x_p) + (1 - \alpha) \cdot f^L(x_p) \leq y_p \quad (6.11)$$

$$y_p \leq \alpha f^M(x_p) + (1 - \alpha) \cdot f^U(x_p), \quad p = 1, 2, \dots, m \quad (6.12)$$

$$a_i^L \leq a_i^M \leq a_i^U, \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (6.13)$$

Uygulama 6-3: Paranın zaman değeri, farklı yatırım alternatiflerini karşılaştırmak için proje değerlendirmede kullanılan önemli araçlardan biridir. Paranın zaman değerini ifade etmek için genellikle faiz oranları kullanılmaktadır. Bu nedenle bu bölümde faiz oranı için bir bulanık doğrusal model oluşturmak amaçlanmıştır.

Faiz oranı bir önceki yıla ait faiz oranı ile ilişkili olduğundan bir önceki yıla ait faiz oranı bulanık doğrusal modelin ilk değişkeni olarak belirlenmiştir. Faiz oranı ile enflasyonun ilişkili olduğu bilinmekte, merkez bankaları tarafından enflasyonu kontrol etmek için faiz oranları kullanılmaktadır. Bu nedenle enflasyon oranı, bulanık doğrusal modelin ikinci değişkeni olarak belirlenmiştir.

Türkiye'de gerçekleşmiş olan faiz oranı ve enflasyon oranına ait geçmiş veriler Çizelge 6.11'de veilmektedir (Url-1):

Çizelge 6.11 : Geçmiş veriler.

Yıl	Yıllık ortalama faiz oranı	Enflasyon oranı
2011	14,19	6,45
2010	14,99	8,58
2009	17,2	6,28
2008	22,92	10,43
2007	22,26	8,78
2006	21,47	9,59
2005	19,88	8,19
2004	23,62	10,66

$\tilde{t}$ ile ifade edilen faiz oranı, x_1 bir önceki yıla ait faiz oranını ve x_2 enflasyon oranını göstermek üzere Denklem (6.14) ile formüle edilmiştir.

$$\tilde{t} = \tilde{F}(x) = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \tilde{A}_2 x_2 \quad (6.14)$$

Adım 1. En küçük kareler yöntemi ile $F(x)$ doğrusal bulanık regresyon modelinin merkezinin belirlenmesi. Üçgen bulanık katsayıların merkez değerleri $a_0^M = -0,073$, $a_1^M = 0,446$ ve $a_2^M = 1,199$ olarak hesaplanmıştır.

$$f^M(x) = 0,087 + 1,345x_1 + 1,430x_2$$

Adım 2. α ; 0,5 olarak belirlenmiş ve $F(x)$ 'nin a_i^L alt limitleri ve a_i^U üst limitleri doğrusal programlama probleminin Excel-Çözücü kullanılarak çözülmesi ile aşağıdaki değerler olarak belirlenmiştir.

$$a_0^L = a_0^U = -0,073, a_1^L = 0,446, a_1^U = 0,653, a_2^L = 0,523 \text{ ve } a_2^U = 1,199.$$

$$\tilde{Y} = \tilde{F}(x) = (-0,073; -0,073; -0,073) + \\ (0,446; 0,446; 0,653)x_1 + (0,523; 1,199; 1,199)x_2$$

Çizelge 6.12 : Tahmin edilen faiz oranları.

Tahmin edilen faiz oranları			
Yıl	Y_l	Y_m	Y_u
2011	9,99	14,35	17,46
2010	12,09	17,89	21,45
2009	13,44	17,68	22,43
2008	15,32	22,37	26,98
2007	14,10	20,04	24,48
2006	13,81	20,30	24,42
2005	14,75	20,29	25,18
2004	9,99	14,35	17,46

Çizelge 6.12’de verilen bulanık faiz oranı tahminleri, üç kriter sıralama yöntemi kullanılarak netleştirilmiştir. Hata ve hata oranları hesaplanmış Çizelge 6.13’te verilmiştir. Bulanık regresyon ile elde edilen eşitlik ile yapılan hesaplamalarda yüzde 6’lık bir sapma ile faiz oranı hesaplanmıştır. Elde edilen regresyon denklemi uygulandığında, 7,5% enflasyon beklentisi ile 2012 yılı için faiz oranı (10,18; 14,52; 18,19)% olarak belirlenmektedir.

Çizelge 6.13 : Hata hesaplamaları.

Yıl	Gerçekleşen faiz oranı	Durulaştırılmış faiz oranı tahmini	Hata	Hata oranı
2011	14,19	14,04	0,153	0,011
2010	14,99	17,33	2,341	0,156
2009	17,2	17,81	0,610	0,035
2008	22,92	21,76	1,163	0,051
2007	22,26	19,66	2,596	0,116
2006	21,47	19,71	1,763	0,082
2005	19,88	20,13	0,246	0,012
2004	23,62	14,04	0,153	0,011
			Ortalama	0,066

6.2 Muhasebe Esaslı Yaklaşımlar

Yatırım analizlerinde sıkça kullanılan diğer bir yaklaşım da muhasebe esaslı yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlarda yatırımın gelir ve giderlerinden daha çok karını esas alan yöntemler yer alır. Pratikte bir satış gerçekleştiğinde satışa ait nakit akışları belirli bir süre zarfında gerçekleşebilmektedir. Bu bölümde özellikle bu gibi durumlarda alacak/borç değerlerinin hesaba katılmasında farklılık gösteren muhasebe esaslı yaklaşımlardan en sık kullanılan kurtarma geri dönüş oranı ve basit getiri oranı yöntemleri bulanık veriler için genişletilmiştir.

Her bir yatırım analizi yöntemi, projeleri ve projelerin şirket durumuna etkisini farklı açılardan değerlendirir. Şirketler için hem nakit akışları hem de karlılık önemli olduğunda, nakit akışı yaklaşımları (şimdiki değer analizi, geri dönüş analizi... vs) ve muhasebe yaklaşımları (*AARR*) bir arada değerlendirilmelidir. Kısa dönemde yerini korumak isteyen firmalar, geri dönüş oranı analizine öncelik vermekte ve kısa dönemde yatırımlarının geri dönmesini istemektedir. Nakit getirileri bekleyebilecek ve yatırımcılara yönelik finansal durumlarını gösteren yüksek karlılığa sahip olmak isteyen stabil durumdaki şirketler, basit getiri oranı yöntemini tercih edebilirler.

6.2.1 Bulanık kurtarma geri dönüş süresi yöntemi

Kurtarma geri dönüş süresi yöntemi kümülatif nakit akışlarının, o anki ekipman hurda değerinin ve çalışma sermayesi kurtarımının toplamının net ilk yatırıma eşit olduğu zamanı ölçer (Horngren ve diğ, 1994). Tanımda geçen çalışma sermayesi mevcut aktifler ile mevcut pasifler arasındaki farkı belirtmektedir. Mevcut aktifler nakit, devlet tahvilleri ve diğer menkul kıymetleri, alacakları, envanterleri ve önceden ödenmiş harcamaları içermektedir. Mevcut pasifler bir yıl içerisinde ödenmesi gereken tüm borçları içermektedir (Meigs ve Meigs, 1987).

Kurtarma geri dönüş süresi yöntemi projeden vazgeçilmesi durumunun etkilerini incelemektedir. Eğer diğer parametreler eşitse kurtarma geri dönüş zamanı daha düşük olan projeler tercih edilir (Horngren ve diğ, 1994). Denklem (6.15)'i sağlayan en düşük z değeri kurtarma geri dönüş süresini verir.

$$I \leq H_i + \zeta S_i + \sum_{i=1}^z F_i \quad (6.15)$$

Eşitlikte yer alan I ; ilk yatırım maliyetini, H_i ; ekipmanın i yılındaki hurda değerini, ζS_i ; i yılındaki çalışma sermayesi değerini ve F_i ; i yılındaki nakit akışlarını ifade etmektedir.

Bulanıklık durumunda kurtarma geri dönüş zamanı Denklem (6.16)'da türetilmiştir. Kurtarma geri dönüş süresi, Denklem (6.16)'yı sağlayan en küçük z değerine eşittir (Uçal Sarı ve Kuchta, 2012a).

$$(I_l; I_m; I_r) \preceq (H_{z_l} + \zeta S_{z_l} + \sum_{i=1}^z F_{i_l}; H_{z_m} + \zeta S_{z_m} + \sum_{i=1}^z F_{i_m}; H_{z_r} + \zeta S_{z_r} + \sum_{i=1}^z F_{i_r}) \quad (6.16)$$

Denklem (6.16)'da $\tilde{I} = (I_l; I_m; I_r)$; ilk yatırım maliyetini, $H_z = (H_{z_l}; H_{z_m}; H_{z_r})$; z anında ekipman hurda değerini, $\zeta S_z = (\zeta S_{z_l}; \zeta S_{z_m}; \zeta S_{z_r})$; z anında çalışma sermayesini ve $F_i = (F_{i_l}; F_{i_m}; F_{i_r})$; i anında gerçekleşen nakit akışını ifade etmektedir.

$\mathcal{M}(x)$ sıralama ölçütü; karar vericinin seçimine göre Denklem (3.111)-(3.114) arasında verilen dört indisten biri olarak tanımlansın. γ ; karar verici tarafından belirlenen eşik değeri olmak üzere Denklem (6.17)'yi sağlayan en küçük z değeri yatırımın kurtarma geri dönüş süresini verir (Uçal Sarı ve Kuchta, 2012a):

$$\mathcal{M} \left(\left(H_{z_l} + \zeta S_{z_l} + \sum_{i=1}^z F_{i_l}; H_{z_m} + \zeta S_{z_m} + \sum_{i=1}^z F_{i_m}; H_{z_r} + \zeta S_{z_r} + \sum_{i=1}^z F_{i_r} \right) \geq \tilde{I} \right) \geq \gamma \quad (6.17)$$

Örnek 6-1: Bir imalatçı yeni bir ürün üretmek için makine yatırımı yapmak istemektedir. Yeni makine $\tilde{I} = (100000; 130000; 150000)$ ilk yatırım maliyetine, $\tilde{C} = (10000; 15000; 20000)$ \$ yıllık çalışma maliyetine ve $\tilde{B} = (30000; 40000; 50000)$ \$ yıllık getiriye sahiptir. Hurda değeri yıllara göre değişmektedir ve $\tilde{H}_z = (5000(10 - z); 6000(10 - z); 7000(10 - z))$ \$. Formül ile ifade edilmektedir. Çalışma sermayesi her yıl için sabittir ve değeri $\tilde{\zeta S}_z = (10000; 18000; 23000)$ \$ dir. Makinenin faydalı ömrü 10 yıldır.

Yatırımın net yıllık nakit akışı aşağıda hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned}\tilde{F}_i &= \tilde{B} - \tilde{C} = (30000; 40000; 50000) - (10000; 15000; 20000) \\ &= (10000; 25000; 40000)\$ \end{aligned}$$

Veriler Denklem (6.16)'ya uygulandığında aşağıdaki sonuç elde edilir:

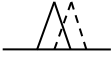
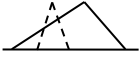
$$\begin{aligned}(100000; 130000; 150000) &\cong (5000(10 - z) + 10000 + 10000z; \\ &6000(10 - z) + 18000 + 25000z; \\ &7000(10 - z) + 23000 + 40000z) \end{aligned}$$

Eşitliğin iki tarafı aşağıdaki gibi nitelendirilerek Denklem (3.111)-(3.114)'te verilen indislerin aldığı değerler Çizelge 6.14'te verilmektedir:

$$M = ((60000 + 5000z); (78000 + 19000z); (93000 + 33000z))$$

$$N = (100000; 130000; 150000)$$

Çizelge 6.14 : Olabilirlik ve gerelilik indisleri.

n	1	2	3	4	5
İndisler					
$\Pi_M([N, +\infty))$	0,45	0,8	1	1	1
$\Pi_M(]N, +\infty))$	0	0,45	0,81	0,97	1
$\mathcal{N}_M([N, +\infty))$	0	0	0	0	0
$\mathcal{N}_M(]N, +\infty))$	0	0	0,08	0,25	0,4
Grafikler					

Çizelge 6.14'te gösterilen sonuçların değerlendirilmesi Çizelge 5.5'teki değerlendirme ile benzerdir. Öyle ki, ilk yatırım ve nakit akışları için kötümser iyimser bakış açılarına göre dört farklı birleşim bulunmaktadır. Bakış açılarının birleşimlerine göre yatırımın kurtarma geri dönüş süresi 2 yıl, 3 yıl veya 5 yıldan daha uzun olarak belirlenecektir. Kötümser bakış açısına sahip bir karar verici ve ilk yatırım maliyeti için iyimser, nakit akışları için kötümser bakış açısına sahip bir karar verici projenin kurtarma geri dönüş süresini 5 yıldan daha uzun olarak belirleyecektir. İyimser bakış açısına sahip karar verici projenin kurtarma geri dönüş süresini 2 yıl ve ilk yatırım maliyeti için kötümser, nakit akışları için iyimser bakış açısına sahip bir karar verici projenin kurtarma geri dönüş süresini 3 yıl olarak belirleyecektir.

6.2.2 Bulanık basit getiri oranı

Basit getiri oranı ($AARR$) bir projeye nakit olarak yapılan yatırıma ve projenin sağladığı yıllık getiriye bağlı olan bir ekonomik ölçüttür. Diğer tüm etmenlerin eşit olması durumunda daha yüksek basit getiri oranına sahip projeler tercih edilir (Horngren ve diğ, 1994). Bu yöntemde projenin getirileri (kar) ve maliyetler hesaba katılmaktadır.

Bulanık basit getiri oranı, şirketlerin uzun vadeli hedefleri projenin karlılığı olduğundan, nakit akışları yerine proje karlılığını inceleyen bir yöntemdir. Denklem (6.18)'de, P_j ; j yılında vergi sonrası karı, I ilk yatırım maliyetini, H projenin faydalı ömrü sonundaki hurda değerini ve n proje ömrünü ifade etmek üzere, basit getiri oranının formülü verilmektedir (Horngren ve diğ, 1994):

$$AARR = \frac{\sum_{j=0}^n P_j}{n(I - H)} \quad (6.18)$$

$AARR$ proje için yatırılan bir parasal birim için ne kadar yıllık kar oluştuğunu gösterir.

Verilerin bulanık olduğu durum için basit getiri oranı Denklem (6.19) ve (6.20)'de tanımlanmıştır (Uçal Sarı ve Kuchta, 2012a):

$$\widetilde{AARR} = \frac{\sum_{j=0}^n \tilde{P}_j}{n((\sum_{i=0}^n \tilde{I}_i) - \tilde{H})} \quad (6.19)$$

$$\widetilde{AARR} = \frac{(\sum_{j=0}^n P_{j_l}; \sum_{j=0}^n P_{j_m}; \sum_{j=0}^n P_{j_r})}{n\left(\left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_l}\right) - H_r\right); \left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_m}\right) - H_m\right); \left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_r}\right) - H_l\right)\right)} \quad (6.20)$$

Örnek 6-2: Bir projeye ait demirbaşlar için proje başlangıcında (50000; 55000; 60000) TL yatırım yapılması gerekmektedir. Projeye ait amortisman öncesi karlar Çizelge 6.15'te verilmektedir. 5 yıl sonunda varlıkların hurda değeri (10000; 13000; 15000) TL olacaktır. Amortisman yöntemi olarak 5 yıl süreli eşit paylı amortisman yöntemi kullanılacaktır. Vergi oranı %20 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.15 : Projeye ait veriler.

Yıl	Amortisman öncesi kar
0	-
1	(30000; 35000; 40000)
2	(30000; 35000; 40000)
3	(35000; 40000; 45000)
4	(40000; 50000; 55000)
5	(40000; 50000; 55000)

Çizelge 6.16, 5 yıllık eşit paylı amortisman yöntemi ve %20 gelir vergisi oranı kullanılarak oluşturulmuştur.

Amortisman ödemesi aşağıda hesaplanmıştır:

$$\frac{(50000; 55000; 60000) - (10000; 13000; 15000)}{5} = \frac{(35000; 42000; 50000)}{5}$$
$$= (7000; 8400; 10000)TL$$

Çizelge 6.16 : Projenin amortisman ödemeleri ve amortisman ve vergi sonrası karı.

Yıl	Amortisman	Amortisman ve vergi sonrası kar
1	(7000; 8400; 10000)	(16000; 21280; 26400)
2	(7000; 8400; 10000)	(16000; 21280; 26400)
3	(7000; 8400; 10000)	(20000; 25280; 30400)
4	(7000; 8400; 10000)	(24000; 33280; 38400)
5	(7000; 8400; 10000)	(24000; 33280; 38400)
Toplam	(35000; 42000; 50000)	(100000; 134400; 160000)

Projenin toplam amortisman payı (35000; 42000; 50000)TL olarak hesaplanmıştır.

Veriler Denklem (6.20)'ye uygulandığında aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$\widetilde{AARR} = \frac{(100000; 134400; 160000)}{5(50000; 55000; 60000) - (10000; 13000; 15000)}$$
$$= \frac{(100000; 134400; 160000)}{5(35000; 42000; 50000)} = (0,4; 0,64; 0,91)$$

Proje yıllık yaklaşık 0,64 para birimi net kar getirecek ve proje şirket karlılığını arttıracaktır. Her şirketin hedefi karı arttırmak olduğundan proje kabul edilmelidir.

Ayrıca şimdiki değer analizi ile projenin ne kadar nakit getirisi olacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

6.3 Bulanık Simülasyon Esaslı Yaklaşımlar

Yatırım alternatiflerinin bazı kısıtları sağlaması gerektiğinde yatırım analizinde doğrusal programlama kullanılmaktadır. Yatırım alternatifi kar getiren bir proje olduğunda doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonu enbüyükleme problemi olarak tanımlanır. Kar amacı gütmeyen projelerde amaç fonksiyonu enküçükleme problemi olarak tanımlanır.

6.3.1 Monte Carlo simülasyon yöntemi

Monte Carlo simülasyon yöntemi istatistiksel denemeleri esas alan girdilerin belirli olmayan, kesin olmayan bir şekilde gelmesi beklendiğinde ve dağılım bir fonksiyonla hesaplanabilecekse kullanılan bir simülasyon yöntemidir.

Bulanık optimizasyonda Monte Carlo simülasyon yöntemi Buckley ve Jowers (2008) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem 4 adıma sahiptir:

Adım 1. Amaç fonksiyonu ve kısıtların oluşturulması

Adım 2. Vektör aralıklarının belirlenmesi: Aralık alt ve üst sınırları genellikle uzmanlar tarafından belirlenir. Aralığın çok büyük yada çok küçük belirlenmemesi daha az sayıda iterasyon ile en iyi sonuca ulaşılması açısından önemlidir.

Adım 3. Rassal bulanık vektörlerin oluşturulması: Bulanık üçgen vektörler, bulanık sayı üretici ile üretilen rassal sayıların üçlü olarak sıralanması ile elde edilir.

Adım 4. Bulanık vektörlerin ve kısıtların karşılaştırılması: Eğer bulanık vektör kısıtları sağlıyorsa, o bulanık vektör olurludur ve amaç fonksiyonuna uygulanarak Z^* değeri hesaplanır.

Adım 5. Eğer $Z^* > Z$ ise $Z; Z^*$ olarak uyarlanır, bir sonraki iterasyon için Adım 2'ye dönlür.

İterasyon sayısı arttıkça, en iyi sonuca daha yakın Z değerleri elde edilir.

6.3.2 Bulanık iç verim oranı analizi

Bu bölümde Monte Carlo simülasyonu bulanık nakit akışlarına sahip yatırımların iç verim oranının hesaplanmasında kullanılacaktır. Literatür analizinde bulanık iç verim oranı yöntemini kullanan çok az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bunun en önemli nedeni klasik durumda deneme yanılma yöntemiyle hesaplanan iç verim oranının bulanık veriler için hesaplanan çok fazla iterasyon sayısı gerektirmesi ve birden fazla sonuç elde edilebilmesidir. Bölüm 5.6'da detayları verilen bulanık iç verim oranı analizinin literatürde sayısal örneğine rastlanamamıştır.

Doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonu, iç verim oranını en iyi temsil eden değerleri bulabilmek için, yatırımın getirileri ile giderlerinin arasındaki farkın en küçüklenmesi olarak aşağıda belirlenmiştir.

$$Enk \left| \sum_{t=1}^n \left(\frac{F_{t_l}}{(1 + VO_r)^t} \right) - I_{0_l} \right| + \left| \sum_{t=1}^n \left(\frac{F_{t_m}}{(1 + VO_m)^t} \right) - I_{0_m} \right| + \left| \sum_{t=1}^n \left(\frac{F_{t_r}}{(1 + VO_l)^t} \right) - I_{0_r} \right|$$

Öyleki: $0 \leq VO_l \leq VO_m \leq VO_r$

Örnek 6-3: Bu bölümde Çizelge 5.1'de nakit akışları verilen yatırım analizinin iç verim oranını belirlemek için Monte Carlo simülasyonu kullanılacaktır.

Adım 1. Amaç fonksiyonu ve kısıtların oluşturulması

$$Enk \left| \sum_{t=1}^n \left(\frac{F_{t_l}}{(1 + VO_r)^t} \right) - I_{0_l} \right| + \left| \sum_{t=1}^n \left(\frac{F_{t_m}}{(1 + VO_m)^t} \right) - I_{0_m} \right| + \left| \sum_{t=1}^n \left(\frac{F_{t_r}}{(1 + VO_l)^t} \right) - I_{0_r} \right|$$

Öyleki: $0 \leq VO_l \leq VO_m \leq VO_r$

Adım 2. Vektör aralıklarının belirlenmesi: Bulanık verim oranının $[0;1]$ aralığında değerler alması beklenmektedir. Bu nedenle 0 ile 1000 arasında rassal sayı ataması yapılarak bulunan rassal sayıların 1000'e bölünmesiyle bulanık vektörleri oluşturmada kullanılacak rassal sayılar belirlenmiştir.

Adım 3. Rassal bulanık vektörlerin oluşturulması: Elde edilen rassal sayılar ile üçerli gruplar oluşturulduktan sonra sıralanarak üçgen bulanık vektörler oluşturulmuştur.

Adım 4. Bulanık vektörlerin ve kısıtların karşılaştırılması: Doğrusal programlama modelimizin tek kısıtı üçgen bulanık vektörlerin beklenen en düşük değerinin en beklenen değerden küçük olması ve en beklenen değerinin beklenen en yüksek değerden küçük olmasıdır. Bu koşul da Adım 3'te karşılanmıştır.

Adım 5. Elde edilen bulanık vektörler amaç fonksiyonunda bulanık verim oranı terimlerine uygulanarak iterasyonlar gerçekleştirilmiştir. Son 1000 iterasyonda sonuç değişmediğinde algoritmanın durdurulmasına karar verilmiştir. En iyi sonuç 6568'uncu iterasyonda (0,156;0,161;0,171) vektörü ile elde edilmiş ve amaç fonksiyonu 63,96214 değerini almıştır. Faiz oranı $\tilde{i} = (0,156; 0,161; 0,171)$ olduğunda yatırımın getirisinin şimdiki değeri (171,38; 225,48; 280,82) olarak hesaplanmaktadır.

6.4 Duyarlılık Yaklaşımları

6.4.1 Yatırım projelerinin değerini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi

Yatırım kararları genellikle yüksek derecede belirsizlik ve risk içermektedir. Bir projenin net şimdiki değeri, planlanan değerden farklı gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle her bir yatırım projesi değerlendirilirken tek kriter olarak, projenin net şimdiki değerinin alınması yerine, projenin değeri ile projenin içerdiği risk beraber incelenmelidir. Eğer risk hem olumsuz (olası tehditler gibi), hem de olumlu (olası fırsatlar gibi) yönleri sahipse, riskin yatırım projesini nasıl etkilediğini, hangi faktörlerin değişiminin yatırım değerine ne kadar etki ettiğini bilmek daha sağlıklı karar almaya yardımcı olacaktır.

