



**YENİ TİP BULANIK KÜMELER İLE YATIRIM ANALİZ TEKNİKLERİ:
YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BİR UYGULAMA**

Serhat AYDIN

**DOKTORA TEZİ
TEDARİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2020

Serhat AYDIN tarafından hazırlanan “YENİ TİP BULANIK KÜMELER İLE YATIRIM ANALİZ TEKNİKLERİ: YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BİR UYGULAMA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Tedarik ve Lojistik Yönetimi Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KABAK

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

İkinci Danışman: Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Cevriye GENCER

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Ergün ERASLAN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Yusuf Tansel İÇ

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Başkent Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Feyzan ARIKAN ÖKTEMER

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 11/03/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Serhat AYDIN
11/03/2020

YENİ TİP BULANIK KÜMELER İLE YATIRIM ANALİZ TEKNİKLERİ: YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BİR UYGULAMA

(Doktora Tezi)

Serhat AYDIN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2020

ÖZET

Yatırım analizi, bir işletme için mevcut alternatif yatırım araçlarının analiz edilerek, hangi yatırımın işletme için daha uygun olduğunun analiz edilme süreci olarak adlandırılabilir. Firmaların pazardaki konumunu etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesi, nakit akışlarını kontrol edebilme gücüdür. Bu nedenle, yatırım kararları firmaların detaylıca üzerinde durdukları ve sonuçta işletmenin piyasa değerini dolayısıyla değerini artırmaya yönelik kararlardır. Karar verme problemlerinin doğası gereği, yatırım kararları problemleri veri kullanımında belirsizlik içermektedir. Bu nedenle yatırım analizlerinin sadece klasik yöntemlerle değerlendirilmesi neticesinde elde edilen sonuçlar, işletmeleri yanlış karar almaya yönlendirebilmektedir. Sonuç olarak yatırım analizinde gerçek hayatın belirsizlik ortamını değerlendirmeye alan tekniklerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, literatürde önemli bir uygulama alanına sahip olan yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi problemi nötrosofik kümeler ve Pisagor bulanık kümeleri kullanarak yeni yatırım analizi eşitlikleri literatüre kazandırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada olasılık teoremi, entropi teoremi ve kosinüs uzaklık teoremini kullanan yeni bir Çok Ölçütlü Karar Verme modeli literatüre kazandırılmıştır. Çalışmanın literatüre diğer bir katkısı da Çok Ölçütlü Karar Verme problemlerinde farklı uzmanlar tarafından yamuk Pisagor bulanık sayılar ile ifade edilmiş değerlendirmeleri, tek bir değere yığıştıracak Pisagor harmonik yığışım operatörünün geliştirilmiş olmasıdır. Önerilen Çok Ölçütlü Karar Verme modelinin yeşil tedarik zincirinde uygulaması gerçekleştirilmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

Bilim Kodu : 90615
Anahtar Kelimeler : Yatırım Analizi, Bulanık Mantık, Çok Ölçütlü Karar Verme, Yeşil
Tedarik Zinciri
Sayfa Adedi : 218
Danışman : Prof.Dr.Mehmet KABAK
2. Danışman : Prof.Dr.Cengiz KAHRAMAN

INVESTMENT ANALYSIS TECHNIQUES WITH NEW EXTENSIONS OF FUZZY
SETS: AN APPLICATION IN GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

(Ph. D. Thesis)

Serhat AYDIN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2020

ABSTRACT

Investment analysis can be named as the process of analyzing which alternative investments are more suitable for the business by employing the available alternative investment decision making tools. One of the most important factors affecting the position of companies in the market is the ability to control cash flows. Therefore, investment decisions are the decisions that companies focus on in detail and ultimately to increase the market value and therefore the value of the business. Due to the nature of decision-making problems, investment decision problems contain uncertainty in data usage. For this reason, the results obtained by the classical investment analysis can lead the businesses to make wrong decisions. As a result, it has become necessary to use techniques that evaluate the uncertain environment of real investment decision making problems. In this study, the problem of evaluating investment alternatives, which has an important field of application in the literature, has been introduced into the literature by using neutrosophic sets and pythagorean fuzzy sets. In addition, a new Multi Attribute Decision Making model using probability theory, entropy theorem and cosine distance theorem has been introduced to the literature. A Pythagorean harmonic aggregation operator has been developed. The proposed Multi-atribute Decision Making model has been implemented in the green supply chain and its results have been interpreted.]