Her yatırım projesi; müşteri ve tedarikçilerin davranışları, ödeme koşulları, ücretler, üretme/temin etme kararları gibi, şirkete bağımlı ya da bağımsız gerçekleşebilen birçok faktörden etkilenmektedir.

Bu bölümde bu faktörlerin belirlenmesi ve belirlenen faktörlerin projenin değerine olası etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Her proje kendi net şimdiki değeri ile birlikte, proje değerini etkileyen çeşitli faktörlere bağlı olarak net şimdiki değerinin değişme riski göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir.

Yatırım projeleri uzun dönemli projeler olduğundan ve parametreleri daima risk ve belirsizlik içerdiğinden, önerilen modelde proje parametrelerinin nakit akışlarının tahmininde bulanık mantık kullanılmaktadır.

6.4.1.1 Net şimdiki değer analizinde faktörlerin değerlendirilmesi

Net şimdiki değer analizi en basit tanımı ile oluşan tüm nakit akışlarının şimdiki değerlerinin toplanması ile projenin değerinin belirlenmesidir. Faiz oranı i ile ifade edilmek üzere, şimdiki zamandan n yıl sonra yapılması beklenen ve F ile gösterilen tek bir ödemenin şimdiki değerini veren basit formül Denklem (6.21)'de verilmektedir:

$$SD(F) = F \frac{1}{(1+i)^n} \quad (6.21)$$

İlk yatırım maliyeti I ile ifade edilen ve m adet farklı ödemesi bulunan bir projenin net şimdiki değeri ($NSD(F_1, \dots, F_m)$), F_i ; ödeme miktarını ve n_i ödemenin gerçekleştiği zamanı ifade etmek üzere Denklem (6.22)'de verilmektedir:

$$\begin{aligned} NSD(F_1, \dots, F_m) = & -I + \left(F_1 \frac{1}{(1+i)^{n_1}} \right) + \left(F_2 \frac{1}{(1+i)^{n_2}} \right) \\ & + \dots + \left(F_m \frac{1}{(1+i)^{n_m}} \right) \end{aligned} \quad (6.22)$$

Bazen projenin ilk yatırımı birden çok yıla dağılabilmektedir. İlk yatırımın z yıla dağıldığı bir projenin NSD 'i Denklem (6.23)'te verilen denklem ile elde edilebilmektedir:

$$\begin{aligned} NSD = & -I_0 - \left(I_1 \frac{1}{(1+i)^{n_1}} \right) - \left(I_2 \frac{1}{(1+i)^{n_2}} \right) - \dots - \left(I_z \frac{1}{(1+i)^{n_z}} \right) \\ & + \left(F_1 \frac{1}{(1+i)^{n_1}} \right) + \left(F_2 \frac{1}{(1+i)^{n_2}} \right) + \dots + \left(F_m \frac{1}{(1+i)^{n_m}} \right) \end{aligned} \quad (6.23)$$

Projelerin net şimdiki değeri birçok farklı faktörden etkilenmektedir. Bazı nakit akışlarında, firmanın isteği doğrultusunda fiyat artışı ile gelirlerin artması gibi küçük değişiklikler yapılabilmekte veya tedarikçilerin fiyat politikalarında yaşanan bir değişiklik gibi firma isteğine bağlı olmaksızın gerçekleşen değişimler oluşabilmektedir. Bu ve benzeri durumlar daha yüksek veya daha düşük proje değerleri ile sonuçlanabilmektedir. Örneğin NSD ; işçi ücretlerindeki değişimden çok etkileniyorsa, karar verici kalifiye eleman çalıştırma, kalifiye olmayan eleman

çalıştırma veya işi fason yaptırma seçeneklerinden birini tercih ederek değişimin etkilerini incelemek isteyebilir. $N\$D$, müşterilerden veya tedarikçilerden birine karşı daha duyarlıysa, karar verici bu müşteriye/tedarikçiye ait durumun, belirlenen kaynakların veya ödeme sürelerinin projenin $N\$D$ 'ne etkisini görmek isteyebilir.

Denklem (6.23)'teki nakit akışlarını, etki gruplarına ayırmak için belirli faktörlere bağlı nakit akışları birer grup oluşturacak şekilde tekrar sıralanabilir (Örn. bir müşteriye ait nakit akışları, işgücüne ait nakit akışları vs.). Sınıflandırmanın yapılabilmesi için tekrar sıralamanın mümkün olduğu ve nakit akışlarının faktörlere bağlı olarak sıralanabildiği varsayımı yapılmaktadır. Bu kısıtlayıcı varsayım, genellikle yapılan farklı yıllara ait nakit akışlarının birbirinden bağımsız olduğu varsayımından daha az kısıtlayıcıdır. Farklı yıllara ait nakit akışları seçilen tedarikçi, ödeme koşulları veya kaynakların seçiminden etkilenmektedir (Uçal ve Kuchta, 2012).

Bu durumda F_{jl} ($j = 1, \dots, n, l = 1, \dots, k$); l faktörüne bağlı j yılında gerçekleşen nakit akışlarını ifade etmek üzere, projenin bütününde l faktörüne bağlı nakit akışları Denklem (6.24)'te gösterilmektedir. F_{jl} nakit akışlarının $\$D^l$ ile gösterilen şimdiki değeri Denklem (6.25)'te gösterilmektedir:

$$F_l = F_{1l} + F_{2l} + F_{3l} + \dots + F_{nl} \quad l = 1, \dots, k \quad (6.24)$$

$$\$D^l = \sum_{j=1}^n \frac{F_{jl}}{(1+i)^{n_j}} \quad l = 1, \dots, k \quad (6.25)$$

Denklem (6.26)'da $\$D^l$ ile gösterilen farklı dönemlerde ödemelere sahip proje ilk yatırım maliyetinin şimdiki değeri verilmektedir. Denklem (6.27)'de projenin $N\$D$ 'inin, bağımsız faktörlere ait nakit akışlarının $N\$D$ 'lerinin ve $\$D^l$ 'in toplamına eşit olduğu gösterilmektedir:

$$\$D^l = \$D(I_0) + \$D(I_1) + \dots + \$D(I_z) \quad (6.26)$$

$$N\$D = -\$D^l + \$D^1 + \$D^2 + \$D^3 + \dots + \$D^k \quad (6.27)$$

Denklem (6.28)'de gösterilen eşitsizliğin gerçekleştiğini kabul edelim:

$$\$D^1 > \$D^2 > \$D^3 > \dots > \$D^k \quad (6.28)$$

Eğer “daha büyüktür ilişkileri” $\$D^1, \$D^2, \$D^3, \dots, \D^k , değerleri arasındaki farklılıkları ifade ederse, bu durumda $\$D^1, \$D^2, \$D^3, \dots, \D^k değerlerindeki

değişiklikler projenin $N\$D$ 'inde farklı değişimlere yol açacaktır. Denklem (6.22)'de verilen durumda F_1 nakit akışının (pozitif veya negatif) ana risk kaynağı ve F_2 nakit akışının ikinci büyük risk kaynağı olarak belirlendiğini farzedelim. Projenin $N\$D$ 'ini değiştirebilecek ana risk kaynağı belirlendikten sonra bu kaynağın değiştirilebilirliği incelenmelidir. Eğer F_1 kolaylıkla değiştirilebilirse bu proje yatırımcıları için proje $N\$D$ 'i üzerinde etki olanağı sağladığından olumlu bir durum ortaya çıkar. Eğer F_1 elimizde olmayan nedenlerle kolayca değişebilir ise bu projenin $N\$D$ 'inin stabilitesini olumsuz yönde etkilediğinden yatırımcı için tehdit oluşturacaktır. İhtiyaç halinde aynı analizler F_2 ve diğer nakit akışı kaynakları içinde gerçekleştirilebilir.

6.4.1.2 Bulanık net şimdiki değer analizinde faktörlerin değerlendirilmesi

$\tilde{F}_i$; i zaman biriminde gerçekleşen net nakit akışını ve $\tilde{i}$ bulanık faiz oranını ifade etmek üzere m adet farklı ödemeye sahip ve ilk yatırımının tamamı proje başlangıcında gerçekleşen bir projenin bulanık net şimdiki değeri ($\widetilde{N\$D}$) Denklem (6.29) ile hesaplanır:

$$\widetilde{N\$D} = -\tilde{I} + \left(\tilde{F}_1 \frac{1}{(1+i)^{n_1}} \right) + \left(\tilde{F}_2 \frac{1}{(1+i)^{n_2}} \right) + \dots + \left(\tilde{F}_m \frac{1}{(1+i)^{n_m}} \right) \quad (6.29)$$

Denklem (6.30) m adet farklı ödemeye sahip ve ilk yatırımı z yıla dağıtılmış bir projenin $\widetilde{N\$D}$ 'ini verir (Uçal ve Kuchta, 2012):

$$\begin{aligned} \widetilde{N\$D} = & -\tilde{I}_0 - \left(\tilde{I}_1 \frac{1}{(1+i)^{n_1}} \right) - \left(\tilde{I}_2 \frac{1}{(1+i)^{n_2}} \right) - \dots - \left(\tilde{I}_z \frac{1}{(1+i)^{n_z}} \right) \\ & + \left(\tilde{F}_1 \frac{1}{(1+i)^{n_1}} \right) + \left(\tilde{F}_2 \frac{1}{(1+i)^{n_2}} \right) + \dots + \left(\tilde{F}_m \frac{1}{(1+i)^{n_m}} \right) \end{aligned} \quad (6.30)$$

Denklem (6.31)'de farklı dönemlerde bulanık ödemelere sahip ilk yatırım maliyetinin şimdiki değeri verilmektedir. Denklem (6.32)'de projenin $\widetilde{N\$D}$ 'inin, bağımsız faktörlere ait nakit akışlarının $\widetilde{N\$D}$ 'lerinin ve $\widetilde{\$D}^l$ 'nin toplamına eşit olduğu gösterilmektedir (Uçal ve Kuchta, 2012):

$$\widetilde{\$D}^l = \widetilde{\$D}(I_0) + \widetilde{\$D}(I_1) + \dots + \widetilde{\$D}(I_z) \quad (6.31)$$

$$\widetilde{N\$D} = -\widetilde{\$D}^l + \widetilde{\$D}^1 + \widetilde{\$D}^2 + \widetilde{\$D}^3 + \dots + \widetilde{\$D}^k \quad (6.32)$$

Örnek 6-4: Bir şirket yeni bir ürünün üretimine başlayarak ürün yelpazesini genişletmek istemektedir. Farklı üretim kapasitelerine sahip X ve Y makinelerinden birine yatırım yapılması düşünülmektedir. Yeni ürün A ve B olmak üzere iki çeşit

hammadde kullanılarak üretilmektedir. Makinelerin üretim gereklilikleri Çizelge 6.17’de, verilmektedir. Faiz oranı $i = (8; 10; 12)\%$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.17 : Makine gereklilikleri.

	<i>X</i> Makinesi	<i>Y</i> Makinesi
İlk yatırım maliyeti (x1000)	(1250; 1430; 1610)\$	(1240; 1320; 1400)\$
Yıllık üretim kapasitesi (x1000)	(1620; 1800; 1980) adet	(1140; 1200; 1260) adet
Aylık işgücü gereksinimi	(3360; 3600; 3840) saat	(2016; 2160; 2304)saat
Birim başına gereken A	2	2
Birim başına gereken B	1	1
Yıllık enerji maliyeti	(11760; 12000; 12240)\$	(8340; 8400; 8460)\$
Kullanım ömrü	10 yıl	10 yıl

Yeni ürüne ait maliyet ve kazançlar Çizelge 6.18’de verilmektedir. *X* makinesi için her bir faktöre ait net yıllık nakit akışları ve bu nakit akışlarının bulanık net şimdiki değerleri hesaplanmış ve Çizelge 6.19’da verilmiştir.

Çizelge 6.18 : Yeni ürüne ait maliyet ve kazançlar.

	Maliyet / Kazanç
Saat başı işçi ücreti	(4,5; 5; 5,5)\$
Ürün başı A maliyeti	(0,8; 0,9; 1)\$
Ürün başı B maliyeti	(0,9; 1; 1,1)\$
Birim ürün fiyatı	(9; 10; 11)\$

Çizelge 6.19 : *X* makinesi için faktörlerin yıllık nakit akışları ve şimdiki değerleri.

Toplam yıllık nakit akışı	(10264320;12732000;15448800)
Toplam nakit akışlarının $\widetilde{SD}$ 'i	(57995697;78232628;103662705)
Projenin $\widetilde{NSD}$ 'i	(56385697;76802628;102412705)
Toplam yıllık gelirler	(14580000;18000000;21780000)
Toplam yıllık gelirlerin $\widetilde{SD}$ 'i	(82380252;110602208;146145573)
Yıllık enerji maliyeti	(-12240;-12000;-11760)
Enerji maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-82131;-73735;-66447)
Yıllık işçi maliyeti	(-253440;-216000;-181440)
İşçi maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-1700603;-1327226;-1025176)
Yıllık hammadde maliyeti	(-6138000;-5040000;-4050000)
Toplam hammadde maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-41186480;-30968618;-22883403)
Yıllık A maliyeti	(-3960000;-3240000;-2592000)
Toplam A maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-26571922;-19908397;-14645378)
Yıllık B maliyeti	(-2178000;-1800000;-1458000)
Toplam B maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-14614557;-11060221;-8238025)
İlk yatırımın $\widetilde{SD}$ 'i ($\widetilde{SD}_I$)	(-1610000;-1430000;-1250000)

Y makinesi için her bir faktöre ait net yıllık nakit akışları ve bu nakit akışlarının bulanık net şimdiki değerleri hesaplanmış ve Çizelge 6.20'de verilmiştir:

Çizelge 6.20 : Y makinesi için faktörlerin yıllık nakit akışları ve şimdiki değerleri.

Toplam yıllık nakit akışı	(7249476;8502000;19836796)
Toplam nakit akışlarının $\widetilde{SD}$ 'i	(40961156;52241110;66005702)
Projenin $\widetilde{NSD}$ 'i	(39561156;50921110;64765702)
Toplam yıllık gelirler	(10260000;12000000;13860000)
Toplam yıllık gelirlerin $\widetilde{SD}$ 'i	(57971288;73734805;93001728)
Yıllık enerji maliyeti	(-8460;-8400;-8340)
Enerji maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-56767;-51614; -47123)
Yıllık işçi maliyeti	(-253440;-216000;-181440)
İşçi maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-152064;-129600;-108864)
Yıllık hammadde maliyeti	(-3906000;-3360000;-2850000)
Toplam hammadde maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-26209578;-20645745;-16103136)
Yıllık A maliyeti	(-2520000;-2160000;-1824000)
Toplam A maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-16909405;-13272265;-10306007)
Yıllık B maliyeti	(-1386000;-1200000;-1026000)
Toplam B maliyetlerinin $\widetilde{SD}$ 'i	(-9300173;-7373480;-5797129)
İlk yatırımın $\widetilde{SD}$ 'i ($\widetilde{SD}_I$)	(-1400000;-1320000;-1240000)

Hangi makinenin daha yüksek $\widetilde{NSD}$ 'e sahip olduğunu bulmak için olabilirlik ve gereklilik indisleri büyüktür ilişkileri için hesaplanarak Çizelge 6.21'de oluşturulmuştur:

Çizelge 6.21 : Makinelerin bulanık net şimdiki değerleri için olabilirlik ve gereklilik indisleri.

Durumlar	$\Pi_M([N, +\infty))$	$\mathcal{N}_M([N, +\infty))$
$\widetilde{NSD}(X) > \widetilde{NSD}(Y)$	1	1
$\widetilde{NSD}(Y) > \widetilde{NSD}(X)$	1	0

Çizelge 6.21'de elde edilen sonuçlardan karar vericinin tutumuna bakmadan X makinesine yatırım yapılması gerektiğini söyleyebiliriz. Ancak karşıt durum olan $\widetilde{NSD}(Y) > \widetilde{NSD}(X)$ durumu çok düşük bir ihtimalle de olsa gerçekleşebileceğinden diğer kriterleri de gözönüne almak gerekebilir.

X makinesine ait faktörlerin etkilerini incelemek için olabilirlik ve gereklilik indisleri hesaplanmıştır. İndis değerleri faktörlerin şimdiki değerlerinin sıralamasında sadece

0 ve 1 değerlerini almıştır. Bu durum sayıların keşisimlerinin olmadığını göstermektedir ve sıralama kesin olarak belirlenebilmektedir. $\widetilde{SD}_{THM}$; toplam hammadde maliyetinin şimdiki değerini, $\widetilde{SD}_{AHM}$; A hammaddesinin maliyetinin şimdiki değerini, $\widetilde{SD}_{BHM}$; B hammaddesinin maliyetinin şimdiki değerini, $\widetilde{SD}_{İşçi}$; işçi maliyetlerinin şimdiki değerini, $\widetilde{SD}_I$; ilk yatırım maliyetinin şimdiki değerini ve $\widetilde{SD}_E$; enerji maliyetlerinin şimdiki değerini ifade etmek üzere, $\widetilde{SD}_{THM} > \widetilde{SD}_{AHM} > \widetilde{SD}_{BHM} > \widetilde{SD}_{İşçi} > \widetilde{SD}_I > \widetilde{SD}_E$ sıraması elde edilmiştir. Hammaddelerin proje değeri üzerinde yüksek etkiye sahip olduğu görülmektedir, yani hammadde ücretlerindeki değişim proje değeri üzerinde büyük belirsizlik yaratabilmektedir. Şirket hammadde tedarikçilerini yedekleyerek, önceden fiyatları sabitleyerek bu belirsizliği azaltabilir.

6.4.2 Global duyarlılık yaklaşımı

Duyarlılık analizi lokal ve global olarak ikiye ayrılabilir. Lokal duyarlılık; bir zaman diliminde diğer tüm girdi faktörleri nominal değerlerine sahipken sadece bir girdi faktörünün değişiminin incelenmesinde model çıktısının duyarlılığını verir. Global duyarlılık ise tüm belirsiz girdi faktörlerinin model çıktısı üzerindeki etkilerinin incelenmesidir (Haaker ve Verheijen, 2004).

Borgonovo ve Peccati (2006) yatırım projelerinin değerlendirmesinde belirsizlik yönetiminde global duyarlılık analizini uygulamışlardır. Çalışmalarında parametrik olmayan ve varyans ayrıştırma temelli teknikleri incelemiş ve bir parametrenin global duyarlılığını model varyansının tamamlanmış ayrıştırması ile ifade etmişlerdir.

$NŞD$ 'in global duyarlılık analizi modelinde nakit akışlarının aralarında korelasyon olmadığı kabul edilmiştir. $NŞD$, F_j ; j yılında oluşan nakit akışlarını ifade eden bir rassal değişken ve i ; iskonto oranı olmak üzere Denklem (6.33)'teki gibi formüle edilebilir (Detaylı bilgi için bkz. Borgonovo ve Peccati, 2006):

$$Y = NŞD(I, F_j) = -I + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j} \quad (6.33)$$

Pearson korelasyon katsayısının ($PEAR$) Denklem (6.33)'e uygulanmasıyla, σ_{F_j} ; F_j 'nin standart sapması ve σ_Y ; $NŞD$ 'in standart sapması olmak üzere Denklem (6.34) elde edilir:

$$PEAR(F_j) = \frac{\sigma_{F_j}}{(1+i)^j \sigma_{N\$D}} \quad (6.34)$$

$GI(F_j)$; bir projede F_j 'nin $N\$D$ üzerindeki global önemini göstermek üzere, Denklem (6.35) ile hesaplanır:

$$GI(F_j) = PEAR(F_j)^2 \quad (6.35)$$

Daha yüksek global öneme sahip bir nakit akışı $N\$D$ 'nin olası değişimleri üzerinde daha büyük etkiye sahiptir. Bu nakit akışındaki değişimler diğer nakit akışlarındaki aynı miktardaki değişime göre $N\$D$ 'i daha fazla etkilemektedir.

6.4.3 Bulanık net şimdiki değer analizi için bulanık global duyarlılık analizi

Bir nakit akışı dizisinin $\widetilde{N\$D}$ 'i, $\tilde{F}_j$; j yılında gerçekleşen bulanık nakit akışlarını ve $\tilde{i}$; bulanık faiz oranını ifade etmek üzere, Denklem (6.36)'da gösterildiği şekilde yazılabilir.

$$\widetilde{N\$D} = f(\tilde{F}_j) = \sum_{j=1}^n \frac{\tilde{F}_j}{(1+\tilde{i})^j} \quad (6.36)$$

$\tilde{F}_j$ nakit akışının $\widetilde{N\$D}$ 'e ait Pearson korelasyon katsayısı ($PEAR(\tilde{F}_j)$); $\sigma_{\tilde{F}_j}$ nakit akışının standart sapmasını ve $\sigma_{\widetilde{N\$D}}$ bulanık net şimdiki değerlerin standart sapmasını ifade etmek üzere, Denklem (6.37)'de geliştirilmiştir. Denklem (6.37)'de $\tilde{F}_j$ nakit akışlarının diğer nakit akışlarına bağlı olmadığı kabul edilmektedir.

$$PEAR(\tilde{F}_j) = \frac{\sigma_{\tilde{F}_j}}{(1+\tilde{i})^j \sigma_{\widetilde{N\$D}}} \quad (6.37)$$

$PEAR(\tilde{F}_j)$ 'in üçgen bulanık sayılarla ifade edilmesi durumunda eşdeğeri Denklem (6.38)'de gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} PEAR(\tilde{F}_j) &= (PEAR(\tilde{F}_j)_l; PEAR(\tilde{F}_j)_m; PEAR(\tilde{F}_j)_r) \\ &= \left(\frac{\sigma_{\tilde{F}_j}}{(1+i_r)^j \sigma_{\widetilde{N\$D}}}; \frac{\sigma_{\tilde{F}_j}}{(1+i_m)^j \sigma_{\widetilde{N\$D}}}; \frac{\sigma_{\tilde{F}_j}}{(1+i_l)^j \sigma_{\widetilde{N\$D}}} \right) \end{aligned} \quad (6.38)$$

Bulanık $\tilde{F}_j$ nakit akışının, $\widetilde{N\$D}$ üzerindeki global önemi ($GI(\tilde{F}_j)$), varyans hesabında Denklem (3.117) kullanılarak Denklem (6.39)'da geliştirilmiştir:

$$\begin{aligned}
GI(\tilde{F}_j) &= PEAR(\tilde{F}_j)^2 = \frac{\sigma_{\tilde{F}_j}^2}{(1+i_l)^{2j} \sigma_{N\tilde{S}D}^2} \\
&= \frac{(F_{j_r} - F_{j_l})^2}{(N\tilde{S}D_r - N\tilde{S}D_l)^2 (1+i_l)^{2j}} \quad (6.39)
\end{aligned}$$

$GI(\tilde{F}_j)$ 'nin üçgen bulanık sayılarla ifade edilmesi durumunda standart sapmalar ile ifade edilen eşdeğeri Denklem (6.41)'de, nakit akışları ile ifade edilen eşdeğeri Denklem (6.42)'de gösterilmektedir (Uçal Sarı ve Kuchta 2012b):

$$\begin{aligned}
GI(\tilde{F}_j) &= (GI(\tilde{F}_j)_l; GI(\tilde{F}_j)_m; GI(\tilde{F}_j)_r) \\
&= (PEAR(\tilde{F}_j)_l^2; PEAR(\tilde{F}_j)_m^2; PEAR(\tilde{F}_j)_r^2) \quad (6.40)
\end{aligned}$$

$$GI(\tilde{F}_j) = \left(\frac{\sigma_{\tilde{F}_j}^2}{(1+i_r)^{2j} \sigma_{N\tilde{S}D}^2}; \frac{\sigma_{\tilde{F}_j}^2}{(1+i_m)^{2j} \sigma_{N\tilde{S}D}^2}; \frac{\sigma_{\tilde{F}_j}^2}{(1+i_l)^{2j} \sigma_{N\tilde{S}D}^2} \right) \quad (6.41)$$

$$\begin{aligned}
GI(\tilde{F}_j) &= \left(\frac{(F_{j_r} - F_{j_l})^2}{(N\tilde{S}D_r - N\tilde{S}D_l)^2 (1+i_{j_r})^{2j}}; \frac{(F_{j_r} - F_{j_l})^2}{(N\tilde{S}D_r - N\tilde{S}D_l)^2 (1+i_m)^{2j}}; \right. \\
&\quad \left. \frac{(F_{j_r} - F_{j_l})^2}{(N\tilde{S}D_r - N\tilde{S}D_l)^2 (1+i_l)^{2j}} \right) \quad (6.42)
\end{aligned}$$

Bir projeye ait nakit akışlarının GI değerlerini kullanmak, karar vericinin hangi nakit akışının projenin değerini diğer nakit akışlarından daha fazla değiştirebileceğini bilmesini sağlar. En yüksek GI değerine sahip nakit akışı projenin bulanık net şimdiki değerinin değişimde diğer nakit akışlarından daha etkilidir. Özellikle projenin değerinin değişkenliği azaltılmak istendiğinde GI değerleri göz önünde bulundurularak anlamlı stratejiler geliştirilebilir.