Science Code : 90615

Key Words : Investment Analysis, Fuzzy Logic, Multi Attribute Decision Making,
Green Supply Chain

Page Number : 218

Supervisor : Prof.Mehmet KABAK

Co Supervisor : Prof.Cengiz KAHRAMAN

TEŞEKKÜR

Çalışmamın en başından bitimine kadar, benden yardımlarını esirgemeyen pek çok kişiye teşekkür borçluyum. Öncelikle hem yüksek lisans hem doktora eğitimim boyunca her türlü bilgi ve tecrübesinden faydalandığım beraber çalışmaktan onur duyduğum değerli hocam Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a ve doktora aşamasında bana her türlü desteği sağlayan, deneyimi ile bana yol gösteren hocam Prof. Dr. Mehmet KABAK'a sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

Beni küçük yaştan itibaren kitabın gölgesinde yetiştiren sevgili aileme ve doktora çalışmam esnasında bana her türlü desteği sağlayan müstakbel eşime minnetlerimi bildiririm.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KARAR VERME	5
2.1. Karar Verme Ortamları	6
2.1.1. Belirlilik altında karar verme	6
2.1.2. Risk altında karar verme	6
2.1.3. Belirsizlik altında karar verme	6
2.1.4. Bulanık ortamda karar verme.....	7
2.2. Tek Ölçütlü ve Çok Ölçütlü Karar Verme	7
3. BULANIK KÜMELER VE UZANTILARI.....	9
3.1. Bulanık Kümeler	10
3.1.1. Bulanık Sayılar.....	13
3.1.2. Üçgensel bulanık sayılar	14
3.1.3. Üçgensel bulanık sayılarda aritmetik işlemler	15

Sayfa

3.1.4. Yamuk bulanık sayılar	15
3.1.5. Yamuk bulanık sayılarda aritmetik işlemler	17
3.2. Bulanık Küme Uzantıları	17
3.2.1. Tip-2 bulanık kümeler.....	18
3.2.2. Aralık değerli bulanık kümeler	19
3.2.3. Sezgisel bulanık kümeler	20
3.2.4. Bulanık çoklu kümeler	21
3.2.5. Durağan olmayan bulanık kümeler	21
3.2.6. Küresel bulanık kümeler	22
3.2.7. Nötrosofik kümeler	23
3.2.8. Pisagor bulanık kümeler.....	25
4. BULANIK YATIRIM ANALİZİ TEKNİKLERİ.....	29
4.1. Literatür Araştırması	31
4.2. Yığıştirılmış Nötrosofik Yatırım Analiz Teknikleri	37
4.2.1. Yığıştirılmış nötrosofik şimdiki değer analizi	37
4.2.2. Yığıştirılmış nötrosofik gelecek değer analizi	45
4.2.3. Yığıştirılmış nötrosofik geri ödeme süresi analizi	47
4.2.4. Yığıştirılmış nötrosofik kazanç maliyet analizi	53
4.2.5. Yığıştirılmış nötrosofik iç verim oranı analizi	60
4.3. Nötrosofik Eşdeğer Yatırım Analiz Teknikleri.....	66
4.3.1. Nötrosofik eşdeğer şimdiki değer analizi.....	66
4.3.2. Nötrosofik eşdeğer gelecek değer analizi	71
4.3.3. Nötrosofik eşdeğer geri ödeme süresi analizi	73
4.3.4. Nötrosofik eşdeğer kazanç maliyet analizi	76