Denklem (6.42) kullanılarak projenin nakit akışlarını oluşturan farklı faktörlerin de incelenmesi mümkündür. Bu durumda her bir faktöre ait nakit akışları için GI değerleri hesaplanarak, faktörlerin proje değerinin değişkenliğine etkileri de incelenebilir. Örneğin, projeye olan talep belirsiz ve diğer parametrelerden daha riskli ise karar verici reklamlarla, müşterilere özel kampanyalarla veya müşteriler ile gerçekleştirilen bağlayıcı anlaşmalarla talebin daha stabil olmasını sağlayabilir.

Örnek 6-5: Bu bölümde Örnek 6.4’te detayları verilen yatırım projesinin nakit akışları global duyarlılık analizi ile değerlendirilecektir. X makinesinin nakit akışlarının global önem değerleri hesaplandıktan sonra ($w = 0,3$) ağırlıklı sıralama yöntemi ile öncelik değerleri hesaplanmış ve Çizelge 6.22’de verilmiştir.

Çizelge 6.22 : X makinesine ait faktörlerin toplam nakit akışlarının GI ve öncelik değerleri.

Faktör	GI değerleri($\times 10^{-3}$)	Öncelik değeri	Önem Sırası
İlk yatırım maliyeti	(0,049;0,051;0,052)	0,00006	5
İş gücü maliyeti	(0,172;0,178;0,184)	0,00023	4
A hammadde maliyeti	(70,422;73,006;75,735)	0,09496	2
B hammadde maliyeti	(19,508;20,223;20,979)	0,02643	3
Enerji Maliyeti	(0,0000086;0,0000089;0,0000093)	0,00000001	6
Toplam hammadde maliyeti	(164,059;170,079;176,436)	0,22121	1

Global önem indisleri ile sıralama yapıldığında Örnek 6.4 ile aynı sonuç olan $\widetilde{\$D}_{THM} > \widetilde{\$D}_{AHM} > \widetilde{\$D}_{BHM} > \widetilde{\$D}_{İşçi} > \widetilde{\$D}_I > \widetilde{\$D}_E$ sıraması elde edilmiştir. Şirket hammadde tedarikçilerini yedekleyerek, önceden fiyatları sabitleyerek bu belirsizliği azaltabilir.

6.5 Aralık Tip 2 Bulanık Yatırım Analizi Yöntemleri

Literatür taramasında bulanık yatırım analizi yöntemlerinde bulanık sayıların kullanımının tip 1 bulanık sayılarla sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. Bu bölümde mevcut bulanık yatırım analizi yöntemleri aralık tip 2 bulanık sayıların kullanılması durumu için genişletilecektir.

6.5.1 Aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi

6.5.1.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi

t anındaki nakit akışı $\tilde{F}_t = \left(\left((f_{t_l}^U; f_{t_m}^U; f_{t_r}^U); H(\tilde{f}_t^U) \right), \left((f_{t_l}^L; f_{t_m}^L; f_{t_r}^L); H(\tilde{f}_t^L) \right) \right)$,

iskonto oranı $\forall i > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t = \left(\left((i_{t_l}^U; i_{t_m}^U; i_{t_r}^U); H(\tilde{i}_t^U) \right), \left((i_{t_l}^L; i_{t_m}^L; i_{t_r}^L); H(\tilde{i}_t^L) \right) \right)$,

$\left((i_{t_l}^L; i_{t_m}^L; i_{t_r}^L); H(\tilde{i}_t^L)\right)$ üçgen aralık tip 2 bulanık sayıları ile gösterildiğinde yatırımın üçgen aralık tip 2 bulanık şimdiki değeri Denklem (6.43) ile elde edilir:

$$\begin{aligned} \widetilde{\$D} = & \left(\left(\sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_l}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',r}^U)} + \frac{enk(f_{t_l}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',l}^U)} \right); \sum_{t=0}^n \frac{f_{t_m}^U}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',m}^U)}; \right. \right. \\ & \left. \sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_r}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',l}^U)} + \frac{enk(f_{t_r}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',r}^U)} \right); enk \left(H(\tilde{f}_t^U); H(\tilde{i}_t^U) \right) \right), \\ & \left(\left(\sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_l}^L; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',r}^L)} + \frac{enk(f_{t_l}^L; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',l}^L)} \right); \sum_{t=0}^n \frac{f_{t_m}^L}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',m}^L)}; \right. \right. \\ & \left. \left. \sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_r}^L; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',l}^L)} + \frac{enk(f_{t_r}^L; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t',r}^L)} \right); enk \left(H(\tilde{f}_t^L); H(\tilde{i}_t^L) \right) \right) \right) \quad (6.43) \end{aligned}$$

Aşağıda üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak üçgen aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi örneği verilmektedir:

Örnek 6-6: 5 yıl süreli üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 6.23'te verilen yatırım alternatifinin $\tilde{i} = ((9; 11; 13); 1), ((10; 11; 12); 0,9))\%$ üçgen aralık tip 2 bulanık sayı ile tanımlanmış faiz oranı altında üçgen aralık tip 2 bulanık şimdiki değerleri hesaplanacaktır. A projesi $\tilde{I} = ((-250; -230; -200); 1), ((-240; -230; -210); 0,9))TL$ ilk yatırım maliyetine sahiptir.

Çizelge 6.23 : Alternatife ait nakit akışları.

Yıl	Proje A
1	$((60; 75; 90); 1), ((65; 75; 85); 0,9))$
2	$((55; 70; 88); 1), ((60; 72; 83); 0,9))$
3	$((53; 70; 85); 1), ((55; 67; 80); 0,9))$
4	$((50; 65; 80); 1), ((55; 65; 75); 0,9))$
5	$((45; 60; 77); 1), ((50; 61; 72); 0,9))$

$$\begin{aligned}
 \widehat{SD} = & \left(\left(\left(\frac{enb(-250; 0)}{(1 + 0,13)^0} + \frac{enk(-250; 0)}{(1 + 0,09)^0} \right) + \left(\frac{enb(60; 0)}{(1 + 0,13)^1} + \frac{enk(60; 0)}{(1 + 0,09)^1} \right) + \right. \\
 & \left(\frac{enb(55; 0)}{(1 + 0,13)^1} + \frac{enk(55; 0)}{(1 + 0,09)^1} \right) + \left(\frac{enb(53; 0)}{(1 + 0,13)^2} + \frac{enk(53; 0)}{(1 + 0,09)^2} \right) + \\
 & \left. \left(\frac{enb(50; 0)}{(1 + 0,13)^4} + \frac{enk(50; 0)}{(1 + 0,09)^4} \right) + \left(\frac{enb(45; 0)}{(1 + 0,13)^5} + \frac{enk(45; 0)}{(1 + 0,09)^5} \right) \right); \\
 & \left(\frac{-230}{(1 + 0,11)^0} + \frac{75}{(1 + 0,11)^1} + \frac{70}{(1 + 0,11)^2} + \right. \\
 & \left. \frac{70}{(1 + 0,11)^3} + \frac{65}{(1 + 0,11)^4} + \frac{60}{(1 + 0,11)^5} \right); \\
 & \left(\left(\frac{enb(-200; 0)}{(1 + 0,09)^0} + \frac{enk(-200; 0)}{(1 + 0,13)^0} \right) + \left(\frac{enb(90; 0)}{(1 + 0,09)^1} + \frac{enk(90; 0)}{(1 + 0,13)^1} \right) + \right. \\
 & \left(\frac{enb(88; 0)}{(1 + 0,09)^2} + \frac{enk(88; 0)}{(1 + 0,13)^2} \right) + \left(\frac{enb(85; 0)}{(1 + 0,09)^3} + \frac{enk(85; 0)}{(1 + 0,13)^3} \right) + \\
 & \left. \left(\frac{enb(80; 0)}{(1 + 0,09)^4} + \frac{enk(80; 0)}{(1 + 0,13)^4} \right) + \left(\frac{enb(77; 0)}{(1 + 0,09)^5} + \frac{enk(77; 0)}{(1 + 0,13)^5} \right) \right); enk(1; 1), \\
 & \left(\left(\left(\frac{enb(-240; 0)}{(1 + 0,12)^0} + \frac{enk(-240; 0)}{(1 + 0,10)^0} \right) + \left(\frac{enb(65; 0)}{(1 + 0,12)^1} + \frac{enk(65; 0)}{(1 + 0,10)^1} \right) + \right. \\
 & \left. \left(\frac{enb(60; 0)}{(1 + 0,12)^1} + \frac{enk(60; 0)}{(1 + 0,10)^1} \right) + \left(\frac{enb(55; 0)}{(1 + 0,12)^2} + \frac{enk(55; 0)}{(1 + 0,10)^2} \right) + \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{enb(55;0)}{(1+0,12)^4} + \frac{enk(55;0)}{(1+0,10)^4} \right) + \left(\frac{enb(50;0)}{(1+0,12)^5} + \frac{enk(50;0)}{(1+0,10)^5} \right); \\
& \left(\frac{-230}{(1+0,11)^0} + \frac{75}{(1+0,11)^1} + \frac{72}{(1+0,11)^2} + \right. \\
& \quad \left. \frac{67}{(1+0,11)^3} + \frac{65}{(1+0,11)^4} + \frac{61}{(1+0,11)^5} \right); \\
& \left(\left(\frac{enb(-210;0)}{(1+0,10)^0} + \frac{enk(-210;0)}{(1+0,12)^0} \right) + \left(\frac{enb(85;0)}{(1+0,10)^1} + \frac{enk(85;0)}{(1+0,12)^1} \right) + \right. \\
& \quad \left(\frac{enb(83;0)}{(1+0,10)^2} + \frac{enk(83;0)}{(1+0,12)^2} \right) + \left(\frac{enb(80;0)}{(1+0,10)^3} + \frac{enk(80;0)}{(1+0,12)^3} \right) + \\
& \quad \left. \left(\frac{enb(75;0)}{(1+0,10)^4} + \frac{enk(75;0)}{(1+0,12)^4} \right) + \left(\frac{enb(72;0)}{(1+0,10)^5} + \frac{enk(72;0)}{(1+0,12)^5} \right); enk(0,9;0,9) \right) \\
& \widetilde{\widetilde{D}} = \left(((-62,01; 23,98; 128,99); 1), ((-36,50; 24,01; 99,54); 0,9) \right) TL
\end{aligned}$$

6.5.1.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi

$\tilde{\tilde{F}}_t = \left(\left((f_{t_1}^U; f_{t_2}^U; f_{t_3}^U; f_{t_4}^U); H_1(\tilde{F}_t^U); H_2(\tilde{F}_t^U) \right), \left((f_{t_1}^L; f_{t_2}^L; f_{t_3}^L; f_{t_4}^L); H_1(\tilde{f}_t^L); H_2(\tilde{f}_t^L) \right) \right);$
 t anındaki nakit akışını ifade etsin. İskonto oranı $\forall i > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t =$
 $\left(\left((i_{t_1}^U; i_{t_2}^U; i_{t_3}^U; i_{t_4}^U); H_1(\tilde{i}_t^U); H_2(\tilde{i}_t^U) \right), \left((i_{t_1}^L; i_{t_2}^L; i_{t_3}^L; i_{t_4}^L); H_1(\tilde{i}_t^L); H_2(\tilde{i}_t^L) \right) \right)$ yamuk
 aralık tip 2 bulanık sayı ile gösterildiğinde Denklem (6.44)'te nakit akışlarının
 yamuk aralık tip 2 bulanık şimdiki değeri geliştirilmiştir:

$$\begin{aligned}
\widetilde{\widetilde{D}} = & \left(\left(\left(\sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_1}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_1}^U)} + \frac{enk(f_{t_1}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_4}^U)} \right); \right. \right. \right. \\
& \sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_2}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_3}^U)} + \frac{enk(f_{t_2}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_3}^U)} \right); \\
& \left. \left. \sum_{t=0}^n \left(\frac{enb(f_{t_3}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_2}^U)} + \frac{enk(f_{t_3}^U; 0)}{\prod_{t'=0}^t (1 + i_{t'_2}^U)} \right) \right) \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{t=0}^n \left(\frac{\text{enb}(f_{t_4}^U; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_1}^U)} + \frac{\text{enk}(f_{t_4}^U; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_1}^U)} \right); \\
& \text{enk} \left(H_1(\tilde{F}_t^U); H_1(\tilde{i}_t^U) \right), \text{enk} \left(H_2(\tilde{F}_t^U); H_2(\tilde{i}_t^U) \right), \\
& \left(\left(\sum_{t=0}^n \left(\frac{\text{enb}(f_{t_1}^L; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_4}^L)} + \frac{\text{enk}(f_{t_1}^L; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_4}^L)} \right); \right. \right. \\
& \sum_{t=0}^n \left(\frac{\text{enb}(f_{t_2}^L; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_3}^L)} + \frac{\text{enk}(f_{t_2}^L; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_3}^L)} \right); \\
& \sum_{t=0}^n \left(\frac{\text{enb}(f_{t_3}^L; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_2}^L)} + \frac{\text{enk}(f_{t_3}^L; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_2}^L)} \right); \\
& \left. \left. \sum_{t=0}^n \left(\frac{\text{enb}(f_{t_4}^L; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_1}^L)} + \frac{\text{enk}(f_{t_4}^L; 0)}{\Pi_{t'=0}^t (1 + i_{t'_1}^L)} \right) \right) \right); \\
& \text{enk} \left(H_1(\tilde{F}_t^L); H_1(\tilde{i}_t^L) \right); \text{enk} \left(H_2(\tilde{F}_t^L); H_2(\tilde{i}_t^L) \right) \Big) \quad (6.44)
\end{aligned}$$

Aşağıda yamuk aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak yamuk aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi örneği verilmektedir:

Örnek 6-7: 5 yıl süreli yamuk aralık tip 2 bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 6.24'te verilen yatırım alternatifinin $\tilde{i} = ((9; 10; 12; 13); 1; 1), ((10; 10,5; 11,5; 12); 0,9; 0,9))$ % yamuk aralık tip 2 bulanık sayı ile tanımlanmış faiz oranı altında yamuk aralık tip 2 bulanık şimdiki değerleri hesaplanacaktır. B projesi $\tilde{I} = ((-250; -230; -190; -180); 1; 1), ((-240; -220; -200; -190); 0,9; 0,9))$ TL ilk yatırım maliyetine sahiptir.

Çizelge 6.24 : Alternatife ait nakit akışları.

Yıl	Proje B
1	((65; 70; 82; 90; 1; 1), (68; 74; 78; 86; 0,9; 0,9))
2	((65; 75; 85; 95; 1; 1), (69; 79; 82; 90; 0,9; 0,9))
3	((70; 75; 80; 85; 1; 1), (74; 77; 79; 81; 0,9; 0,9))
4	((60; 67; 76; 85; 1; 1), (65; 69; 73; 80; 0,9; 0,9))
5	((78; 84; 93; 99; 1; 1), (80; 87; 90; 95; 0,9; 0,9))

$$\begin{aligned}
 \widetilde{\$D} = & \left(\left(\left(\frac{enb(-250; 0)}{(1 + 0,13)^0} + \frac{enk(-250; 0)}{(1 + 0,09)^0} \right) + \left(\frac{enb(65; 0)}{(1 + 0,13)^1} + \frac{enk(65; 0)}{(1 + 0,09)^1} \right) + \right. \\
 & \left(\frac{enb(65; 0)}{(1 + 0,13)^2} + \frac{enk(65; 0)}{(1 + 0,09)^2} \right) + \left(\frac{enb(70; 0)}{(1 + 0,13)^3} + \frac{enk(70; 0)}{(1 + 0,09)^3} \right) + \\
 & \left. \left(\frac{enb(60; 0)}{(1 + 0,13)^4} + \frac{enk(60; 0)}{(1 + 0,09)^4} \right) + \left(\frac{enb(78; 0)}{(1 + 0,13)^5} + \frac{enk(78; 0)}{(1 + 0,09)^5} \right) \right); \\
 & \left(\frac{enb(-230; 0)}{(1 + 0,12)^0} + \frac{enk(-230; 0)}{(1 + 0,10)^0} \right) + \left(\frac{enb(70; 0)}{(1 + 0,12)^1} + \frac{enk(70; 0)}{(1 + 0,10)^1} \right) + \\
 & \left(\frac{enb(75; 0)}{(1 + 0,12)^2} + \frac{enk(75; 0)}{(1 + 0,10)^2} \right) + \left(\frac{enb(75; 0)}{(1 + 0,12)^3} + \frac{enk(75; 0)}{(1 + 0,10)^3} \right) + \\
 & \left(\frac{enb(67; 0)}{(1 + 0,12)^4} + \frac{enk(67; 0)}{(1 + 0,10)^4} \right) + \left(\frac{enb(84; 0)}{(1 + 0,12)^5} + \frac{enk(84; 0)}{(1 + 0,10)^5} \right); \\
 & \left(\frac{enb(-190; 0)}{(1 + 0,10)^0} + \frac{enk(-190; 0)}{(1 + 0,12)^0} \right) + \left(\frac{enb(82; 0)}{(1 + 0,10)^1} + \frac{enk(82; 0)}{(1 + 0,12)^1} \right) + \\
 & \left(\frac{enb(85; 0)}{(1 + 0,10)^2} + \frac{enk(85; 0)}{(1 + 0,12)^2} \right) + \left(\frac{enb(80; 0)}{(1 + 0,10)^3} + \frac{enk(80; 0)}{(1 + 0,12)^3} \right) + \\
 & \left(\frac{enb(76; 0)}{(1 + 0,10)^4} + \frac{enk(76; 0)}{(1 + 0,12)^4} \right) + \left(\frac{enb(93; 0)}{(1 + 0,10)^5} + \frac{enk(93; 0)}{(1 + 0,12)^5} \right); \\
 & \left(\frac{enb(-180; 0)}{(1 + 0,09)^0} + \frac{enk(-180; 0)}{(1 + 0,13)^0} \right) + \left(\frac{enb(90; 0)}{(1 + 0,09)^1} + \frac{enk(90; 0)}{(1 + 0,13)^1} \right) + \\
 & \left(\frac{enb(95; 0)}{(1 + 0,09)^2} + \frac{enk(95; 0)}{(1 + 0,13)^2} \right) + \left(\frac{enb(85; 0)}{(1 + 0,09)^3} + \frac{enk(85; 0)}{(1 + 0,13)^3} \right) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{enb(85; 0)}{(1 + 0,09)^4} + \frac{enk(85; 0)}{(1 + 0,13)^4} \right) + \left(\frac{enb(99; 0)}{(1 + 0,09)^5} + \frac{enk(99; 0)}{(1 + 0,13)^5} \right); \\
& enk(1; 1); enk(1; 1)), \\
& \left(\left(\frac{enb(-240; 0)}{(1 + 0,12)^0} + \frac{enk(-240; 0)}{(1 + 0,10)^0} \right) + \left(\frac{enb(68; 0)}{(1 + 0,12)^1} + \frac{enk(68; 0)}{(1 + 0,10)^1} \right) + \right. \\
& \left(\frac{enb(69; 0)}{(1 + 0,12)^2} + \frac{enk(69; 0)}{(1 + 0,10)^2} \right) + \left(\frac{enb(74; 0)}{(1 + 0,12)^3} + \frac{enk(74; 0)}{(1 + 0,10)^3} \right) + \\
& \left(\frac{enb(65; 0)}{(1 + 0,12)^4} + \frac{enk(65; 0)}{(1 + 0,10)^4} \right) + \left(\frac{enb(80; 0)}{(1 + 0,12)^5} + \frac{enk(80; 0)}{(1 + 0,10)^5} \right); \\
& \left(\frac{enb(-220; 0)}{(1 + 0,115)^0} + \frac{enk(-220; 0)}{(1 + 0,105)^0} \right) + \left(\frac{enb(74; 0)}{(1 + 0,115)^1} + \frac{enk(74; 0)}{(1 + 0,105)^1} \right) + \\
& \left(\frac{enb(79; 0)}{(1 + 0,115)^2} + \frac{enk(79; 0)}{(1 + 0,105)^2} \right) + \left(\frac{enb(77; 0)}{(1 + 0,115)^3} + \frac{enk(77; 0)}{(1 + 0,105)^3} \right) + \\
& \left(\frac{enb(69; 0)}{(1 + 0,115)^4} + \frac{enk(69; 0)}{(1 + 0,105)^4} \right) + \left(\frac{enb(87; 0)}{(1 + 0,115)^5} + \frac{enk(87; 0)}{(1 + 0,105)^5} \right); \\
& \left(\left(\frac{enb(-200; 0)}{(1 + 0,105)^0} + \frac{enk(-200; 0)}{(1 + 0,115)^0} \right) + \left(\frac{enb(78; 0)}{(1 + 0,105)^1} + \frac{enk(78; 0)}{(1 + 0,115)^1} \right) + \right. \\
& \left(\frac{enb(82; 0)}{(1 + 0,105)^2} + \frac{enk(82; 0)}{(1 + 0,115)^2} \right) + \left(\frac{enb(79; 0)}{(1 + 0,105)^3} + \frac{enk(79; 0)}{(1 + 0,115)^3} \right) + \\
& \left(\frac{enb(73; 0)}{(1 + 0,105)^4} + \frac{enk(73; 0)}{(1 + 0,115)^4} \right) + \left(\frac{enb(90; 0)}{(1 + 0,105)^5} + \frac{enk(90; 0)}{(1 + 0,115)^5} \right); \\
& \left(\left(\frac{enb(-190; 0)}{(1 + 0,10)^0} + \frac{enk(-190; 0)}{(1 + 0,12)^0} \right) + \left(\frac{enb(86; 0)}{(1 + 0,10)^1} + \frac{enk(86; 0)}{(1 + 0,12)^1} \right) + \right. \\
& \left(\frac{enb(90; 0)}{(1 + 0,10)^2} + \frac{enk(90; 0)}{(1 + 0,12)^2} \right) + \left(\frac{enb(81; 0)}{(1 + 0,10)^3} + \frac{enk(81; 0)}{(1 + 0,12)^3} \right) + \\
& \left(\frac{enb(80; 0)}{(1 + 0,10)^4} + \frac{enk(80; 0)}{(1 + 0,12)^4} \right) + \left(\frac{enb(95; 0)}{(1 + 0,10)^5} + \frac{enk(95; 0)}{(1 + 0,12)^5} \right); \\
& enk(0,9; 0,9); enk(0,9; 0,9))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\widetilde{\widetilde{D}} = & \left(((-13,92; 35,92; 124,55; 172,72); 1; 1), \right. \\ & \left. ((15,09; 60,59; 99,89; 137,05); 0,9; 0,9) \right) TL\end{aligned}$$

6.5.2 Aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi

6.5.2.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi

t anındaki nakit akışı $\tilde{F}_t = \left(\left((f_{t_l}^U; f_{t_m}^U; f_{t_r}^U); H(\tilde{f}_t^U) \right), \left((f_{t_l}^L; f_{t_m}^L; f_{t_r}^L); H(\tilde{f}_t^L) \right) \right)$, iskonto oranı $\forall i > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t = \left(\left((i_{t_l}^U; i_{t_m}^U; i_{t_r}^U); H(\tilde{i}_t^U) \right), \left((i_{t_l}^L; i_{t_m}^L; i_{t_r}^L); H(\tilde{i}_t^L) \right) \right)$, üçgen aralık tip 2 bulanık sayıları ile gösterildiğinde nakit akışlarının üçgen aralık tip 2 bulanık gelecek değeri Denklem (6.45) ile elde edilir:

$$\begin{aligned}\widetilde{\widetilde{D}} = & \left(\left(\left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_l}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',l}^U) + enk(f_{t_l}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',r}^U) \right) + f_{t_l}^U \right); \right. \right. \\ & \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(f_{t_m}^U \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',m}^U) \right) + f_{t_m}^U \right); \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_r}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',r}^U) + \right. \right. \\ & \left. \left. enk(f_{t_r}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',r}^U) \right) + f_{t_r}^U \right); enk \left(H(\tilde{f}_t^U); H(\tilde{i}_t^U) \right) \right), \\ & \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_l}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',l}^L) + enk(f_{t_l}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',r}^L) \right) + f_{t_l}^L \right); \\ & \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(f_{t_m}^L \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',m}^L) \right) + f_{t_m}^L \right); \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_r}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',r}^L) + \right. \right. \\ & \left. \left. enk(f_{t_r}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t',r}^L) \right) + f_{t_r}^L \right); enk \left(H(\tilde{f}_t^L); H(\tilde{i}_t^L) \right) \right) \quad (6.45)\end{aligned}$$

Aşağıda üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak üçgen aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi örneği verilmektedir:

Örnek 6-8: 5 yıl süreli üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 6.30'da verilen yatırım alternatifinin

$\tilde{I} = \left(((9; 11; 13); 1), ((10; 11; 12); 0,9) \right)$ % üçgen aralık tip 2 bulanık sayı ile tanımlanmış faiz oranı altında üçgen aralık tip 2 bulanık şimdiki değerleri hesaplanacaktır. A projesi $\tilde{I} = \left(((-250; -230; -200); 1), ((-240; -230; -210); 0,9) \right)$ TL ilk yatırım maliyetine sahiptir.

$$\begin{aligned} \widetilde{GD} = & \left(\left(\left((enb(-250; 0)(1 + 0,10)^5 + enk(-250; 0)(1 + 0,12)^5) + \right. \right. \right. \\ & (enb(60; 0)(1 + 0,10)^4 + enk(60; 0)(1 + 0,12)^4) + \\ & (enb(55; 0)(1 + 0,10)^3 + enk(55; 0)(1 + 0,12)^3) + \\ & (enb(53; 0)(1 + 0,10)^2 + enk(53; 0)(1 + 0,12)^2) + \\ & (enb(50; 0)(1 + 0,10)^1 + enk(50; 0)(1 + 0,12)^1) + 45); \\ & (-230(1 + 0,11)^5 + 75(1 + 0,11)^4 + 70(1 + 0,11)^3 + \\ & 70(1 + 0,11)^2 + 65(1 + 0,11)^1 + 60); \\ & (enb(-200; 0)(1 + 0,12)^5 + enk(-200; 0)(1 + 0,10)^5 + \\ & (enb(90; 0)(1 + 0,12)^4 + enk(90; 0)(1 + 0,10)^4) + \\ & (enb(88; 0)(1 + 0,12)^3 + enk(88; 0)(1 + 0,10)^3) + \\ & (enb(85; 0)(1 + 0,12)^2 + enk(85; 0)(1 + 0,10)^2) + \\ & (enb(80; 0)(1 + 0,12)^1 + enk(80; 0)(1 + 0,10)^1) + 77); enk(1; 1)), \\ & \left(\left(\left((enb(-240; 0)(1 + 0,10)^5 + enk(-240; 0)(1 + 0,12)^5) + \right. \right. \right. \\ & (enb(65; 0)(1 + 0,10)^4 + enk(65; 0)(1 + 0,12)^4) + \\ & (enb(60; 0)(1 + 0,10)^3 + enk(60; 0)(1 + 0,12)^3) + \\ & (enb(55; 0)(1 + 0,10)^2 + enk(55; 0)(1 + 0,12)^2) + \\ & (enb(55; 0)(1 + 0,10)^1 + enk(55; 0)(1 + 0,12)^1) + 45); \\ & (-230(1 + 0,11)^5 + 75(1 + 0,11)^4 + 72(1 + 0,11)^3 + \\ & 67(1 + 0,11)^2 + 65(1 + 0,11)^1 + 61); \\ & ((enb(-210; 0)(1 + 0,12)^5 + enk(-210; 0)(1 + 0,10)^5) + \\ & (enb(85; 0)(1 + 0,12)^4 + enk(85; 0)(1 + 0,10)^4) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (enb(83; 0) (1 + 0,12)^3 + enk(83; 0) (1 + 0,10)^3) + \\
& (enb(80; 0) (1 + 0,12)^2 + enk(80; 0) (1 + 0,10)^2) + \\
& (enb(75; 0) (1 + 0,12)^1 + enk(75; 0) (1 + 0,10)^1 + 72); enk(0,9; 0,9)) \\
\widetilde{\widetilde{GD}} = & \left(((-142,22; 40,42; 241,93); 1), ((-97,43; 40,46; 194,14); 0,9) \right) TL
\end{aligned}$$

6.5.2.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi

$\tilde{\tilde{F}}_t = \left(\left((f_{t_1}^U; f_{t_2}^U; f_{t_3}^U; f_{t_4}^U); H_1(\tilde{f}_t^U); H_2(\tilde{f}_t^U) \right), \left((f_{t_1}^L; f_{t_2}^L; f_{t_3}^L; f_{t_4}^L); H_1(\tilde{f}_t^L); H_2(\tilde{f}_t^L) \right) \right);$
 t anındaki nakit akışını ifade etsin. İskonto oranı $\forall i > 0$ olmak üzere $\tilde{\tilde{i}}_t =$
 $\left(\left((i_{t_1}^U; i_{t_2}^U; i_{t_3}^U; i_{t_4}^U); H_1(\tilde{i}_t^U); H_2(\tilde{i}_t^U) \right), \left((i_{t_1}^L; i_{t_2}^L; i_{t_3}^L; i_{t_4}^L); H_1(\tilde{i}_t^L); H_2(\tilde{i}_t^L) \right) \right)$ yamuk aralık
tip 2 bulanık sayı ile gösterildiğinde Denklem (6.46)'da nakit akışlarının yamuk
aralık tip 2 bulanık gelecek değeri geliştirilmiştir:

$$\begin{aligned}
\widetilde{\widetilde{GD}} = & \left(\left(\left(\left(\sum_{t=0}^{n-1} (enb(f_{t_1}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_1}^U) + enk(f_{t_1}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_4}^U)) + f_{t_1}^U \right); \right. \right. \right. \\
& \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_2}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_2}^U) + enk(f_{t_2}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_3}^U) \right) + f_{t_2}^U \right); \\
& \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_3}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_3}^U) + enk(f_{t_3}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_2}^U) \right) + f_{t_3}^U \right); \\
& \left. \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_4}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_4}^U) + enk(f_{t_4}^U; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_1}^U) \right) + f_{t_4}^U \right) \right); \\
& enk \left(H_1(\tilde{f}_t^U); H_1(\tilde{i}_t^U) \right), enk \left(H_2(\tilde{f}_t^U); H_2(\tilde{i}_t^U) \right) \Big), \\
& \left(\left(\left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_1}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_1}^L) + enk(f_{t_1}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_4}^L) \right) + f_{t_1}^L \right); \right. \right. \right. \\
& \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_2}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_2}^L) + enk(f_{t_2}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_3}^L) \right) + f_{t_2}^L \right); \\
& \left. \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_3}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_3}^L) + enk(f_{t_3}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_2}^L) \right) + f_{t_3}^L \right) \right); \\
& \left. \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_4}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_4}^L) + enk(f_{t_4}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_1}^L) \right) + f_{t_4}^L \right) \right); \\
& enk \left(H_1(\tilde{f}_t^L); H_1(\tilde{i}_t^L) \right), enk \left(H_2(\tilde{f}_t^L); H_2(\tilde{i}_t^L) \right) \Big)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_3}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_3}^L) + enk(f_{t_3}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_2}^L) \right) + f_{t_3}^L \right); \\
& \left(\sum_{t=0}^{n-1} \left(enb(f_{t_4}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_4}^L) + enk(f_{t_4}^L; 0) \prod_{t'=t+1}^n (1 + i_{t'_1}^L) \right) + f_{t_4}^L \right); \\
& enk \left(H_1(\tilde{f}_t^L); H_1(\tilde{i}_t^L) \right), enk \left(H_2(\tilde{f}_t^L); H_2(\tilde{i}_t^L) \right) \Big) \quad (6.46)
\end{aligned}$$

Aşağıda yamuk aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak yamuk aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi örneği verilmektedir:

Örnek 6-9: 5 yıl süreli yamuk bulanık sayılar ile tanımlanan beklenen nakit akışları Çizelge 6.31’de verilen yatırım alternatifinin $\tilde{i} = ((9; 10; 12; 13); 1; 1)$, $((10; 10,5; 11,5; 12); 0,9; 0,9))$ % yamuk aralık tip 2 bulanık sayı ile tanımlanmış faiz oranı altında yamuk aralık tip 2 bulanık gelecek değeri hesaplanacaktır. B projesi $\tilde{I} = (((-250; -230; -190; -180); 1; 1), ((-240; -220; -200; -190); 0,9; 0,9))TL$ ilk yatırım maliyetine sahiptir.

$$\begin{aligned}
\widetilde{\widetilde{GD}} = & \left(((enb(-250; 0) (1 + 0,09)^5 + enk(-250; 0) (1 + 0,13)^5) + \right. \\
& (enb(65; 0) (1 + 0,09)^4 + enk(65; 0) (1 + 0,13)^4) + \\
& (enb(65; 0) (1 + 0,09)^3 + enk(65; 0) (1 + 0,13)^3) + \\
& (enb(70; 0) (1 + 0,09)^2 + enk(70; 0) (1 + 0,13)^2) + \\
& (enb(60; 0) (1 + 0,09)^1 + enk(60; 0) (1 + 0,13)^1) + 78); \\
& ((enb(-230; 0) (1 + 0,10)^5 + enk(-230; 0) (1 + 0,12)^5) + \\
& (enb(70; 0) (1 + 0,10)^4 + enk(70; 0) (1 + 0,12)^4) + \\
& (enb(75; 0) (1 + 0,10)^3 + enk(75; 0) (1 + 0,12)^3) + \\
& (enb(75; 0) (1 + 0,10)^2 + enk(75; 0) (1 + 0,12)^2) + \\
& (enb(67; 0) (1 + 0,10)^1 + enk(67; 0) (1 + 0,12)^1) + 84); \\
& ((enb(-190; 0) (1 + 0,12)^5 + enk(-190; 0) (1 + 0,10)^5) + \\
& (enb(82; 0) (1 + 0,12)^4 + enk(82; 0) (1 + 0,10)^4) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (enb(85; 0) (1 + 0,12)^3 + enk(85; 0) (1 + 0,10)^3) + \\
& (enb(80; 0) (1 + 0,12)^2 + enk(80; 0) (1 + 0,10)^2) + \\
& (enb(76; 0) (1 + 0,12)^1 + enk(76; 0) (1 + 0,10)^1) + 93); \\
& ((enb(-180; 0) (1 + 0,13)^5 + enk(-180; 0) (1 + 0,09)^5) + \\
& (enb(90; 0) (1 + 0,13)^4 + enk(90; 0) (1 + 0,09)^4) + \\
& (enb(95; 0) (1 + 0,13)^3 + enk(95; 0) (1 + 0,09)^3) + \\
& (enb(85; 0) (1 + 0,13)^2 + enk(85; 0) (1 + 0,09)^2) + \\
& (enb(85; 0) (1 + 0,13)^1 + enk(85; 0) (1 + 0,09)^1) + 99); enk(1; 1); enk(1; 1)), \\
& ((enb(-240; 0) (1 + 0,10)^5 + enk(-240; 0) (1 + 0,12)^5) + \\
& (enb(68; 0) (1 + 0,10)^4 + enk(68; 0) (1 + 0,12)^4) + \\
& (enb(69; 0) (1 + 0,10)^3 + enk(69; 0) (1 + 0,12)^3) + \\
& (enb(74; 0) (1 + 0,10)^2 + enk(74; 0) (1 + 0,12)^2) + \\
& (enb(65; 0) (1 + 0,10)^1 + enk(65; 0) (1 + 0,12)^1) + 80); \\
& ((enb(-220; 0) (1 + 0,105)^5 + enk(-220; 0) (1 + 0,115)^5) + \\
& (enb(74; 0) (1 + 0,105)^4 + enk(74; 0) (1 + 0,115)^4) + \\
& (enb(79; 0) (1 + 0,105)^3 + enk(79; 0) (1 + 0,115)^3) + \\
& (enb(77; 0) (1 + 0,105)^2 + enk(77; 0) (1 + 0,115)^2) + \\
& (enb(69; 0) (1 + 0,105)^1 + enk(69; 0) (1 + 0,115)^1) + 87); \\
& ((enb(-200; 0) (1 + 0,115)^5 + enk(-200; 0) (1 + 0,105)^5) + \\
& (enb(78; 0) (1 + 0,115)^4 + enk(78; 0) (1 + 0,105)^4) + \\
& (enb(82; 0) (1 + 0,115)^3 + enk(82; 0) (1 + 0,105)^3) + \\
& (enb(79; 0) (1 + 0,115)^2 + enk(79; 0) (1 + 0,105)^2) + \\
& (enb(73; 0) (1 + 0,115)^1 + enk(73; 0) (1 + 0,105)^1) + 90); \\
& ((enb(-190; 0) (1 + 0,12)^5 + enk(-190; 0) (1 + 0,10)^5) + \\
& (enb(86; 0) (1 + 0,12)^4 + enk(86; 0) (1 + 0,10)^4) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (enb(90; 0) (1 + 0,12)^3 + enk(90; 0) (1 + 0,10)^3) + \\
& (enb(81; 0) (1 + 0,12)^2 + enk(81; 0) (1 + 0,10)^2) + \\
& (enb(80; 0) (1 + 0,12)^1 + enk(80; 0) (1 + 0,10)^1) \\
& + 95); enk(0,9; 0,9); enk(0,9; 0,9))) \\
& \widetilde{\widetilde{GD}} = \left(((-58,11; 45,42; 220,92; 310,45); 1; 1), \right. \\
& \left. ((9,47; 95,04; 174,35; 241,98); 0,9; 0,9) \right) TL
\end{aligned}$$

6.5.3 Aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi

6.5.3.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi

Bulanık net şimdiki değeri $\widetilde{\widetilde{N\$D}} = \left(\left((N\$D_l^U; N\$D_m^U; N\$D_r^U); H(\widetilde{\widetilde{N\$D}}^U) \right), \right.$
 $\left. \left((N\$D_l^L; N\$D_m^L; N\$D_r^L); H(\widetilde{\widetilde{N\$D}}^L) \right) \right)$ iskonto oranı $\forall i > 0$ olmak üzere $\tilde{i}_t =$
 $\left(\left((i_l^U; i_m^U; i_r^U); H(\tilde{i}^U) \right), \left((i_l^L; i_m^L; i_r^L); H(\tilde{i}^L) \right) \right)$ üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar ile
gösterildiğinde yatırımın üçgen aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün nakit akışı $\widetilde{\widetilde{ED\ddot{O}D}}$
 $(\tilde{A}_n)$ Denklem (6.47) ile ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}
\widetilde{\widetilde{ED\ddot{O}D}} = & \left(\left(\left(N\$D_l^U \frac{(1 + i_r^U)^n i_r^U}{(1 + i_r^U)^n - 1}; N\$D_m^U \frac{(1 + i_m^U)^n i_m^U}{(1 + i_m^U)^n - 1}; \right. \right. \right. \\
& \left. \left. N\$D_r^U \frac{(1 + i_l^U)^n i_l^U}{(1 + i_l^U)^n - 1} \right); enk \left(H(\widetilde{\widetilde{N\$D}}^U), H(\tilde{i}^U) \right) \right), \\
& \left(\left(N\$D_l^L \frac{(1 + i_r^L)^n i_r^L}{(1 + i_r^L)^n - 1}; N\$D_m^L \frac{(1 + i_m^L)^n i_m^L}{(1 + i_m^L)^n - 1}; \right. \right. \\
& \left. \left. N\$D_r^L \frac{(1 + i_l^L)^n i_l^L}{(1 + i_l^L)^n - 1} \right); enk \left(H(\widetilde{\widetilde{N\$D}}^L), H(\tilde{i}^L) \right) \right) \quad (6.47)
\end{aligned}$$

Aşağıda üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak üçgen aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi örneği verilmektedir:

Örnek 6-10: Örnek 6.6’da hesaplanan $\widetilde{\widetilde{D}} = (((-62,01; 23,98; 128,99); 1), ((-36,50; 24,01; 99,54); 0,9))$ TL üçgen aralık tip 2 bulanık şimdiki değere sahip nakit akışları için $\tilde{i} = ((9; 11; 13); 1), ((10; 11; 12); 0,9))$ % üçgen aralık tip 2 bulanık sayı ile tanımlanmış faiz oranı altında üçgen aralık tip 2 $\widetilde{\widetilde{EDÖD}}$ aşağıda hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} \widetilde{\widetilde{EDÖD}} = & \left(\left(\left(-62,01 \frac{(1 + 0,13)^5 0,13}{(1 + 0,13)^5 - 1}; 23,98 \frac{(1 + 0,11)^5 0,11}{(1 + 0,11)^5 - 1}; \right. \right. \right. \\ & \left. \left. 128,99 \frac{(1 + 0,09)^5 0,09}{(1 + 0,09)^5 - 1} \right); enk(1; 1) \right), \\ & \left(\left(-36,50 \frac{(1 + 0,12)^5 0,12}{(1 + 0,12)^5 - 1}; 24,01 \frac{(1 + 0,11)^5 0,11}{(1 + 0,11)^5 - 1}; \right. \right. \\ & \left. \left. 99,54 \frac{(1 + 0,10)^5 0,10}{(1 + 0,10)^5 - 1} \right); enk(0,9; 0,9) \right) \end{aligned}$$

$$\widetilde{\widetilde{EDÖD}} = (((-17,63; 6,49; 33,16); 1), ((-10,38; 6,50; 25,59); 0,9)) TL$$

6.5.3.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi

Bir yatırımın yamuk aralık tip 2 bulanık net şimdiki değeri

$$\widetilde{\widetilde{NŞD}} = ((NŞD_1^U; NŞD_2^U; NŞD_3^U; NŞD_4^U); H_1(\widetilde{NŞD}^U); H_2(\widetilde{NŞD}^U)),$$

$$((NŞD_1^L; NŞD_2^L; NŞD_3^L; NŞD_4^L); H_1(\widetilde{NŞD}^L); H_2(\widetilde{NŞD}^L)) \text{ ve yamuk aralık tip 2}$$

bulanık iskonto oranı $\forall \tilde{i} > 0$ olmak üzere $\tilde{i} = ((i_1^U; i_2^U; i_3^U; i_4^U)$

$$H_1(\tilde{i}^U); H_2(\tilde{i}^U)), ((i_1^L; i_2^L; i_3^L; i_4^L); H_1(\tilde{i}^L); H_2(\tilde{i}^L))) \text{ ile gösterildiğinde Denklem}$$

(6.48)’de nakit akışlarının yamuk aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün nakit akışı

değeri $\widetilde{\widetilde{EDÖD}}(\tilde{A}_n)$ geliştirilmiştir:

$$\widetilde{\widetilde{EDÖD}} = \left(\left(\left(NŞD_1^U \frac{(1 + i_4^U)^n i_4^U}{(1 + i_4^U)^n - 1}; NŞD_2^U \frac{(1 + i_3^U)^n i_3^U}{(1 + i_3^U)^n - 1}; NŞD_3^U \frac{(1 + i_2^U)^n i_2^U}{(1 + i_2^U)^n - 1}; \right. \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& N\mathcal{S}D_4^U \frac{(1+i_1^U)^n i_1^U}{(1+i_1^U)^n - 1} \Big); enk \left(H_1(\widetilde{N\mathcal{S}D}^U); H_1(\tilde{i}^U) \right); enk \left(H_2(\widetilde{N\mathcal{S}D}^U); H_2(\tilde{i}^U) \right)), \\
& \left(\left(N\mathcal{S}D_1^L \frac{(1+i_4^L)^n i_4^L}{(1+i_4^L)^n - 1}; N\mathcal{S}D_2^L \frac{(1+i_3^L)^n i_3^L}{(1+i_3^L)^n - 1}; N\mathcal{S}D_3^L \frac{(1+i_2^L)^n i_2^L}{(1+i_2^L)^n - 1}; \right. \right. \\
& \left. \left. N\mathcal{S}D_4^L \frac{(1+i_1^L)^n i_1^L}{(1+i_1^L)^n - 1} \right); enk(H_1(\widetilde{N\mathcal{S}D}^L), H_1(\tilde{i}^L)); enk(H_2(\widetilde{N\mathcal{S}D}^L), H_2(\tilde{i}^L)) \right) \Big) \quad (6.48)
\end{aligned}$$

Aşağıda yamuk aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak yamuk aralık tip 2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi örneği verilmektedir:

Örnek 6-11: Örnek 6.7’de hesaplanan $\widetilde{\mathcal{S}D} = (((-13,92; 35,92; 124,55; 172,72); 1; 1), ((15,09; 60,59; 99,89; 137,05); 0,9; 0,9))$ TL aralık tip 2 bulanık şimdiki değere sahip nakit akışları için $\tilde{i} = ((9; 10; 12; 13); 1; 1), ((10; 10,5; 11,5; 12); 0,9; 0,9))\%$ yamuk aralık tip 2 bulanık sayı ile tanımlanmış faiz oranı altında yamuk aralık tip 2 $\widetilde{ED\ddot{O}D}$ aşağıda hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned}
\widetilde{ED\ddot{O}D} = & \left(\left(\left(-13,92 \frac{(1+0,13)^5 0,13}{(1+0,13)^5 - 1}; 35,92 \frac{(1+0,12)^5 0,12}{(1+0,12)^5 - 1}; \right. \right. \right. \\
& \left. \left. 124,55 \frac{(1+0,10)^5 0,10}{(1+0,10)^5 - 1}; 172,72 \frac{(1+0,09)^5 0,09}{(1+0,09)^5 - 1} \right); enk(1; 1); enk(1; 1) \right), \\
& \left(\left(15,09 \frac{(1+0,12)^5 0,12}{(1+0,12)^5 - 1}; 60,59 \frac{(1+0,115)^5 0,115}{(1+0,115)^5 - 1}; 99,89 \frac{(1+0,105)^5 0,105}{(1+0,105)^5 - 1}; \right. \right. \\
& \left. \left. 137,05 \frac{(1+0,10)^5 0,10}{(1+0,10)^5 - 1} \right); enk(0,9; 0,9); enk(0,9; 0,9) \right) \Big) \\
\widetilde{ED\ddot{O}D} = & \left(((-3,95; 9,96; 32,85; 44,40); 1; 1), \right. \\
& \left. ((4,19; 16,60; 26,69; 36,15); 0,9; 0,9) \right) TL
\end{aligned}$$