4.4. Aralık Değerli Nötrosofik Eşdeğer Yatırım Analiz Teknikleri.....	80
4.4.1. Aralık değerli sayılar ile aritmetik işlemler	80
4.4.2. Aralık değerli nötrosofik eşdeğer şimdiki değer analizi	83
4.4.3. Aralık değerli nötrosofik eşdeğer gelecek değer analizi	93
4.4.4. Aralık değerli nötrosofik eşdeğer geri ödeme süresi analizi	95
4.4.5. Aralık değerli nötrosofik eşdeğer kazanç maliyet analizi	102
4.5. Yığıştırılmış Pisagor Yatırım Analiz Teknikleri.....	110
4.5.1. Yığıştırılmış Pisagor şimdiki değer analizi	110
4.5.2. Yığıştırılmış Pisagor gelecek değer analizi.....	118
4.5.3. Yığıştırılmış Pisagor geri ödeme süresi analizi.....	119
4.5.4. Yığıştırılmış Pisagor kazanç maliyet analizi.....	125
4.5.5. Yığıştırılmış Pisagor iç verim oranı analizi	131
4.6. Aralık Değerli Pisagor Yatırım Analiz Teknikleri.....	136
4.6.1. Aralık değerli Pisagor şimdiki değer analizi.....	137
4.6.1. Aralık değerli Pisagor gelecek değer analizi.....	146
4.6.3. Aralık değerli Pisagor geri ödeme süresi analizi.....	148
4.6.4. Aralık değerli Pisagor kazanç maliyet analizi.....	149
5. PİSAGOR BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME MODELİ....	151
5.1. Literatür Araştırması	151
5.2. Pisagor Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Modeli Adımları	155
6. UZMAN KARARLARININ YIĞIŞTIRILMASI.....	161
6.1. Literatür Araştırması	161
6.2. Önerilen Modelin Adımları.....	163

7. UYGULAMA.....	175
7.1. Güneş Enerjisi Panelleri	177
7.2.Önerilen ÇÖKV Modelinin Uygulanması	181
7.3.Problemin Pisagor TOPSIS Yöntemi ile Çözümü	194
8. SONUÇ	201
KAYNAKLAR	203

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Çalışmaların kullanılan yöntemlere göre sınıflandırılması	32
Çizelge 4.2. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri	41
Çizelge 4.2. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri	41
Çizelge 4.3. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri	42
Çizelge 4.4. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştırılmış üyelik dereceleri	43
Çizelge 4.5. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri	44
Çizelge 4.6. Alternatiflere ait net değerler	44
Çizelge 4.7. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	49
Çizelge 4.8. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri	49
Çizelge 4.9. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştırılmış üyelik dereceleri	50
Çizelge 4.10. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri	51
Çizelge 4.11. Alternatiflere ait net değerler	52
Çizelge 4.12. Alternatiflere ait geri ödeme süresi çizelgesi	53
Çizelge 4.13. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	55
Çizelge 4.14. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	56
Çizelge 4.15. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştırılmış üyelik dereceleri	57
Çizelge 4.16. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri	58
Çizelge 4.17. Alternatiflere ait net değerler	59
Çizelge 4.18. Alternatif 'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	61
Çizelge 4.19. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştırılmış üyelik dereceleri	62
Çizelge 4.20. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri	63
Çizelge 4.21. Alternatife ait net değerler	63
Çizelge 4.22. Alternatiflere ait toplam beklenen değerler	70

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.23. Parametrelere ait toplam beklenen değerler	75
Çizelge 4.24. Alternatiflere ait geri ödeme süresi hesaplamaları	76
Çizelge 4.25. Alternatiflere ait toplam beklenen değerler	79
Çizelge 4.26. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	89
Çizelge 4.27. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	89
Çizelge 4.28. Alternatiflere ait yığıştirılmış olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	90
Çizelge 4.29. Alternatiflere ait parametrelerin toplam beklenen değerleri	91
Çizelge 4.30. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	97
Çizelge 4.31. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	98
Çizelge 4.32. Alternatiflere ait yığıştirılmış olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	99
Çizelge 4.33. Alternatiflere ait parametrelerin toplam beklenen değerleri	100
Çizelge 4.34. Alternatif 1'e ait geri ödeme süresi çizelgesi	101
Çizelge 4.35. Alternatif 2'ye ait geri ödeme süresi çizelgesi	101
Çizelge 4.36. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	104
Çizelge 4.37. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri.....	105
Çizelge 4.38. Alternatiflere ait yığıştirılmış olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri....	107
Çizelge 4.39. Alternatiflere ait parametrelerin toplam beklenen değerleri	108
Çizelge 4.40. Alternatif 1'e ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	114
Çizelge 4.41. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	114
Çizelge 4.42. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştirılmış üyelik dereceleri	115
Çizelge 4.43. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştirılmış üyelik dereceleri	116
Çizelge 4.44. Alternatife ait net değerler	117
Çizelge 4.45. Alternatif 1'e ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	121
Çizelge 4.46. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	121