6.5.4 Aralık tip 2 bulanık basit getiri oranı

6.5.4.1 Üçgen aralık tip 2 bulanık basit getiri oranı analizi

Denklem (6.49) ve (6.50)'de, $\tilde{P}_j = (((P_{jl}^U; P_{jm}^U; P_{jr}^U); H(\tilde{P}_j^U)), ((P_{jl}^L; P_{jm}^L; P_{jr}^L); H(\tilde{P}_j^L)))$; j yılında vergi sonrası karı, $\tilde{I}_i = (((I_{il}^U; I_{im}^U; I_{ir}^U); H(\tilde{I}_i^U)), ((I_{il}^L; I_{im}^L; I_{ir}^L); H(\tilde{I}_i^L)))$; i yılına ait ilk yatırım maliyetini, $\tilde{H} = (((H_l^U; H_m^U; H_r^U); H(\tilde{H}^U)), ((H_l^L; H_m^L; H_r^L); H(\tilde{H}^L)))$ projenin faydalı ömrü sonundaki hurda değerini ve n proje ömrünü ifade etmek üzere, aralık tip 2 bulanık basit getiri oranının formülü verilmektedir:

$$\widetilde{AARR} = \frac{\sum_{j=0}^n \tilde{P}_j}{n \left((\sum_{i=0}^n \tilde{I}_i) - \tilde{H} \right)} \quad (6.49)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{AARR} = & \left(\left(\left(\sum_{j=0}^n P_{jl}^U; \sum_{i=0}^n P_{jm}^U; \sum_{i=0}^n P_{jr}^U \right); enk \left(H \left(\tilde{P}_j^U \right) \right) \right), \right. \\ & \left. \left(\left(\sum_{j=0}^n P_{jl}^L; \sum_{i=0}^n P_{jm}^L; \sum_{i=0}^n P_{jr}^L \right); enk \left(H \left(\tilde{P}_j^L \right) \right) \right) \right) / \\ & n \left(\left(\left(\left(\sum_{i=0}^n I_{il}^U \right) - H_r^U \right); \left(\sum_{i=0}^n I_{im}^U \right) - H_m^U \right); \right. \\ & \left. \left(\left(\sum_{i=0}^n I_{ir}^U \right) - H_l^U \right) \right); enk(H(\tilde{I}_i^U); H(\tilde{H}^U)) \right), \\ & \left(\left(\left(\sum_{i=0}^n I_{il}^L \right) - H_r^L \right); \left(\sum_{i=0}^n I_{im}^L \right) - H_m^L \right); \end{aligned}$$

$$\left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_r}^L \right) - H_i^L \right); enk(H(\tilde{I}_i^L); H(\tilde{H}^L)) \right) \quad (6.50)$$

6.5.4.2 Yamuk aralık tip 2 bulanık basit getiri oranı analizi

Denklem (6.57)'de, $\tilde{P}_j = \left((P_{j_1}^U; P_{j_2}^U; P_{j_3}^U; P_{j_4}^U); H_1(\tilde{P}_j^U); H_2(\tilde{P}_j^U) \right), \left((P_{j_1}^L; P_{j_2}^L; P_{j_3}^L; P_{j_4}^L); H_1(\tilde{P}_j^L); H_2(\tilde{P}_j^L) \right)$; j yılında vergi sonrası karı, $\tilde{I}_i = \left((I_{i_1}^U; I_{i_2}^U; I_{i_3}^U; I_{i_4}^U); H_1(\tilde{I}_i^U); H_2(\tilde{I}_i^U) \right), \left((I_{i_1}^L; I_{i_2}^L; I_{i_3}^L; I_{i_4}^L); H_1(\tilde{I}_i^L); H_2(\tilde{I}_i^L) \right)$; i yılına ait ilk yatırım maliyetini, $\tilde{H} = \left((H_1^U; H_2^U; H_3^U; H_4^U); H_1(\tilde{H}^U); H_2(\tilde{H}^U) \right), \left((H_1^L; H_2^L; H_3^L; H_4^L); H_1(\tilde{H}^L); H_2(\tilde{H}^L) \right)$ projenin faydalı ömrü sonundaki hurda değerini ve n proje ömrünü ifade etmek üzere, yamuk aralık tip 2 bulanık basit getiri oranının formülü verilmektedir:

$$\begin{aligned} \widetilde{AARR} = & \left(\left(\left(\sum_{j=0}^n P_{j_1}^U; \sum_{i=0}^n P_{j_2}^U; \sum_{i=0}^n P_{j_3}^U; \sum_{i=0}^n P_{j_4}^U \right); enk(H_1(\tilde{P}_j^U)); enk(H_2(\tilde{P}_j^U)) \right), \right. \\ & \left. \left(\left(\sum_{j=0}^n P_{j_1}^L; \sum_{i=0}^n P_{j_2}^L; \sum_{i=0}^n P_{j_3}^L; \sum_{i=0}^n P_{j_4}^L \right); enk(H_1(\tilde{P}_j^L)); enk(H_2(\tilde{P}_j^L)) \right) \right) / \\ & n \left(\left(\left(\left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_1}^U \right) - H_4^U \right); \left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_2}^U \right) - H_3^U \right); \left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_3}^U \right) - H_2^U \right); \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_4}^U \right) - H_1^U \right) \right); enk(H_1(\tilde{I}_i^U); H_1(\tilde{H}^U)) \right), \left(\left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_1}^L \right) - H_4^L \right); \right. \\ & \left. \left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_2}^L \right) - H_3^L \right); \left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_3}^L \right) - H_2^L \right); \left(\left(\sum_{i=0}^n I_{i_4}^L \right) - H_1^L \right) \right); \end{aligned}$$

$$enk\left(H_2\left(\widetilde{I}_l^L\right); H_2\left(\widetilde{H}^L\right)\right) \tag{6.51}$$

7. UYGULAMA

Bu bölümde incelenecek yatırım projesine ait verilerin uzmanlar tarafından önce üçgen bulanık sayılar kullanılarak belirlenmesi istenmiştir. Daha sonra aynı projeye ait verilerin yine aynı uzmanlar tarafından üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak belirlenmesi istenmiştir. Bölüm 7.1’de projeye ait verilerin sıradan üçgen bulanık sayılarla ifade edilmesi durumunda proje değerlendirilmiştir. Bölüm 7.2’de aynı proje, verilerin üçgen aralık tip 2 bulanık sayılarla ifade edilmesi durumunda incelenmiştir. Bölüm 7.3’te uygulama sonuçları karşılaştırılmıştır.

7.1 Projeye Ait Verilerin Sıradan Üçgen Bulanık Sayılarla Belirlenmesi Durumu

Projeye ait demirbaşlar için gerekli ödemeler ve amortisman öncesi karlar Çizelge 7.1’de verilmektedir. 5 yıl sonunda varlıkların hurda değeri olmayacaktır. Amortisman yöntemi olarak 5 yıl süreli eşit paylı amortisman yöntemi kullanılacaktır. Vergi oranı %25 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.1 : Projeye ait veriler.

Yıl	Varlıklar için ödemeler	Amortisman öncesi kar
0	(450000; 500000; 550000)	-
1	(270000; 300000; 330000)	(-193000; 21000; 225000)
2	(90000; 100000; 110000)	(1154000; 1236000; 1318000)
3	(90000; 100000; 110000)	(3114000; 3334000; 3564000)
4	-	(4722000; 5108000; 5494000)
5	-	(4785000; 5012000; 5229000)
Toplam	(900000; 1000000; 1100000)	

Çizelge 7.2, 5 yıllık eşit paylı amortisman yöntemi ve %25 gelir vergisi oranı kullanılarak oluşturulmuştur.

Çizelge 7.2 : Projenin amortisman ödemeleri ve amortisman ve vergi sonrası karı.

Yıl	Amortisman ($\widetilde{DP}_l; \widetilde{DP}_m; \widetilde{DP}_r$)	Amortisman ve vergi sonrası kar ($\widetilde{P}_l; \widetilde{P}_m; \widetilde{P}_r$)
1	(90000; 100000; 110000)	(-227250; -59250; 101250)
2	(144000; 160000; 176000)	(733500; 807000; 880500)
3	(162000; 180000; 198000)	(2187000; 2365500; 2551500)
4	(180000; 200000; 220000)	(3376500; 3681000; 3985500)
5	(180000; 200000; 220000)	(3423750; 3609000; 3786750)
Toplam	(756000; 840000; 924000)	(9493500; 10403250; 11305500)

Projenin toplam amortisman payı (756000; 840000; 924000)\$ olarak hesaplanmıştır. Veriler Denklem (6.20)'ye uygulandığında aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$\widetilde{AARR} = \frac{(9493500; 10403250; 11305500)}{5(756000; 840000; 924000)}$$

$$\widetilde{AARR} = (1,9861; 2,4769; 3,1231)$$

Proje yıllık yaklaşık 2,5 para birimi net kar getirecek ve proje şirket karlılığını arttıracaktır. Her şirketin hedefi karı arttırmak olduğundan proje kabul edilmelidir. Ayrıca şimdiki değer analizi ile projenin ne kadar nakit getirisi olacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Bulanık basit getiri oranı hesaplanan projede firma $M_i, i = 1, \dots, 5$ ile gösterilen beş farklı müşteriye sahiptir. Demirbaşların müşteriler ve ödeme koşulları gibi faktörlerden etkilenmediği kabul edilmektedir. Farklı müşterilere ait satış değerleri (projenin kazançları) Çizelge 7.3'te üçgen bulanık sayılar ile belirtilmektedir. Müşterilere tanınan ödeme opsiyonları nedeniyle satış değerleri o döneme ait nakit akışlarını vermemektedir. Müşterilerin alacaklılar hesabı, M_1 ve M_4 müşterileri için son 2 aylık satış değerine, M_2 müşterisi için son 1 aylık satış değerine, M_3 ve M_5 müşterileri için son 3 aylık satış değerine eşittir. Proje envanteri iki aylık satışlara eşit olacak şekilde planlanmaktadır. Projede yatırım yapılan makinelerin 5 yıl sonunda hiçbir hurda değeri olmayacaktır. Faiz oranının $\tilde{i} = (8; 10; 12)\%$ olarak kabul edilmesi kararlaştırılmıştır.

Çizelge 7.3 : Her bir müşteri için satış değerleri.

Yıl	Müşteri M_1 (x1000\$)	Müşteri M_2 (x1000\$)	Müşteri M_3 (x1000\$)
1	(950; 1028; 1116)	(500; 520; 540)	(1104; 1200; 1296)
2	(1023; 1087; 1251)	(622; 654; 686)	(1840; 2000; 2160)
3	(1110; 1190; 1270)	(734; 772; 810)	(2208; 2400; 2592)
4	(1230; 1310; 1390)	(760; 790; 820)	(2208; 2400; 2592)
5	(1400; 1460; 1520)	(850; 910; 970)	(2208; 2400; 2592)

Yıl	Müşteri M_4 (x1000\$)	Müşteri M_5 (x1000\$)
1	(780; 830; 880)	(1090; 1130; 1170)
2	(910; 960; 1050)	(1220; 1270; 1320)
3	(1100; 1230; 1350)	(1760; 1850; 1940)
4	(1150; 1250; 1350)	(1935; 2046; 2157)
5	(1200; 1330; 1460)	(2100; 2330; 2560)

Çizelge 7.4 amortisman öncesi karı vermektedir. Amortisman demirbaşlara ait olduğundan, hesaplamalarda müşteri faktörlerine dağıtılmayacaktır.

Çizelge 7.4 : Her bir müşteri için amortisman öncesi kar.

Yıl	Müşteri M_1 (x1000\$)	Müşteri M_2 (x1000\$)	Müşteri M_3 (x1000\$)
1	(-30; 10; 40)	(-35; -10; 15)	(-48; 5; 58)
2	(206; 219; 232)	(135; 150; 165)	(313; 330; 347)
3	(590; 622; 654)	(340; 367; 394)	(836; 880; 924)
4	(921; 992; 1063)	(560; 600; 640)	(1235; 1300; 1365)
5	(935; 987; 1039)	(580; 610; 630)	(1130; 1190; 1250)

Yıl	Müşteri M_4 (x1000\$)	Müşteri M_5 (x1000\$)
1	(-35; 4; 43)	(-45; 12; 69)
2	(200; 210; 220)	(300; 327; 354)
3	(550; 590; 640)	(798; 875; 952)
4	(885; 930; 975)	(1121; 1286; 1451)
5	(900; 950; 1000)	(1240; 1275; 1310)

Yukarıda verilen ödeme ve envanter durumları her yıl için alacakların, borçların ve envanterin değişimini belirtmektedir. Tüm bu veriler ile nakit akışlarının

hesaplanması mümkündür. İlk yatırım hariç tutularak projenin nakit akışları Denklem (7.1) kullanılarak hesaplanabilir:

$$\tilde{F}_t = \tilde{K}_t + \Delta\tilde{B}_t - \Delta\tilde{A}_t - \Delta\tilde{E}_t \quad (7.1)$$

Denklem (7.1)'de $\tilde{F}_t$; t zamanında ait projenin toplam nakit akışını, $\tilde{K}_t$; t zamanına ait amortisman öncesi karı, $\Delta\tilde{B}_t$; t zamanındaki tedarikçi borçlarındaki değişimi, $\Delta\tilde{A}_t$; t zamanındaki müşteri alacaklarındaki değişimi ve $\Delta\tilde{E}_t$; t zamanındaki envanterdeki değişimi ifade etmektedir. Denklem (7.1)'de verilen kelimelerin açılımları Denklem (7.2)-(7.4) arasında verilmektedir. $\tilde{K}M_{it}$; t zamanındaki M_i müşterisinin satışlarından oluşan amortisman öncesi karı, $\tilde{B}T_{it}$; t zamanındaki T_i tedarikçisine olan borçları, $\tilde{A}M_{it}$; t zamanındaki M_i müşterisine ait alacakları ifade etmektedir.

$$\tilde{K}_t = \tilde{K}M_{1t} + \tilde{K}M_{2t} + \tilde{K}M_{3t} + \tilde{K}M_{4t} + \tilde{K}M_{5t} \quad (7.2)$$

$$\Delta\tilde{B}_t = \tilde{B}T_{it} = \tilde{B}T_{1t} - \tilde{B}T_{1t-1} + \tilde{B}T_{2t} - \tilde{B}T_{2t-1} + \tilde{B}T_{3t} - \tilde{B}T_{3t-1} \quad (7.3)$$

$$\begin{aligned} \Delta\tilde{A}_t = & \tilde{A}M_{1t} - \tilde{A}M_{1t-1} + \tilde{A}M_{2t} - \tilde{A}M_{2t-1} + \tilde{A}M_{3t} - \\ & \tilde{A}M_{3t-1} + \tilde{A}M_{4t} - \tilde{A}M_{4t-1} + \tilde{A}M_{5t} - \tilde{A}M_{5t-1} \end{aligned} \quad (7.4)$$

$\tilde{C}_t$; t zamanındaki yeni alınan demirbaşlar için yapılan ödemeyi ifade etmek üzere; yatırım maliyetlerinin hesaba katıldığı nakit akışları Denklem (7.5) ve (7.6) ile elde edilir:

$$\tilde{F}_t = \tilde{K}_t + \Delta\tilde{B}_t - \Delta\tilde{A}_t - \Delta\tilde{E}_t - \tilde{C}_t \quad (7.5)$$

$$\sum_{i=1}^5 \tilde{K}M_{it} + \sum_{i=1}^3 (\tilde{B}T_{it} - \tilde{B}T_{it-1}) - \sum_{i=1}^5 (\tilde{A}M_{it} - \tilde{A}M_{it-1}) - \Delta\tilde{E}_t - \tilde{C}_t \quad (7.6)$$

Denklem (7.6) ile projenin nakit akışları hesaplanarak Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.5 : Projenin net yıllık nakit akışları.

Yıl	Toplam Nakit Akışı
0	(-550000; -500000; -450000)
1	(-1476333; -1082000; -699333)
2	(357333; 825000; 1277667)
3	(2262333; 2977000; 3718333)
4	(4121000; 5053833; 5986667)
5	(4060833; 4929667; 5788500)
$\widetilde{N\$D}$	(4950189; 7947617; 11289530)

Projenin bulanık net şimdiki değeri Çizelge 7.5'te belirtildiği üzere Denklem (5.1) kullanılarak $\widetilde{N\$D} = (4950189; 7947617; 11289530)\$$ olarak hesaplanmıştır. Ancak projenin bulanık net şimdiki değeri, projenin farklı faktörlere ait belirsizliklerden nasıl etkilendiği bilgisini vermemektedir.

Projenin değerindeki değişimin her bir müşteriden nasıl etkilendiğini bulmak için müşterilerin durumunu faktörler olarak düşünürüz. $\widetilde{F\mathcal{M}}_{i_t}$ ile ifade edilen her bir M_i müşterisine ait t zaman dilimine ait nakit akışları; $\widetilde{K\mathcal{M}}_{i_t}$; M_i müşterisine ait t zaman dilimindeki amortisman öncesi karı, $\widetilde{\Delta BT\mathcal{M}}_{i_t}$; M_i müşterisi için üretilen ürünlerin tedarikçilerine t zaman dilimindeki borçlarındaki değişimi ve $\widetilde{\Delta A\mathcal{M}}_{i_t}$; M_i müşterisine ait t zaman dilimindeki alacakların değişimini ifade etmek üzere Denklem (7.7) ile hesaplanır:

$$\widetilde{F\mathcal{M}}_{i_t} = \widetilde{K\mathcal{M}}_{i_t} + \widetilde{\Delta BT\mathcal{M}}_{i_t} - \widetilde{\Delta A\mathcal{M}}_{i_t} \quad (7.7)$$

Her bir müşteri için toplam nakit akışlarının şimdiki değeri Denklem (7.8) ile hesaplanır:

$$\widetilde{\$D}(M_i) = \sum_{t=1}^n \frac{\sum_{i=1}^m \widetilde{F\mathcal{M}}_{i_t}}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{\sum_{i=1}^m (\widetilde{K\mathcal{M}}_{i_t} + \widetilde{\Delta BT\mathcal{M}}_{i_t} - \widetilde{\Delta A\mathcal{M}}_{i_t})}{(1+i)^t} \quad (7.8)$$

Çizelge 7.6'da her bir müşteriye ait nakit akışları verilmektedir:

Çizelge 7.6 : Her bir müşteriye ait nakit akışları.

YIL	1 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M1_l}, F_{M1_m}, F_{M1_r}$)	2 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M2_l}, F_{M2_m}, F_{M2_r}$)
1	(-243667; -161333; -90667)	(-86667; -53333; -20000)
2	(90167; 209167; 313167)	(102167; 138833; 175500)
3	(484167; 604833; 742167)	(301000; 357167; 413333)
4	(821000; 972000; 1123000)	(530167; 598500; 666833)
5	(840000; 962000; 1084000)	(532500; 600000; 657500)
$\widetilde{SD}$	(1197430; 1741834; 2336886)	(857397; 1115934; 1397688)
YIL	3 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M3_l}, F_{M3_m}, F_{M3_r}$)	4 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M4_l}, F_{M4_m}, F_{M4_r}$)
1	(-496000; -395000; -294000)	(-60000; 4000; 68000)
2	(-81667; 63333; 208333)	(140000; 210000; 280000)
3	(526667; 746667; 966667)	(452500; 590000; 737500)
4	(1043000; 1300000; 1557000)	(772500; 930000; 1087500)
5	(938000; 1190000; 1442000)	(785000; 950000; 1115000)
$\widetilde{SD}$	(1062001; 1881046; 2799604)	(1316484; 1845544; 2446664)
YIL	5 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M5_l}, F_{M5_m}, F_{M5_r}$)	
1	(-260000; -176333; -92667)	
2	(216667; 303667; 390667)	
3	(608000; 778333; 948667)	
4	(954333; 1253333; 1552333)	
5	(965333; 1227667; 1490000)	
$\widetilde{SD}$	(1527597; 2293762; 3157294)	

Çizelge 7.7’de her bir müşteriye ait nakit akışlarının şimdiki değerleri verilmektedir:

Çizelge 7.7 : Müşterilere ait nakit akışlarının şimdiki değerleri.

Yıl	Müşteri M_1 (x1000\$)	Müşteri M_2 (x1000\$)
1	(-217560; -146667; -83951)	(-77381; -48485; -18519)
2	(71880; 172865; 268490)	(81447; 114738; 150463)
3	(344620; 454420; 589156)	(214246; 268345; 328117)
4	(521760; 663889; 825439)	(336931; 408784; 490142)
5	(476639; 597326; 737752)	(302155; 372553; 447483)
Yıl	Müşteri M_3 (x1000\$)	Müşteri M_4 (x1000\$)
1	(-442857; -359091; -272222)	(-53571; 3636; 62963)
2	(-65104; 52342; 178612)	(111607; 173554; 240055)
3	(374871; 560982; 767371)	(322081; 443276; 585451)
4	(662845; 887917; 1144441)	(490938; 635203; 799345)
5	(532246; 738896; 981401)	(445430; 589875; 758850)
Yıl	Müşteri M_5 (x1000\$)	
1	(-232143; -160303; -85802)	
2	(172725; 250964; 334934)	
3	(432762; 584773; 753082)	
4	(606496; 856044; 1141011)	
5	(547756; 762284; 1014069)	

Her bir müşterinin projenin değeri üzerine etkisini anlamak için olabilirlik ve gereklilik indisleri kullanılarak müşterilere ait nakit akışlarının şimdiki değerleri arasındaki ilişkiler hesaplanarak Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Bulanık verilerin sıralanmasında karar verici tutumu dikkate alındığında iki durum ortaya çıkabilir. Karar verici kötümser tutum içerisindeyse, nakit akışlarının daha düşük değerler almasını beklemektedir veya iyimser tutum içerisindeyse, nakit akışlarının daha yüksek değerler almasını beklemektedir. Olabilirlik ve gereklilik indislerinin 0,7 değerinden yüksek değerler aldığı ilgili ilişkinin gerçekleştiğini kabul edilecektir.

Çizelge 7.8 : Müşterilerin sağladığı nakit akışlarının şimdiki değerlerinin sıralamalarına ait olabilirlik ve gereklilik indisleri.

Durumlar	İndisler	
	$\Pi_M([N, +\infty))$	$\mathcal{N}_M([N, +\infty))$
$\widetilde{SD}_{M1} > \widetilde{SD}_{M2}$	1	1
$\widetilde{SD}_{M2} > \widetilde{SD}_{M1}$	0	0
$\widetilde{SD}_{M1} > \widetilde{SD}_{M3}$	0,3	0,5
$\widetilde{SD}_{M3} > \widetilde{SD}_{M1}$	0,7	0,5
$\widetilde{SD}_{M1} > \widetilde{SD}_{M4}$	0,42	0,4
$\widetilde{SD}_{M4} > \widetilde{SD}_{M1}$	0,58	0,6
$\widetilde{SD}_{M1} > \widetilde{SD}_{M5}$	0,05	0,16
$\widetilde{SD}_{M5} > \widetilde{SD}_{M1}$	0,95	0,84
$\widetilde{SD}_{M2} > \widetilde{SD}_{M3}$	0	0,05
$\widetilde{SD}_{M3} > \widetilde{SD}_{M2}$	1	0,95
$\widetilde{SD}_{M2} > \widetilde{SD}_{M4}$	0	0
$\widetilde{SD}_{M4} > \widetilde{SD}_{M2}$	1	1
$\widetilde{SD}_{M2} > \widetilde{SD}_{M5}$	0	0
$\widetilde{SD}_{M5} > \widetilde{SD}_{M2}$	1	1
$\widetilde{SD}_{M3} > \widetilde{SD}_{M4}$	0,62	0,42
$\widetilde{SD}_{M4} > \widetilde{SD}_{M3}$	0,38	0,58
$\widetilde{SD}_{M3} > \widetilde{SD}_{M5}$	0,28	0,23
$\widetilde{SD}_{M5} > \widetilde{SD}_{M3}$	0,72	0,77
$\widetilde{SD}_{M4} > \widetilde{SD}_{M5}$	0,1	0,24
$\widetilde{SD}_{M5} > \widetilde{SD}_{M4}$	0,9	0,76

İyimser durumda olabilirlik ölçütü kullanılarak sıralama $\widetilde{SD}_{M5} > \widetilde{SD}_{M3} > \widetilde{SD}_{M4} > \widetilde{SD}_{M1} > \widetilde{SD}_{M2}$ şeklinde bulunur ve kötümser durumda gereklilik ölçütü kullanılarak sıralama $\widetilde{SD}_{M5} > \widetilde{SD}_{M4} > \widetilde{SD}_{M3} > \widetilde{SD}_{M1} > \widetilde{SD}_{M2}$ şeklinde bulunur. İki durumda da M_5 projenin değerini en çok etkileyen nakit akışını vermektedir. Bu durumda M_5 müşterisine ait alacaklar için yeni düzenlemeler yapılarak projenin değerindeki belirsizlik daha aza indirilebilir.

Projeye ait nakit akışlarını etkileyen faktörlerin projenin değerine etkisi global önem değerleri ile hesaplanarak da belirlenebilir. Faktörlerin global önem değerleri

hesaplandıktan sonra 0,3 katsayısı kullanılarak ağırlıklı sıralama yöntemi ile öncelik değerleri bulunmuş ve Çizelge 7.9’da gösterilmiştir:

Çizelge 7.9 : Faktörlerin nakit akışlarının GI ve öncelik değerleri.

Yıl	Yıllara ait toplam nakit akışlarının $\widetilde{N\$D}$ ’i için GI değerleri ($\times 10^{-3}$)	Öncelik değeri	Önem Sırası	Müşteri 1’e ait nakit akışlarının $\widetilde{N\$D}$ ’i için GI değerleri ($\times 10^{-3}$)	Öncelik değeri	Önem Sırası
0	(0,25; 0,25; 0,25)	0,0325	6			
1	(11,98; 12,43; 12,88)	1,6294	5	(0,46; 0,48; 0,50)	0,0630	5
2	(13,39; 14,39; 15,49)	1,9070	4	(0,78; 0,84; 0,91)	0,1116	3
3	(26,73; 29,78; 33,24)	3,9889	2	(0,84; 0,93; 1,04)	0,1251	2
4	(34,98; 40,40; 46,79)	5,4760	1	(0,92; 1,06; 1,23)	0,1437	1
5	(23,91; 28,64; 34,40)	3,9303	3	(0,48; 0,57; 0,69)	0,0785	4
Yıl	Müşteri 2’ye ait nakit akışlarının $\widetilde{N\$D}$ ’i için GI değerleri ($\times 10^{-3}$)	Öncelik değeri	Önem Sırası	Müşteri 3’e ait nakit akışlarının $\widetilde{N\$D}$ ’i için GI değerleri ($\times 10^{-3}$)	Öncelik değeri	Önem Sırası
1	(0,09; 0,09; 0,09)	0,0117	5	(0,81; 0,84; 0,87)	0,0630	5
2	(0,08; 0,09; 0,10)	0,0120	4	(1,33; 1,43; 1,54)	0,1116	3
3	(0,16; 0,18; 0,20)	0,0240	2	(2,44; 2,72; 3,04)	0,1251	2
4	(0,19; 0,22; 0,25)	0,0295	1	(2,65; 3,07; 3,55)	0,1437	1
5	(0,12; 0,15; 0,18)	0,0204	3	(2,03; 2,44; 2,93)	0,0785	4
Yıl	Müşteri 4’e ait nakit akışlarının $\widetilde{N\$D}$ ’i için GI değerleri ($\times 10^{-3}$)	Öncelik değeri	Önem Sırası	Müşteri 5’e ait nakit akışlarının $\widetilde{N\$D}$ ’i için GI değerleri ($\times 10^{-3}$)	Öncelik değeri	Önem sırası
1	(0,32; 0,34; 0,35)	0,0442	4	(0,55; 0,58; 0,59)	0,0750	5
2	(0,31; 0,33; 0,36)	0,0441	5	(0,48; 0,51; 0,55)	0,0678	4
3	(1,02; 1,14; 1,27)	0,1524	2	(1,46; 1,63; 1,82)	0,2183	3
4	(0,99; 1,15; 1,33)	0,1556	1	(3,59; 4,15; 4,81)	0,5626	1
5	(0,87; 1,04; 1,25)	0,1428	3	(2,20; 2,64; 3,17)	0,3621	2

Genellikle karar vericiler bulanık net şimdiki değer belirsizliğini azaltmak istemektedir. Bulanık net şimdiki değer daha az belirsiz olması demek $\widetilde{N\$D}$ ’ye ait daha küçük varyans değerleri anlamını taşır. Bu amaçla $\widetilde{N\$D}$ değişimlerine en büyük etkisi olan nakit akışı daha önemli kabul edilir. Karar vericilerin bu nakit akışına diğerlerinden daha fazla dikkat etmesi gerekmektedir.

Projeye ait toplam nakit akışları incelendiğinde 4. sene gerçekleşen nakit akışlarının en yüksek global öneme sahip olduğu görülmektedir. Mümkünse 4. seneye ait nakit akışlarının varyansını küçültecek stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanması gerekir. Mümkün değilse 3. sene gerçekleşen nakit akışlarının varyansını küçültecek stratejilere öncelik tanınmalıdır. Nakit akışları kaynaklarına göre incelenirse, öncelikle tüm müşteri için en yüksek global öneme sahip olan 4. seneye ait nakit akışlarının varyansını küçültecek stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanması gerekir. Aksi durumda 1, 2, 3 ve 4 numaralı müşterilere ait nakit akışlarından 3. sene gerçekleşen, 5 numaralı müşteriye ait nakit akışlarından 5. sene gerçekleşen nakit akışlarının varyansını küçültecek stratejiler uygulanmalıdır.

Nakit akışları için diğer bir yorumlama da her bir yıl için projenin değerini etkileyen faktörlere (bu projede müşterilere) ait nakit akışlarının global önemlerinin incelenmesiyle yapılabilir. Her bir yıl için müşterilerin net şimdiki değer üzerindeki global önem değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.10'da verilmiştir.

Çizelge 7.10 : Faktörlerin nakit akışlarının yıllara ait GI ve öncelik değerleri.

Faktörler	Faktörlerin 1. Yıla ait GI değerleri (x10-2)	Öncelik değeri	Önem Sırası	Faktörlerin 2. Yıla ait GI değerleri (x10-2)	Öncelik değeri	Önem Sırası
M1	(0,046;0,048;0,05)	0,063	3	(0,079;0,084;0,091)	0,112	2
M2	(0,009;0,009;0,009)	0,012	5	(0,008;0,009;0,01)	0,012	5
M3	(0,081;0,084;0,087)	0,110	1	(0,133;0,143;0,154)	0,189	1
M4	(0,03;0,03;0,03)	0,044	4	(0,031;0,033;0,036)	0,044	4
M5	(0,055;0,058;0,06)	0,076	2	(0,048;0,051;0,055)	0,067	3
Faktörler	Faktörlerin 3. Yıla ait GI değerleri (x10-2)	Öncelik değeri	Önem Sırası	Faktörlerin 4. Yıla ait GI değerleri (x10-2)	Öncelik değeri	Önem Sırası
M1	(0,084;0,093;0,104)	0,1249	4	(0,092;0,106;0,123)	0,144	4
M2	(0,016;0,018;0,020)	0,0240	5	(0,019;0,022;0,025)	0,029	5
M3	(0,244;0,272;0,304)	0,3645	1	(0,265;0,307;0,355)	0,416	2
M4	(0,102;0,114;0,127)	0,1524	3	(0,099;0,115;0,133)	0,156	3
M5	(0,146;0,163;0,182)	0,2183	2	(0,359;0,415;0,481)	0,563	1
Faktörler	Faktörlerin 5. Yıla ait GI değerleri (x10-2)	Öncelik değeri	Önem Sırası			
M1	(0,048;0,057;0,069)	0,078	4			
M2	(0,012;0,015;0,018)	0,020	5			
M3	(0,203;0,244;0,293)	0,335	2			
M4	(0,087;0,104;0,125)	0,143	3			
M5	(0,220;0,264;0,317)	0,362	1			

Firmanın her yıl için farklı stratejileri olduğunu kabul edersek, ilk üç yıl, karar verici 3 numaralı müşteriye ait nakit akışlarının varyanslarını düşürecek stratejileri

uygulanmalıdır. Bu stratejilerin uygulanamaz olması durumunda 5 numaralı müşteriye ait nakit akışlarının varyanslarını düşürecek stratejilerin uygulanması gerekmektedir. Dördüncü ve beşinci yıllarda 5 numaralı müşteriye ait nakit akışlarının varyansını düşürecek stratejilere öncelik verilmeli, uygulanamamaları durumunda 3 numaralı müşteriye ait nakit akışlarının varyansını düşürecek stratejiler uygulanmalıdır.

7.2 Projeye Ait Verilerin Üçgen Aralık Tip 2 Bulanık Sayılarla Belirlenmesi Durumu

Bu bölümde aynı yatırım projesinde verilerin yine aynı uzmanlar tarafından üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak belirlendiği durum için analiz yapılacaktır. Projeye ait varlıklar için gerekli ödemeler ve amortisman öncesi karlar üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak Çizelge 7.11’de verilmektedir. Amortisman yöntemi olarak 5 yıl süreli eşit paylı amortisman yöntemi kullanılacaktır. Vergi oranı %25 olarak belirlenmiştir. Faiz oranının $\tilde{i} = ((8; 10; 12); 1), ((9; 10; 11); 0,8))$ % olarak kabul edilmesi kararlaştırılmıştır.

Çizelge 7.11 : Projeye ait veriler.

Yıl	Varlıklar için ödemeler	Amortisman öncesi kar
0	(((450000; 500000; 550000);1), ((460000; 500000; 540000);0,8))	-
1	(((270000; 300000; 330000);1), ((275000; 300000; 325000);0,8))	(((193000; 21000; 225000);1), ((-139500; 21000; 174000);0,8))
2	(((90000,100000, 110000);1), ((92000,100000, 108000);0,8))	(((1154000; 1236000; 1318000);1), ((1174500; 1236000; 1297500);0,8))
3	(((90000; 100000; 110000);1), ((92000; 100000; 108000);0,8))	(((3114000; 3334000; 3564000);1), ((3169000; 3334000; 3506500);0,8))
4	-	(((4722000; 5108000; 5494000);1), ((4818500; 5108000; 5397500);0,8))
5	-	(((4785000; 5012000; 5229000);1), ((4841750; 5012000; 5174750);0,8))
Toplam	(((900000; 1000000; 1100000);1), ((919000; 1000000; 1081000);0,8))	

Çizelge 7.12, 5 yıllık doğrusal amortisman yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.

Çizelge 7.12 : Projenin amortisman ödemeleri ve amortisman ve vergi sonrası karı.

Yıl	Amortisman	Amortisman ve vergi sonrası kar
1	$((90000; 100000; 110000); 1), ((92000; 100000; 108000); 0,8))$	$((-227250; -59250; 101250); 1), ((-185625; -59250; 61500); 0,8))$
2	$((144000; 160000; 176000); 1), ((147000; 160000; 173000); 0,8))$	$((733500; 807000; 880500); 1), ((751125; 807000; 862875); 0,8))$
3	$((162000; 180000; 198000); 1), ((165400; 180000; 194600); 0,8))$	$((2187000; 2365500; 2551500); 1), ((2230800; 2365500; 2505825); 0,8))$
4	$((180000; 200000; 220000); 1), ((183800; 200000; 216200); 0,8))$	$((3376500; 3681000; 3985500); 1), ((3451725; 3681000; 3910275); 0,8))$
5	$((180000; 200000; 220000); 1), ((183800; 200000; 216200); 0,8))$	$((3423750; 3609000; 3786750); 1), ((3469163; 3609000; 3743213); 0,8))$
Toplam	$((756000; 840000; 924000); 1), ((772000; 840000; 908000); 0,8))$	$((9493500; 10403250; 11305500); 1), ((9717188; 10403250; 11083690); 0,8))$

Projenin toplam amortisman payı $((756000; 840000; 924000); 1), ((772000; 840000; 908000); 0,8))$ \$ olarak hesaplanmıştır. Veriler Denklem (6.56)'ya uygulandığında aşağıdaki sonuç elde edilir:

$\widetilde{AARR}$

$$= \frac{((9493500; 10403250; 11305500); 1), ((9717188; 10403250; 11083690); 0,8)}{5((724000; 840000; 956000); 1), ((746000; 840000; 934000); 0,8)}$$

$$\widetilde{AARR} = ((1,9861; 2,4769; 3,1231); 1), ((2,0807; 2,4769; 2,9715); 0,8)$$

Proje yıllık yaklaşık 2,5 para birimi net kar getirecek ve proje şirket karlılığını arttıracaktır. Her şirketin hedefi karı arttırmak olduğundan proje kabul edilmelidir. Ayrıca şimdiki değer analizi ile projenin ne kadar nakit getirisi olacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Farklı müşterilere ait satış değerleri (projenin kazançları) Çizelge 7.13'te üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar ile belirtilmektedir.

Çizelge 7.13 : Her bir müşteri için satış değerleri.

Yıl	Müşteri M_1 (x1000\$)	Müşteri M_2 (x1000\$)	Müşteri M_3 (x1000\$)
1	(((950; 1028; 1116);1); ((969; 1028; 1094);0,8))	(((500; 520; 540);1); ((505; 520; 535);0,8))	(((1104; 1200; 1296);1); ((1128; 1200; 1272);0,8))
2	(((1023; 1087; 1251);1); ((1039; 1087; 1210);0,8))	(((622; 654; 686);1); ((630; 654; 678);0,8))	(((1840; 2000; 2160);1); ((1880; 2000; 2120);0,8))
3	(((1110; 1190; 1270);1); ((1130; 1190; 1250);0,8))	(((734; 772; 810);1); ((743; 772; 800);0,8))	(((2208; 2400; 2592);1); ((2256; 2400; 2544);0,8))
4	(((1230; 1310; 1390);1); ((1250; 1310; 1370);0,8))	(((760; 790; 820);1); ((767; 790; 812);0,8))	(((2208; 2400; 2592);1); ((2256; 2400; 2544);0,8))
5	(((1400; 1460; 1520);1); ((1415; 1460; 1505);0,8))	(((850; 910; 970);1); ((865; 910; 955);0,8))	(((2208; 2400; 2592);1); ((2256; 2400; 2544);0,8))
Yıl	Müşteri M_4 (x1000\$)	Müşteri M_5 (x1000\$)	
1	(((780; 830; 880);1); ((792; 830; 867);0,8))	(((1090; 1130; 1170);1); ((1100; 1130; 1160);0,8))	
2	(((910; 960; 1050);1); ((922; 960; 1027);0,8))	(((1220; 1270; 1320);1); ((1232; 1270; 1307);0,8))	
3	(((1100; 1230; 1350);1); ((1132; 1230; 1320);0,8))	(((1760; 1850; 1940);1); ((1782; 1850; 1917);0,8))	
4	(((1150; 1250; 1350);1); ((1175; 1250; 1325);0,8))	(((1935; 2046; 2157);1); ((1962; 2046; 2129);0,8))	
5	(((1200; 1330; 1460);1); ((1232; 1330; 1427);0,8))	(((2100; 2330; 2560);1); ((2157; 2330; 2502);0,8))	

Çizelge 7.14 amortisman öncesi karı vermektedir.

Çizelge 7.14 : Her bir müşteri için amortisman öncesi kar.

Yıl	Müşteri M_1 (x1000\$)	Müşteri M_2 (x1000\$)	Müşteri M_3 (x1000\$)
1	$(((-30;10;40);1), ((-20;10;32,5);0,8))$	$(((-35;-10;15);1), ((-28,75;-10;8,75);0,8))$	$(((-48;5;58);1), ((-34,75;5;44,75);0,8))$
2	$((206;219;232);1), ((209,25;219;229,75);0,8))$	$((135;150;165);1), ((138,75;150;161,25);0,8))$	$((313;330;347);1), ((317,25;330;342,75);0,8))$
3	$((590;622;654);1), ((598;622;646);0,8))$	$((340;367;394);1), ((346,75;367;387,25);0,8))$	$((836;880;924);1), ((847;880;913);0,8))$
4	$((921;992;1063);1), ((938,75;992;1045,25);0,8))$	$((560;600;640);1), ((570;600;630);0,8))$	$((1235;1300;1365);1), ((1251,25;1300;1348,75);0,8))$
5	$((935;987;1039);1), ((948;987;1026);0,8))$	$((580;610;630);1), ((587,5;610;625);0,8))$	$((1130;1190;1250);1), ((1145;1190;1235);0,8))$
Yıl	Müşteri M_4 (x1000\$)	Müşteri M_5 (x1000\$)	
1	$(((-35;4;43);1), ((-25,25;4;33,25);0,8))$	$(((-45;12;69);1), ((-30,75;12;54,75);0,8))$	
2	$((200;210;220);1), ((202,5;210;217,5);0,8))$	$((300;327;354);1), ((306,75;327;347,25);0,8))$	
3	$((550;590;640);1), ((560;590;627,5);0,8))$	$((798;875;952);1), ((817,25;875;932,75);0,8))$	
4	$((885;930;975);1), ((896,25;930;963,75);0,8))$	$((1121;1286;1451);1), ((1162,25;1286;1409,75);0,8))$	
5	$((900;950;1000);1), ((912,5;950;987,5);0,8))$	$((1240;1275;1310);1), ((1248,75;1275;1301,25);0,8))$	

Denklem (7.6) ile projenin nakit akışları hesaplanarak Çizelge 7.15’te verilmiştir.

Çizelge 7.15 : Projenin net yıllık nakit akışları.

Yıl	Toplam Nakit Akışı
0	$(((-550000;-500000;-450000);1), ((-525000;-500000;-475000);0,8))$
1	$(((-1476333;-1082000;-699333);1), ((-1370333;-1082000;-802333);0,8))$
2	$((357333;825000;1277667);1), ((476667;825000;1162167);0,8))$
3	$((2262333;2977000;3718333);1), ((2443417;2977000;3530667);0,8))$
4	$((4121000;5053833;5986667);1), ((4353917;5053833;5753750);0,8))$
5	$((4060833;4929667;5788500);1), ((4277833;4929667;5573917);0,8))$
$\widetilde{N\$D}$	$((4950189;7947617;11289530);1), ((5565010;7947617;10603918);0,8))$

Projenin bulanık net şimdiki değeri Çizelge 7.15’te belirtildiği üzere Denklem (6.43) kullanılarak $\widetilde{N\$D} = (((4950189; 7947617; 11289530); 1), ((5565010; 7947617; 10603918); 0,8))\$$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.16 : Her bir müşteriye ait nakit akışları.

YIL	1 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M1_l}, F_{M1_m}, F_{M1_r}$)	2 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M2_l}, F_{M2_m}, F_{M2_r}$)
1	(((-243667; -161333;-90667);1), ((-223167; -161333; -108167);0,8))	(((-86667;-53333;-20000);1), ((-78333;-53333;-28333);0,8))
2	((90167; 209167; 313167);1), ((119750; 209167; 287250);0,8))	((102167;138833;175500);1), ((111333;138833;166333);0,8))
3	((484167; 604833;742167);1), ((514333;604833;707833);0,8))	((301000;357167;413333);1), ((315083;357167;399333);0,8))
4	((821000;972000;1123000);1), ((858750;972000;1085250);0,8))	((530167;598500;666833);1), ((547250;598500;649750);0,8))
5	((840000;962000;1084000);1), ((870500;962000;1053500);0,8))	((532500;600000;657500);1), ((549333;600000;643083);0,8))
$\widetilde{\$D}$	((1197430;1741834;2336886);1), ((1301996;1741834;222703);0,8))	((857397,1115934,1397688);1), ((902578,1115934,1348630);0,8))
YIL	3 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M3_l}, F_{M3_m}, F_{M3_r}$)	4 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M4_l}, F_{M4_m}, F_{M4_r}$)
1	(((-496000;-395000;-294000); 1), ((-470750; -395000; -319250); 0,8))	(((-60000;4000; 68000); 1), ((-44000;4000;52000); 0,8))
2	(((-81667; 63333;208333); 1), ((-45417;63333;172083); 0,8))	((140000;210000;280000); 1), ((157500;210000;262500); 0,8))
3	((526667;746667;966667); 1), ((581667;746667;911667); 0,8))	((452500;590000; 737500); 1), ((486750;590000;700750); 0,8))
4	((1043000;1300000;1557000); 1), ((1107250;1300000;1492750); 0,8))	((772500;930000;1087500); 1), ((811750; 930000;1048250); 0,8))
5	((938000;1190000;1442000); 1), ((1001000;1190000;1379000); 0,8))	((785000;950000;1115000); 1), ((826250;950000;1073750); 0,8))
$\widetilde{\$D}$	((1062001;1881046;2799604); 1), ((1229172;1881046;2611382); 0,8))	((1316484;1845544;2446664); 1), ((1417450;1845543;2330749); 0,8))
YIL	5 Numaralı Müşteriye Ait Nakit Akışları ($F_{M5_l}, F_{M5_m}, F_{M5_r}$)	
1	(((-260000; -176333;-92667);1), ((-239083; -176333;-113583);0,8))	
2	((216667; 303667;390667);1), ((238500; 303667;368000);0,8))	
3	((608000;778333;948667);1), ((650583;778333;906083);0,8))	
4	((954333;1253333;1552333);1), ((1028917;1253333;1477750);0,8))	
5	((965333;1227667;1490000);1), ((1030750;1227667;1424583);0,8))	
$\widetilde{\$D}$	((1527597;2293762;3157294);1), ((1678506;2293762;2986204);0,8))	

Projenin bulanık net şimdiki değerinin, farklı faktörlere ait belirsizliklerden nasıl etkilendiğini bulmak için müşterilerin durumu faktörler olarak düşünülür. Her bir müşteri için toplam nakit akışlarının şimdiki değeri Denklem (6.31) ile hesaplanmış ve Çizelge 7.16’da verilmiştir.

Her bir müşterinin projenin değeri üzerine etkisini anlamak için tip indirgeme indisleri kullanılarak müşterilere ait nakit akışlarının şimdiki değerleri arasındaki ilişkiler hesaplanarak Çizelge 7.17’de verilmiştir. Ağırlıklı ortalama tip indirgeme indisinde $w_1 = 0,4$ ve $w_2 = 0,6$ olarak kabul edilmiştir

Çizelge 7.17 : Müşterilerin sağladığı nakit akışlarının şimdiki değerlerinin tip indirgeme indisleri.

	İndisler			
	$TI_i(\tilde{A})$	$TI_k(\tilde{A})$	$TI_g(\tilde{A})$	$TI_{ao}(\tilde{A})$
$\tilde{SD}_{M1}$	[2222703; 2336886]	[1197430; 1301996]	[1197430; 1819441]	[1812594; 1922930]
$\tilde{SD}_{M2}$	[1348630; 1397688]	[857397; 902578]	[1103014; 1150133]	[1152137; 1199644]
$\tilde{SD}_{M3}$	[2611382; 2799604]	[1062001; 1229172]	[1836692; 2014388]	[1991630; 2171431]
$\tilde{SD}_{M4}$	[2330749; 2446664]	[1316484; 1417450]	[1823617; 1932057]	[1925043; 2034978]
$\tilde{SD}_{M5}$	[2986204; 3157294]	[1527597; 1678506]	[2256901; 2417900]	[2402761; 2565779]

Çizelge 7.17’de sıradan bulanık sayılar olarak ifade edilen şimdiki değerlerin eşdeğerleri orta değer durulaştırma yöntemi kullanılarak Çizelge 7.18’de verilmiştir:

Çizelge 7.18 : Müşterilerin sağladığı nakit akışlarının klasik şimdiki eşdeğerleri.

	İyimser	Kötümser	Gerçekçi	Ağırlıklı Ortalama
$\tilde{SD}_{M1}$	2279795	1249713	1508436	1867762
$\tilde{SD}_{M2}$	1373159	879987,5	1126574	1175891
$\tilde{SD}_{M3}$	2705493	1145587	1925540	2081531
$\tilde{SD}_{M4}$	2388707	1366967	1877837	1980011
$\tilde{SD}_{M5}$	3071749	1603052	2337401	2484270

Müşterilerin sağladığı nakit akışlarının şimdiki değerlerinin sıralaması iyimser durumda $\widetilde{\widetilde{D}}_{M5} > \widetilde{\widetilde{D}}_{M3} > \widetilde{\widetilde{D}}_{M4} > \widetilde{\widetilde{D}}_{M1} > \widetilde{\widetilde{D}}_{M2}$, kötümser, gerçekçi ve ağırlıklı ortalama durumlarında $\widetilde{\widetilde{D}}_{M5} > \widetilde{\widetilde{D}}_{M4} > \widetilde{\widetilde{D}}_{M1} > \widetilde{\widetilde{D}}_{M3} > \widetilde{\widetilde{D}}_{M2}$ şeklinde bulunur. Her durumda M_5 projenin değerini etkileyen en yüksek nakit akışını vermektedir. Bu durumda M_5 müşterisine ait alacaklar için yeni düzenlemeler yapılarak projenin değerindeki belirsizlik daha aza indirilebilir. İyimser durumda M_3 'ün sıralamadaki yerinin değiştiği görülmektedir. Karar vericinin beklentilerine göre 3 numaralı müşteri ile ilgili strateji değişecektir.

Yatırım projesinde müşterilere ait nakit akışlarının şimdiki değerlerinin sıralaması iyimser durumda sıradan üçgen bulanık sayılar ve üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar kullanılarak belirlenen nakit akışları ile analiz edildiğinde aynı sonucu vermiştir. Ancak kötümser durumda 3. ve 4. önem seviyesindeki nakit akışlarına sahip müşteriler değişmektedir. Aralık tip 2 bulanık sayılar belirsizliği sıradan bulanık sayılardan daha iyi ifade edebilme özelliğine sahip olduğundan kötümser durumda üçgen aralık tip 2 bulanık sayılar ile elde edilen sonuçların geçerli olması beklenmektedir.

Uygulamada tip 2 bulanık sayılar ile gerçekleştirilen işlemlerin tip 1 bulanık sayılarla gerçekleştirilen işlemlere nazaran daha karmaşık ve zaman alıcı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak özellikle belirsizliğin yüksek olduğu ortamlarda yatırımın değerlendirilmesinde, belirsizliğin daha iyi ifade edilebilmesi ile sağlanacak fayda gözönüne alındığında tip 2 bulanık sayıların kullanılması önerilmektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, belirsizlik altında yatırım analizi için bulanık mantığa dayalı yeni modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni modeller yatırım analizi parametrelerinin tahminini amaçlayan modeller, muhasebe esaslı modeller, simülasyon esaslı modeller, duyarlılık analizi amaçlı modeller ve aralık tip 2 bulanık yatırım analizi modelleri olarak sınıflandırılmıştır.

Yatırım analizinde ihtiyaç duyulan yeni modellerin belirlenmesi için öncelikle literatürde mevcut olan yatırım analizi yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. İncelenen yatırım analizi yöntemlerinin değerlendirilmesi sonucu, bulanık yatırım analizi yöntemlerinin sıradan bulanık şimdiki değer analizi, bulanık gelecek değer analizi, bulanık eşdeğer düzgün ödeme analizi, bulanık kazanç maliyet oranı analizi, bulanık geri ödeme süresi analizi ve bulanık iç verim oranı analizi ile sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca mevcut bulanık yatırım analizi yöntemlerinde belirsizliği ifade etmek için sadece sıradan bulanık sayılar kullanıldığı görülmüş, belirsizliği daha iyi ifade ettiği bilinen tip 2 bulanık sayılarla ifade edilen parametreler için bulanık yatırım analizi yöntemlerinin geliştirilmemiş olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut literatürde bulunan bulanık yatırım analizi yöntemlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi sonucu, literatürde eksikliği belirlenen muhasebe esaslı, simülasyon esaslı ve duyarlılık analizi esaslı bulanık yatırım analizi modellerinin geliştirilmesine ve mevcut bulanık yatırım analizi modellerinin aralık tip 2 bulanık sayılar için genişletilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla, çalışma kapsamında mevcut literatürdeki eksiklikleri tamamlayacak şekilde, yatırım analizi parametrelerinin tahmini amaçlı modeller, muhasebe esaslı modeller, simülasyon esaslı modeller, duyarlılık analizi esaslı modeller ve aralık tip 2 bulanık yatırım analizi modelleri önerilmiş ve sayısal örnekler üzerinde açıklanmıştır.

İlk olarak, literatürde bulunan yatırım analizi parametrelerinin tahmini amaçlı modeller incelenmiştir. Veri azlığı nedeniyle klasik zaman serileri ile tahmini mümkün olmayan veriler için geliştirilmiş olan bir bulanık zaman serileri ile tahmin yönteminin tek bir uzman görüşüne dayandığı tespit edilmiştir. Yöntem birden fazla

uzman görüşünün dikkate alınabilmesi için geliştirilmiş daha sonra mevsimsellik içeren verilerin analizinde de kullanılabilmesi için mevsimselliği de göz önüne alacak şekilde geliştirilmiştir. Önerilen model Hatay ilindeki marketlerin geçmiş elektrik tüketimi verilerine uygulanarak marketlerin bir sonraki döneme ait elektrik tüketim miktarları tahmin edilmiştir. Yapılan uygulama sonucunda önerilen bulanık zaman serileri ile mevsimsel talep tahmin modelinin, kısıtlı veri bulunması durumunda, uzmanlardan toplanan dilsel verilerin sayısallaştırılması ile gelecek dönem için mevsimselliği içeren tahminlerin yapılmasında kullanışlı bir yöntem olduğu görülmüştür.

Ayrıca parametrelerin tahmininde bulanık regresyon analizi kullanılarak geçmiş dönemlere ait faiz oranlarına ve enflasyon beklentisine bağlı bir faiz oranı denklemi önerilmiştir. Önerilen denklem ile elde edilen bulanık faiz oranı tahminleri mevcut belirsizliği yüksek oranda içermektedir. Klasik faiz oranlarına göre paranın zaman değerini daha kapsamlı analiz etme imkanı oluşturduğundan bulanık faiz oranı tahminlerinin tercih edilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Literatür taramasında eksikliği tespit edilen bulanık kurtarma geri dönüş süresi analizi ve bulanık basit getiri oranı analizi muhasebe esaslı yaklaşımlar başlığı altında önerilmiştir. Yatırımın nakit akışlarından daha çok karlılığı ile ilgili bilgi veren bu iki analiz yöntemi belirlilik ortamında firmaların sıkça kullandığı yatırım analiz yöntemlerinden olmasına karşın belirsizlik ortamında ilk defa tez kapsamında geliştirilmişlerdir. Bulanık kurtarma geri dönüş süresi yöntemi, özellikle projeden vazgeçilme ihtimali olduğunda, projenin durdurulması durumunun etkilerini incelemektedir. Teknolojik araçların ve müşteri isteklerinin hızlı değiştiği pazarlarda, kısa dönemde yerini korumak isteyen firmalar yatırım alternatiflerinin analizlerinde bulanık kurtarma geri dönüş süresi yöntemini kullanılmalılardır. Bulanık basit getiri oranı yöntemi, nakit akışları yerine proje karlılığını inceleyen bir yöntemdir. Nakit getirileri bekleyebilecek ve yatırımcılara yönelik finansal durumlarını gösteren yüksek karlılığa sahip olmak isteyen firmalarda, bulanık basit getiri oranı yöntemini kullanılmalıdır. Yapılan uygulamalarda önerilen muhasebe esaslı yöntemlerin klasik muhasebe yöntemlerinden daha esnek olduğu görülmüştür.

Üçüncü olarak yatırımın gerçek karlılığı diye de adlandırılan bulanık iç verim oranının hesabında yaşanan zorlukların azaltılması amacıyla bulanık simülasyon yöntemlerinin kullanımı önerilmiştir. Bu bölümde Monte Carlo simülasyonu ile bir

yatırım projesi örneğinin bulanık iç verim oranı hesaplanmıştır. Bulanık iç verim oranı analizinde tam eşitliği sağlayan bir sayının bulunamayabileceği tespit edilmiş, yakınsayan sonuçların yorumlanmasıyla yatırımların bulanık iç verim oranı belirlenmiştir.

Duyarlılık analizi esaslı yaklaşımlar başlığı altında iki yeni model geliştirilmiştir. İlk modelde yatırımı etkileyen faktörlerin diğer bir söylem ile yatırım projesinin nakit akışlarının kaynaklarının ayrı ayrı incelenmesi ile bu faktörlerin yatırımın değerinin belirlenmesindeki etkisini hesaplamaya yönelik bir duyarlılık analizi önerilmiştir. Önerilen yöntem ile firmaların yatırımın şimdiki değerinin belirsizliğini azaltmak için alacağı stratejik kararlarda hangi faktörlere öncelik vermesi gerektiği tespit edilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile proje analiz süresince belirsizliğin etkilerinin daha fazla olacağı dönemlerin tespit edilebildiği görülmüştür.

Yine yatırımı etkileyen faktörlerin değerlendirildiği ikinci modelde bulanık global önem indislerinin kullanıldığı bir duyarlılık analizi modeli geliştirilmiştir. Modellerin uygulanabilirliğini ve geçerliliğini test etmek için önerilen duyarlılık analizi modelleri gerçek bir yatırım projesinin verilerine uygulanarak firmanın müşterilerinin firma için önem sırası elde edilmiş ve firmanın müşterilere karşı uygulaması gereken stratejiler belirlenmiştir. Önerilen duyarlılık analizi modellerinin paralel sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Son olarak literatür taramasında eksikliği tespit edilen, yatırım parametrelerinin aralık tip 2 bulanık sayılarla tanımlanması durumunda kullanılacak yatırım analizi modelleri geliştirilmiştir. Bu bölümde aralık tip 2 bulanık şimdiki değer analizi, aralık tip 2 bulanık gelecek değer analizi, aralık tip 2 bulanık eşdeğer ödeme analizi ve aralık tip 2 bulanık basit getiri oranı analizi için formüller önerilmiştir.

Önerilen modeller bir yatırım projesine uygulanmıştır. Projenin beklenen nakit akışları hem sıradan üçgen bulanık sayılarla hem de üçgen aralık tip 2 bulanık sayılarla aynı uzmanlar tarafından belirlenmiştir. Önerilen yatırım analizi değerlendirme modelleri her iki durum için uygulanmıştır ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan analizde yatırım parametrelerinin sıradan bulanık sayılarla ve tip 2 bulanık sayılarla ifade edilmesi durumlarında genelde aynı doğrultuda sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ancak aralık tip 2 bulanık yatırım analizi yöntemlerinin kullanılması durumunda nakit akışlarının önem sıralamasında bazı

kritik olabilecek farklılıklar görülmektedir. Uygulama sonucunda mevcut belirsizliğin analizde en iyi şekilde temsil edilebilmesi için aralık tip 2 bulanık yatırım yöntemlerinin kullanımı önerilmektedir.

Önerilen modellerin geliştirilmesine yönelik olarak muhasebe esaslı diğer yöntemler bulanık veriler için genişletilebilir. Bulanık iç verim oranının analizinde farklı yöntemler kullanılarak gerçeğe en yakın sonucu elde eden yöntem araştırılabilir ve sıradan bulanık sayılar kullanan diğer yatırım analizi yöntemleri tip 2 bulanık sayılar için genişletilebilir. Ayrıca çalışmada önerilen yöntemler için durulaştırma yöntemlerinin nihai karara etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aguilar-Lasserre, A. A., Bautista, M. A., Ponsich, A., Huerta, M. A. G.** (2009a). An AHP-based decision-making tool for the solution of multiproduct batch plant design problem under imprecise demand. *Computers & Operations Research*, **36**(3), 711-736.
- Aguilar-Lasserre, A. A., Pibouleau, L., Azzaro-Pantel, C., Domenech, S.** (2009b). Enhanced genetic algorithm-based fuzzy multiobjective strategy to multiproduct batch plant design. *Applied Soft Computing*, **9**(4), 1321-1330.
- Akdeniz, F.** (2004). *Olasılık ve istatistik*. Nobel Kitabevi, Adana.
- Ammar, E. ve Khalifa, H. A.** (2005). Characterization of optimal solutions of uncertainty investment problem. *Applied Mathematics and Computation*, **160**(1), 111-124.
- Bas, E.** (2008). Internal rate of return of fuzzy cash flows based on pessimistic and optimistic fuzzy-relation approach. Proceedings of 8th International Conference on Fuzzy Logic and Intelligent Technologies in Nuclear Science, 21-24 Sep., Madrid, SPAIN, 1009-1014.
- Bas, E. ve Kahraman, C.** (2009). Fuzzy capital rationing model. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **224**(2), 628-645.
- Baskak, M. ve Kahraman, C.** (1998). Fuzzy replacement analysis. Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – Nafips, 20-21 Aug., Persacola beach, Florida, 77-81.
- Bednyagin, D. ve Gnansounou, E.** (2011). Real options valuation of fusion energy R& D programme. *Energy Policy*, **39**(1), 116-130.
- Beskese, A., Kahraman, C. , Irani, Z.** (2004). Quantification of flexibility in advanced manufacturing systems using fuzzy concept. *International Journal of Production Economics*, **89**(1), 45-56.
- Bhattacharyya, R., Kumar, P., Kar, S.** (2011). Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects. *Computers & Mathematics with Applications*, **62**(10), 3857-3870.
- Block, S. B. ve Hirt, G. A.** (2000). *Foundations of financial management*. McGraw-Hill, USA.
- Borgonovo, E. ve Peccati, L.** (2006). Uncertainty and global sensitivity analysis in the evaluation of investment projects. *International Journal of Production Economics*, **104**(1), 62-73.
- Buckley, J. J.** (1987). The fuzzy mathematics of finance. *Fuzzy Sets and Systems*, **21**(3), 257-273.

- Buckley, J. J.** (1992). Solving fuzzy equations in economics and finance. *Fuzzy Sets and Systems*, **48**(3), 289-296.
- Buckley, J. J. ve Jowers, L. J.** (2008). *Monte Carlo Methods in Fuzzy Optimization*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Carlsson, C. ve Fullér, R.** (1998). On fuzzy internal rate of return, TUCS – Turku Centre for Computer Science, Technical Report No. 211.
- Carlsson, C. ve Fullér, R.** (2001). On possibilistic mean value and variance of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, **122**(2), 315-326.
- Carlsson, C. ve Fullér, R.** (2003). A fuzzy approach to real option valuation. *Fuzzy Sets and Systems*, **139**(2), 297-312.
- Carlsson, C., Fullér, R., Heikkilä, M., Majlender, P.** (2007). A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. *International Journal of Approximate Reasoning*, **44**(2), 93-105.
- Cetin, N. ve Kahraman, C.** (1999). *Fuzzy future value and annual cash flow analyses*, in: N. Zhong, A. Skowron and S. Ohsuga (Eds.), *New Directions in Rough Sets, Data Mining, and Granular-Soft Computing*, Springer, 266-270.
- Chan, F. T. S., Chan, M. H., Tang, N. K. H.** (2000). Evaluation methodologies for technology selection. *Journal of Materials Processing Technology*, **107**(1–3), 330-337.
- Chang, P. T.** (2005). Fuzzy strategic replacement analysis. *European Journal of Operational Research*, **160**(2), 532-559.
- Chen, S. J., Hwang, C. L., Hwang, F. P.** (1992). *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Chen, S. M.** (1996). Forecasting enrollments based on fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, **81**(3), 311-319.
- Chen, S. M.** (2002). Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series. *Cybernetics and Systems*, **33**(1), 1-16.
- Chen, S. M. ve Chung, N. Y.** (2006). Forecasting enrollments using high-order fuzzy time series and genetic algorithms. *International Journal of Intelligent Systems*, **21**(5), 485-501.
- Chen, S. M. ve Lee, L. W.** (2010). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, **37**(4): 2790-2798.
- Chen, T. L., Cheng, C. H., Teoh, J. H.** (2007). Fuzzy time-series based on Fibonacci sequence for stock price forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **380**, 377-390.
- Cheng, M. Y. ve Roy, A. F. V.** (2011). Evolutionary fuzzy decision model for cash flow prediction using time-dependent support vector machines. *International Journal of Project Management*, **29**(1), 56-65.

- Cheng, M. Y., Tsai, H. C., Sudjono, E.** (2010). Evolutionary fuzzy hybrid neural network for project cash flow control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **23**(4), 604-613.
- Chiu, C. Y. ve Park C. S.** (1994). Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion. *The Engineering Economist*, **39**(2), 113-138.
- Chiu, C.-Y. ve Park, C. S.** (1998). Capital Budgeting Decisions With Fuzzy Projects. *The Engineering Economist*, **43**(2), 125-150.
- Damghani, K. K., Sadi-Nezhad, S., Aryanezhad, M. B.** (2011). A modular Decision Support System for optimum investment selection in presence of uncertainty: Combination of fuzzy mathematical programming and fuzzy rule based system. *Expert Systems with Applications*, **38**(1), 824-834.
- de Andrés Sánchez, J. ve Gómez, A. T.** (2004). Estimating a fuzzy term structure of interest rates using fuzzy regression techniques. *European Journal of Operational Research*, **154**(3), 804-818.
- de Tré, G. ve de Caluwe, R.** (2003). Level-2 fuzzy sets and their usefulness in object-oriented database modelling. *Fuzzy Sets and Systems*, **140**(1), 29-49.
- Dietz, A., Aguilar-Lasserre, A. Azzaro-Pantel, C., Pibouleau, L., Domenech, S.** (2008). A fuzzy multiobjective algorithm for multiproduct batch plant: Application to protein production. *Computers & Chemical Engineering*, **32**(1-2), 292-306.
- Dong, D. X. ve Zhu, Y. L.** (2009). *The Study of the Fuzzy Net Present Value Based on Structured Element*, in: B. Cao, T. F. Li and C. Y. Zhang (Eds.), *Fuzzy Information and Engineering Volume 2*, Springer, 205-211.
- Driankov, D., Hellendoorn, H., Reinfrank, M.** (1996). *An Introduction to Fuzzy Control*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Dubois, D. ve Prade H.** (1978). Operations on fuzzy numbers. *International Journal of Systems Science*, **9**(6), 613-626.
- Dubois, D. ve Prade H.** (1980). *Fuzzy sets and systems: theory and applications*. Academic Press, New York, USA.
- Dubois, D. ve Prade H.** (1983). Ranking fuzzy numbers in the setting of possibility theory. *Information Sciences*, **30**(3), 183-224.
- Dubois, D. ve Prade H. M.** (1988). *Possibility Theory: An Approach to Computerized Processing of Uncertainty*, Plenum Press, New York, USA.
- Fraser, N. M.** (2008). *Global Engineering Economics: Financial Decision Making for Engineers*, Pearson Education, Canada.
- Gao, J. W., Zhao, J. H., Ji, X. Y.** (2005). Fuzzy chance-constrained programming for capital budgeting problem with fuzzy decisions. *Proceedings of 2nd International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, Aug 27-29, China, 304-311.

- Haaker, M. P. R. ve Verheijen, P. J. T.** (2004). Local and global sensitivity analysis for a reactor design with parameter uncertainty. *Chemical Engineering Research and Design*, **82**(5), 591-598.
- Halaç, O.** (1991). *Kantitatif karar verme teknikleri*. Evrim Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.
- Hanss, M.** (2005). *Applied fuzzy arithmetic: An introduction with engineering applications*, Springer-Verlag, Berlin.
- Ho, S. H. ve Liao, S. H.** (2011). A fuzzy real option approach for investment project valuation. *Expert Systems with Applications*, **38**(12), 15296-15302.
- Horngren, C. T., Foster, G., Datar, S. M.** (1994). *Cost accounting: A managerial emphasis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Huang, X.** (2007). Chance-constrained programming models for capital budgeting with NPV as fuzzy parameters. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **198**(1), 149-159.
- Huang, X.** (2008). Mean-variance model for fuzzy capital budgeting. *Computers & Industrial Engineering*, **55**(1), 34-47.
- Huarng, K.** (2001). Heuristic models of fuzzy time series for forecasting. *Fuzzy Sets and Systems*, **123**(3), 369-386.
- Huarng, K. ve Yu, H. K.** (2005). A type 2 fuzzy time series model for stock index forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **353**, 445-462.
- Ishibuchi, H. ve Nii, M.** (2001). Fuzzy regression using asymmetric fuzzy coefficients and fuzzified neural networks. *Fuzzy Sets and Systems*, **119**(2), 273-290.
- Kahraman, C.** (2008). *Investment Analyses Using Fuzzy Decision Trees*, in: C. Kahraman (Ed.), *Fuzzy Engineering Economics with Applications*, Springer Berlin, Heidelberg, 231-242.
- Kahraman, C. ve Kaya, İ.** (2010). Investment analyses using fuzzy probability concept. *Technological and Economic Development of Economy*, **16**(1), 43-57.
- Kahraman, C. ve Tolga, A. C.** (2009). An alternative ranking approach and its usage in multi-criteria decision-making. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, **2**(3), 219-235.
- Kahraman, C. ve Ulukan, Z.** (1997). Continuous compounding in capital budgeting using fuzzy concept. *Proceedings of the Sixth Ieee International Conference on Fuzzy Systems*, 01-05 Jul, Spain, 1451-1455.
- Kahraman, C., Beskese, A., Ruan, D.** (2004). Measuring flexibility of computer integrated manufacturing systems using fuzzy cash flow analysis. *Information Sciences*, **168**(1-4), 77-94.
- Kahraman, C., Gülbay, M., Ulukan, Z.** (2006). *Applications of fuzzy capital budgeting techniques*, in: C. Kahraman (Ed.), *Fuzzy Applications in Industrial Engineering*, Springer Berlin, Heidelberg, 177-203.

- Kahraman, C., Ruan, D., Tolga, E.** (2002). Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows. *Information Sciences*, **142**(1–4), 57-76.
- Kahraman, C., Tolga, E., Ulukan, Z.** (2000). Justification of manufacturing technologies using fuzzy benefit/cost ratio analysis. *International Journal of Production Economics*, **66**(1), 45-52.
- Kahraman, C., ve Tolga, E.** (1998). Capital budgeting techniques under fuzzy information. Proceedings of Tenth Ieee International Conference on Tools with Artificial Intelligence, Nov 10-12, Tapei, 242-249.
- Kahraman, C., Yavuz, M., Kaya, İ.** (2010). *Fuzzy and grey forecasting techniques and their applications in production systems*, in: C. Kahraman ve M. Yavuz (Eds.), *Production Engineering and Management under Fuzziness*, Springer Berlin, Heidelberg, 1-24.
- Karnik, N. N. ve Mendel, J. M.** (2001). Centroid of a type-2 fuzzy set. *Information Sciences*, **132**(1–4), 195-220.
- Karsak, E.** (1998). Measures of liquidity risk supplementing fuzzy discounted cash flow analysis. *The Engineering Economist*, **43**(4), 331-344.
- Karsak, E. ve Tolga, E.** (2001). Fuzzy multi-criteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investments. *International Journal of Production Economics*, **69**(1), 49-64.
- Kaufmann, A. ve Gupta, M. M.** (1988). *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*, North-Holland, NY, USA.
- Khashei, M., Hejazi, S. R., Bijari, M.** (2008). A new hybrid artificial neural networks and fuzzy regression model for time series forecasting. *Fuzzy Sets and Systems*, **159**(7), 769-786.
- Klir, G. J. ve Yuan, B.** (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*, Prentice-Hall Inc., NJ, USA.
- Kolmogorov, A. N.** (1933). *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung* Springer, Berlin, Germany. English translation (1950): *Foundations of the theory of probability*. Chelsea, New York.
- Kuchta, D.** (2000). Fuzzy capital budgeting. *Fuzzy Sets and Systems*, **111**(3), 367-385.
- Kuo-Ping, C.** (2011). Multiple criteria group decision making with triangular interval type-2 fuzzy sets. Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ), Jun 27-30, Tapei, 1098-7584.
- Lee, C. C.** (1990a). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. I. *IEEE Transactions Systems on Man and Cybernetics*, **20**(2), 404-418.
- Lee, C. C.** (1990b). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. II. . *IEEE Transactions Systems on Man and Cybernetics*, **20**(2), 419-435.
- Lee, H. S. ve Chou, M. T.** (2004). Fuzzy forecasting based on fuzzy time series. *International Journal of Computer Mathematics*, **81**(7), 781-789.
- Lee, Y.C. ve Lee, S. S.** (2011). The valuation of RFID investment using fuzzy real option. *Expert Systems with Applications*, **38**(10), 12195-12201.

- Li, S. T. ve Cheng, Y. C.** (2007). Deterministic fuzzy time series model for forecasting enrollments. *Computers & Mathematics with Applications*, **53**(12), 1904-1920.
- Liang, R. ve Gao, J.** (2008). Dependent-chance programming models for capital budgeting in fuzzy environments. *Tsinghua Science & Technology*, **13**(1), 117-120.
- Liao, S. H. ve Ho, S. H.** (2010a). *Investment Appraisal under Uncertainty – A Fuzzy Real Options Approach*, in: K. Wong, B. Mendis and A. Bouzerdoun (Eds.), *Neural Information Processing. Models and Applications*, Springer Berlin, Heidelberg, 716-726.
- Liao, S. H. ve Ho, S. H.** (2010b). Investment project valuation based on a fuzzy binomial approach. *Information Sciences*, **180**(11), 2124-2133.
- Liou, T. S. ve Chen, C.W.** (2006). Fuzzy decision analysis for alternative selection using a fuzzy annual worth criterion. *The Engineering Economist*, **51**(1), 19-34.
- Liu, B.** (2002). *Theory and practice of uncertain programming*, Physica-Verlag, Heidelberg, Berlin, Germany.
- Liu, H. T.** (2009). An integrated fuzzy time series forecasting system. *Expert Systems with Applications*, **36**(6), 10045-10053.
- Liu, H. T. ve Wei, M. L.** (2010). An improved fuzzy forecasting method for seasonal time series. *Expert Systems with Applications*, **37**(9), 6310-6318.
- Liu, Y. H.. ve Jiang, I. M.** (2012). Influence of investor subjective judgments in investment decision-making. *International Review of Economics & Finance*, **24**, 129-142.
- Mao, Y. ve Wu, W.** (2011). Fuzzy real option evaluation of real estate project based on risk analysis. *Systems Engineering Procedia*, **1**, 228-235.
- Meigs, W. B. ve Meigs, R. F.** (1987). *Accounting, the basis for business decisions*, McGraw-Hill, NY, USA.
- Mendel, J. M. ve John, R. I.** (2002). Type-2 fuzzy sets made simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **10**(2), 117-127.
- Mendel, J. M., John, R. I., Liu, F. L.** (2006). Interval type-2 fuzzy logical systems made simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **14**(6), 808-821.
- Neto, A. C. G., Marujo, L. G., Cosenza, C. A. N., Dória, F. A. M., Lima Jr, J. M.** (2012). Using fuzzy NPV evaluation to justify the acquisition of business interruption insurance. *Expert Systems with Applications*. Basım aşamasında.
- Newnan, D. G., Eschenbach, T., Lavelle, J.P.** (2004). *Engineering Economic Analysis*, Oxford University Press, NY, USA.
- Nguyen, H. T. ve Wu, B.** (2006). *Fundamentals of statistics with fuzzy data*, Springer, Berlin Heidelberg, Germany.

- Niewiadomski, A., Ochelska, J., Szczepaniak, P. S.** (2006). Interval-valued linguistic summaries of databases. *Control and Cybernetics*, **35**(2), 415-443.
- Omitaomu, O. A. ve Badiru, A.** (2007). Fuzzy present value analysis model for evaluating information system projects. *The Engineering Economist*, **52**(2), 157-178.
- Own, C. M. ve Yu, P. T.** (2005). Forecasting fuzzy time series on a heuristic high-order model. *Cybernetics and Systems*, **36**(7), 705-717.
- Özkan, M. M.** (2003). *Bulanık hedef programlama*, Ekin Kitabevi, İstanbul.
- Park, C. S.** (1986). The Mellin transform in probabilistic cash flow modeling. *The Engineering Economist*, **32**(2), 115-134.
- Park, C. S.** (2004). *Fundamentals of engineering economics*, Pearson Prentice Hall, NJ, USA.
- Park, C. S. ve Sharp-Bette, G. P.** (1990). *Advanced engineering economics*, Wiley, NY, USA.
- Peng, J., Mok, H., Tse, W. M.** (2005). *Fuzzy dominance based on credibility distributions, fuzzy systems and knowledge discovery*, in: L. Wang and Y. Jin (Eds.), *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, Springer Berlin, Heidelberg, 477-477.
- Pochampally, K. K., Gupta, S. M., Cullinane, T. P.** (2003). A fuzzy cost-benefit function to select economical products for processing in a closed-loop supply chain. *Proceedings of the Third SPIE International Conference on Environmentally Conscious Manufacturing*, Providence, RI, 20-29.
- Pohjola, V. J. ve Turunen, I.** (1990). Estimating the internal rate of return from fuzzy data. *Engineering Costs and Production Economics*, **18**(3), 215-221.
- Ross, T. J.** (1995). *Fuzzy logic with engineering applications*, McGraw-Hill, USA.
- Runkler, T. A. ve Glesner M.** (1993). A set of axioms for defuzzification strategies towards a theory of rational defuzzification operators. *Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, March 28-April 1, San Francisco, California, 1161-1166.
- Sakallı, Ü. S. ve Baykoç, Ö. F.** (2010). An application of investment decision with random fuzzy outcomes. *Expert Systems with Applications*, **37**(4), 3405-3414.
- Santoyo, F. G., Romero, B. F., Juan, J. F., Gil-Lafuente, A. M., Chavez, R.** (2010). Fuzzy analysis for assets replacement. *Proceedings of International Conference of Modelling and Simulation in Engineering, Economics and Management*. Jul 15-17, Spain, 101-114.
- Serguieva, A. ve Hunter, J.** (2004). Fuzzy interval methods in investment risk appraisal. *Fuzzy Sets and Systems*, **142**(3), 443-466.
- Sevastjanov, P., Dimova, L., Sevastianov, D.** (2006). *Fuzzy capital budgeting: investment project evaluation and optimization*, in: C. Kahraman (Ed.), *Fuzzy Applications in Industrial Engineering*, Springer Berlin, Heidelberg, 205-228.

- Sewastjanow, P. ve Dymowa, L.** (2008). *On the fuzzy internal rate of return*, in C. Kahraman (Ed.), *Fuzzy Engineering Economics with Applications* Springer Berlin / Heidelberg, 105-128.
- Shahriari, M.** (2011). Mapping fuzzy approach in engineering economics. *International Research Journal of Finance and Economics*, **81**, 1450-2887.
- Sheen, J. N.** (2005a). Fuzzy financial profitability analyses of demand side management alternatives from participant perspective. *Information Sciences*, **169**(3-4), 329-364.
- Sheen, J. N.** (2005b). Fuzzy evaluation of cogeneration alternatives in a petrochemical industry. *Computers & Mathematics with Applications*, **49**(5-6), 741-755.
- Shi, Y., Kwak, W., Lee, H., Lee, C. F.** (1997). Capital budgeting with multiple criteria and multiple decision makers: A fuzzy approach. *Proceedings of First International Conference on Operations and Quantitative Management*. Jan 05-08, India, 83-90.
- Singh, S. R.** (2007). A simple method of forecasting based on fuzzy time series. *Applied Mathematics and Computation*, **186**(1), 330-339.
- Song, Q.** (1999). Seasonal forecasting in fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, **107**(2), 235-236.
- Song, Q. ve Chissom, B. S.** (1993a). Fuzzy time series and its models. *Fuzzy Sets and Systems*, **54**(3), 269-277.
- Song, Q. ve Chissom, B. S.** (1993b). Forecasting enrollments with fuzzy time series — Part I. *Fuzzy Sets and Systems*, **54**(1), 1-9.
- Song, Q. ve Chissom, B. S.** (1994). Forecasting enrollments with fuzzy time series — part II. *Fuzzy Sets and Systems*, **62**(1), 1-8.
- Sorenson, G. E. ve Lavelle, J. P.** (2008). A Comparison of Fuzzy Set and Probabilistic Paradigms for Ranking Vague Economic Investment Information Using a Present Worth Criterion. *The Engineering Economist*, **53**(1), 42-67.
- Tanyaş, M. ve Baskak, M.** (2008). *Üretim Planlama ve Kontrol*. İrfan Yayıncılık ve Tanıtım Ltd. Şti, İstanbul.
- Tao, C., Jinlong, Z., Shan, L., Benhai, Y.** (2007). Fuzzy Real Option Analysis for IT Investment in Nuclear Power Station, in: Y. Shi, G. van Albada, J. Dongarra and P. Sloot (Eds.), *Computational Science – ICCS 2007*, Springer Berlin, Heidelberg, 953-959.
- Tavana, M. ve Zandi, F.** (2012). Applying fuzzy bi-dimensional scenario-based model to the assessment of Mars mission architecture scenarios. *Advances in Space Research*, **49**(4), 629-647.
- Tercenño, A., De Andrés, J., Barberà, G., Lorenzana, T.** (2003). Using fuzzy set theory to analyse investments and select portfolios of tangible investments in uncertain environments. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness & Knowledge-Based Systems*, **11**(3), 263.

- Tolga, E. ve Kahraman, C.** (1994). *Mühendislik Ekonomisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul
- Tolga, E., Demircan, M. L., Kahraman, C.** (2005). Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, **97**(1), 89-117.
- Tsao, C. T.** (2009). Fuzzy Parameters for Evaluating Capital Investments. Proceedings of 18th Biennial Conference on Modelling and Simulation, Jul 13-17, Australia, 1515-1521.
- Tsao, C.-T.** (2012). Fuzzy net present values for capital investments in an uncertain environment. *Computers & Operations Research*, **39**(8), 1885-1892.
- Tsaur, R.-C., Yang, J. C. O, Wang, H. F.** (2005). Fuzzy relation analysis in fuzzy time series model. *Computers & Mathematics with Applications*, **49**(4), 539-548.
- Uçal Sarı, İ. ve Kuchta, D.** (2012a). Fuzzy Capital Budgeting_ Fuzzy Bailout Payback Period and Fuzzy Accrual Accounting Rate of Return Methods. *Journal of Multiple Valued Logic and Soft Computing*. Basım aşamasında.
- Uçal Sarı, İ. ve Kuchta, D.** (2012b). Fuzzy Global Sensitivity Analysis of Fuzzy Net Present Value. *Control and Cybernetics*. **41**(2), Basım aşamasında.
- Uçal Sarı, İ. ve Öztayşi, B.** (2012). *Fuzzy Seasonal Time Series: Forecasting Energy Demand Energy*, in: C. Kahraman (Ed.), Computational Intelligence in Industrial Engineering Applications, Atlantis-Springer. Basım aşamasında.
- Uçal, İ ve Kuchta D.** (2011) Project Sceduling to Maximize Fuzzy Net Present Value, World Congress on Engineering 2011, 6-8 July, London, UK, 1184-1189.
- Uçal, İ.** (2011). Bulanık Zaman Serileri ile Talep Tahmini. 11. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 23-24 Haziran, İstanbul, 582-589.
- Uçal, İ. ve Kahraman C.** (2009). Fuzzy real options valuation for oil investments. *Technological and Economic Development of Economy*, **15**(4), 646-669.
- Uçal, İ. ve Kuchta, D.** (2012). *Multicriteria Evaluation of Fuzzy Net Present Value*, in: Tadeusz Trzaskalik (Ed.), Multiple Criteria Decision Making '11, The Publisher of The University of Economics in Katowice, Basım aşamasında.
- Wang, M. J. ve Liang, G. S.** (1995). Benefit/cost analysis using fuzzy concept. *The Engineering Economist*, **40**(4), 359-376.
- Ward, T. L.** (1985). Discounted fuzzy cash flow analysis. Proceedings of 1985 Fall Industrial Engineering Conference, Institute of Industrial Engineers Chicago, IL, USA, 476-481.
- Wee, H. M., C. C. Lo, Hsu, P. H.** (2009). A multi-objective joint replenishment inventory model of deteriorated items in a fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, **197**(2), 620-631.

- Xu, B., Fang, W., Shi, R., Yu, J., Liu, L.** (2009). Three-objective fuzzy chance-constrained programming model for multiproject and multi-item investment combination. *Information Sciences*, **179**(5), 623-641.
- Xu, J., Zheng, H., Zeng, Z., Wu, S., Shen, M.** (2012). Discrete time–cost–environment trade-off problem for large-scale construction systems with multiple modes under fuzzy uncertainty and its application to Jinping-II Hydroelectric Project. *International Journal of Project Management*. Basım aşamasında.
- Yager, R. R. ve Filev, D.** (1993a). On the issue of defuzzification and selection based on a fuzzy set. *Fuzzy Sets and Systems*, **55**(3), 255-271.
- Yager, R. R. ve Filev, D. P.** (1993b). SLIDE: A simple adaptive defuzzification method. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **1**(1), 69.
- Yao, J. S., Chen, M. S., Lin, H. W.** (2005). Valuation by using a fuzzy discounted cash flow model. *Expert Systems with Applications*, **28**(2), 209-222.
- Yolcu, U., E. Egrioglu, Uslu, V. R., Basaran, M. A., Aladag, C. H.** (2009). A new approach for determining the length of intervals for fuzzy time series. *Applied Soft Computing*, **9**(2), 647-651.
- Yoon, K.** (2008). *A Probabilistic Approach to Fuzzy Engineering Economic Analysis*, in: C. Kahraman, *Fuzzy Engineering Economics with Applications*, Springer Berlin, Heidelberg, 217-230.
- You, C. J., Lee, C. K. M., Chen, S. L., Jiao, R. J.** (2012). A real option theoretic fuzzy evaluation model for enterprise resource planning investment. *Journal of Engineering and Technology Management*, **29**(1), 47-61.
- Yu, H. K.** (2005). A refined fuzzy time-series model for forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **346**(3–4), 657-681.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, **8**(3), 338-353.
- Zadeh, L. A.** (1973). Outline of a new approach to analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, **SMC3**(1), 28-44.
- Zadeh, L. A.** (1974). Fuzzy logic and its application to approximate reasoning. *Information Processing*, **74**, 591-594.
- Zadeh, L. A.** (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information Sciences*, **8**(3), 199-249.
- Zadeh, L. A.** (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, **1**(1), 3-28.
- Zimmermann, H. J.** (1992). *Fuzzy set theory and its applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Zmeškal, Z.** (2010). Generalised soft binomial American real option pricing model (fuzzy–stochastic approach). *European Journal of Operational Research*, **207**(2), 1096-1103.
- Url-1** <www.tcmb.gov.tr>, alındığı tarih: 2 Mayıs 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: İrem UÇAL SARI

Doğum Yeri ve Tarihi: Siegen, 23.12.1981

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yüksek Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

Uluslararası indeksli dergi makaleleri:

- **Uçal Sarı, İ.**, Behret, H., Kahraman, C. (2012). Risk Governance of Urban Rail Systems Using Fuzzy AHP: The Case of Istanbul. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, **20**(1), 67-79.
- Behret, H., **Uçal, İ.**, Kahraman, C. (2012). Multicriteria Evaluation of Environmentally Conscious Manufacturers under Fuzzy Environment. *Journal of Multiple Valued Logic and Soft Computing*, **18**: 457-477.
- **Uçal, İ.** ve Kahraman, C. (2009). Fuzzy Real Options Valuation For Oil Investments. *Technological and Economic Development of Economy*, **15**(4): 646-669.

Uluslararası Kitap bölümleri:

- **Uçal Sarı, İ.**, Öztayşı, B., Kahraman, C. (2012). Fuzzy AHP Using Type 2 Fuzzy Sets: An application to Warehouse Location Selection, in Multicriteria decision aid and artificial intelligence: Theory and applications, Editors: M. Doumpos, E. Grigoroudis, John Wiley & Sons, Basım aşamasında.
- Çevikcan, E., **Uçal Sarı, İ.**, Kahraman, C. (2012). Assessment of Storage Policies in Warehouses and a Fuzzy Information Axiom Approach, in Multi-Criteria and Game Theory Applications in Manufacturing and Logistics, Editors: Lyes Benyoucef, J-C Hennet, M.K. Tiwari, Basım aşamasında.
- **Uçal Sarı, İ.**, Uğurlu, S., Kahraman, C. (2012), Prioritization of Supply Chain Performance Measurement Factors by a Fuzzy Multicriteria Approach, in Multi-Criteria and Game Theory Applications in Manufacturing and Logistics, Editors: Lyes Benyoucef, J-C Hennet, M.K. Tiwari, Basım aşamasında.
- Kahraman, C. ve **Uçal Sarı, İ.** (2012). Multicriteria environmental risk evaluation

using type II fuzzy sets, in Advances in Computational Intelligence, Editors: Salvatore Greco, Bernadette Bouchon-Meunier, Giulianella Coletti, Mario Fedrizzi, Benedetto Matarazzo and Ronald R. Yager, Springer, Heidelberg, 449-457.

- **Uçal, İ.** ve Kuchta D. (2010), Using Probabilistic and Fuzzy Models for the Selection of Information Technology Investments, in Information Systems Architecture and Technology, Editors: Zofia Wilimowska, Leszek Borzemski, Adam Grzech and Jerzy Swiatek, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 399-409.

- Kahraman, C., Kaya, İ., Ulukan, H. Z., **Uçal, İ.** (2010), Economic Forecasting Techniques and Their Applications, in Business Intelligence in Economic Forecasting: Technologies and Techniques, Editors: Shouyang Wang, and Jue Wang, IGI Global.

Uluslararası sempozyum bildirileri:

- Kahraman, C., **Uçal Sarı, İ.**, Turanoğlu, E. (2012). Fuzzy Analytic Hierarchy Process With Type II Fuzzy Sets, The 10th International FLINS Conference on Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making (FLINS 2012) August 26-29, 2012, Istanbul, Turkey, 201-206.

- **Uçal, İ.** ve Kuchta D. (2011) Project Sceduling to Maximize Fuzzy Net Present Value, World Congress on Engineering 2011, London, UK, 6-8 July, pp. 1184-1189.

- **Uçal, İ.** ve Kahraman, C. (2010) Fuzzy Investment Decision Making Using Mellin Transform, Proceedings of the 9th International FLINS Conference on Computational Intelligence Foundations and Applications, Chengdu (Emei), pp. 342-347.

- **Uçal, İ.** ve Öztayşi, B. (2009). ANP in Performance Measurement And Its Application in a Manufacturing System, Proceedings of 10th Annual International Symposium on the Analytical Hierarchy Process, Pittsburgh.

- Öztayşi, B. ve **Uçal, İ.** (2009). Comparison of MADM Techniques Usage in Performance Measurement, Proceedings of 10th Annual International Symposium on the Analytical Hierarchy Process, Pittsburgh.

- **Uçal, İ.** ve Kahraman, C. (2008). Fuzzy Real Options Valuation for Oil Investments, The 8th International FLINS Conference on Computational Intelligence in Decision and Control, Madrid, pp. 1027-1032.

- **Uçal, İ.**, Çelik, M. ve Çebi, S. (2008). Enhancement of Multi-Criteria Analysis within Analytical Strategic Environmental, IEEE IEMC_Europe 2008 International Engineering Management Conference, Portugal, pp 157-160.

- **Uçal İ.** ve Çakır C. B. (2007). Selection among mobile phone designs based on ergonomic criteria by ANP methodology, Abstract Book of 22nd European Conference on Operational Research EURO XXII, Prague, p. 212.

Ulusal sempozyum bildirileri:

- Çebi, S., **Uçal, İ.** ve Kahraman, C. (2008). Aksiyomlarla Tasarım İlkelerini Kullanarak Binek Otomobiller için Gösterge Tasarımı, 14. Ulusal Ergonomi Kongresi, 30 Ekim-1 Kasım, Trabzon, Türkiye, pp. 555-561.

Bilimsel Faaliyet Düzenlemesi

- **İrem Uçal Sarı**, Organizasyon Komitesi Üyeliği, FLINS 2012 , 26-29 Ağustos 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Hakemlik yapılan uluslararası dergiler

- Journal of Multiple Valued Logic and Soft Computing
- Scientific Research and Essays

TEZDEN TÜRETİLMİŞ YAYINLAR:

Uluslararası hakemli dergi makaleleri:

- **Uçal Sarı, İ.** ve Kuchta D. (2012). Fuzzy Global Sensitivity Analysis of Fuzzy Net Present Value. *Control and Cybernetics*, **41**(2), Basım aşamasında.
- **Uçal Sarı, İ.** ve Kuchta, D. (2012). Fuzzy Capital Budgeting_ Fuzzy Bailout Payback Period and Fuzzy Accrual Accounting Rate of Return Methods. *Journal of Multiple Valued Logic and Soft Computing*. Basım aşamasında.

Kitap bölümleri:

- **Uçal Sarı, İ.** ve Öztayşı, B. (2012). Fuzzy Seasonal Time Series: Forecasting Energy Demand Energy in Computational Intelligence in Industrial Engineering Applications, Editor: Cengiz Kahraman, Atlantis-Springer, Basım aşamasında.
- **Uçal, İ.** ve Kuchta, D. (2012). Multicriteria Evaluation of Fuzzy Net Present Value in Multiple Criteria Decision Making, The Publisher of The University of Economics in Katowice, Basım aşamasında.
- **Uçal Sarı, İ.** ve Kahraman, C. (2012). New Product Selection Using Fuzzy Linear Programming and Fuzzy Monte Carlo Simulation, in Advances in Computational Intelligence, Editors: Salvatore Greco, Bernadette Bouchon-Meunier, Giulianella Coletti, Mario Fedrizzi, Benedetto Matarazzo and Ronald R. Yager, Springer, Heidelberg, 441-448.

Uluslararası konferans bildirileri:

- **Uçal Sarı, İ.** ve Kahraman, C. (2012). Fuzzy Forecasting of Interest Rates in Investment Decisions, The 10th International FLINS Conference on Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making (FLINS 2012) August 26-29, 2012, Istanbul, Turkey, 237-242.

Ulusal konferans bildirileri:

- **Uçal İ.** (2011) Bulanık Zaman Serileri ile Talep Tahmini, 11. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 23-24 Haziran, pp. 582-589.