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.47. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştirılmış üyelik dereceleri	122
Çizelge 4.48. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştirılmış üyelik dereceleri	123
Çizelge 4.49. Alternatife ait net değerler	124
Çizelge 4.50. Alternatif 1'e ait geri ödeme süresi çizelgesi	124
Çizelge 4.51. Alternatif 2'ye ait geri ödeme süresi çizelgesi	125
Çizelge 4.52. Alternatif 1'e ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	126
Çizelge 4.53. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	127
Çizelge 4.54. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştirılmış üyelik dereceleri	128
Çizelge 4.55. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştirılmış üyelik dereceleri	129
Çizelge 4.56. Alternatife ait net değerler	130
Çizelge 4.57. Parametrelere ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	132
Çizelge 4.58. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştirılmış üyelik dereceleri	133
Çizelge 4.59. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştirılmış üyelik dereceleri	133
Çizelge 4.60. Alternatife ait net değerler	134
Çizelge 4.61. Alternatif 1'e ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	141
Çizelge 4.62. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	142
Çizelge 4.63. Alternatiflere ait yığıştirılmış olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri	143
Çizelge 4.64. Alternatiflere ait olası değerler ve durulaştirılmış üyelik dereceleri	144
Çizelge 4.65. Alternatiflere ait net değerler	144
Çizelge 5.1. Yeşil tedarik zinciri literatür taraması	153
Çizelge 5.2. İkili karşılaştırma matrisi ölçeği	156
Çizelge 6.1. Pisagor bulanık sayılar literatür taraması	162
Çizelge 7.1. Ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi	184
Çizelge 7.2. Ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi	184

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.3. Ölçütlere ait puan matrisi	185
Çizelge 7.4. Ölçütlere ait çarpımsal matris	185
Çizelge 7.5. Ölçütlere ait öncelik vektörü	186
Çizelge 7.6. Ölçütlere ait olasılık matrisi	186
Çizelge 7.7. Verimlilik kriterine ait dilsel ifade ölçeği	188
Çizelge 7.8. Maliyet kriterine ait dilsel ifade ölçeği	188
Çizelge 7.9. Montaj kolaylığı kriterine ait dilsel ifade ölçeği	188
Çizelge 7.10. Az ışık ortamındaki performansı kriterine ait dilsel ifade ölçeği	189
Çizelge 7.11. Kullanım ömrü kriterine ait dilsel ifade ölçeği	189
Çizelge 7.12. Kapladığı alan kriterine ait dilsel ifade ölçeği	189
Çizelge 7.13. Estetik tasarım kriterine ait dilsel ifade ölçeği	190
Çizelge 7.14. Dilsel ifade karar matrisi	190
Çizelge 7.15. Aralık değerli Pisagor sayı karar matrisi	190
Çizelge 7.16. Tek değerli Pisagor sayı karar matrisi	192
Çizelge 7.17. Ağırlıklandırılmış karar matrisi	195

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Üyelik fonksiyonu kısımları	11
Şekil 3.2. Bulanık kümeler (a) normal (b) normal olmayan	12
Şekil 3.3. Bulanık kümeler (a) monoton (b) monoton olmayan	12
Şekil 3.4. Bulanık sayı kesim seviyeleri	13
Şekil 3.5. Üçgensel bulanık sayı	14
Şekil 3.6. Yamuk bulanık sayı	16
Şekil 3.7. Klasik bulanık küme (a), bulanıklaştırılmış klasik küme (b), Tip-2 bulanık küme (c) üyelik fonksiyonları	18
Şekil 3.8. Aralık değerli bulanık küme	19
Şekil 3.9. Küresel bulanık kümelerin gösterimi	22
Şekil 4.1. Makalelerin yayımlandıkları yıllara göre sınıflandırılması	31
Şekil 5.1. Makalelerin yayımlandıkları yıllara göre sınıflandırılması	153
Şekil 8.1. Türkiye global radyosyan değerleri	200
Şekil 8.2. Türkiye güneşlenme süreleri	201

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 7.1. Monokristal güneş panelleri	178
Resim 7.2. Polikristal güneş panelleri	179
Resim 7.3. İnce film güneş panelleri	179
Resim 7.4. Esnek güneş panelleri	180
Resim 7.5. Saydam güneş panelleri	181

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 8.1. Toplam güneş radyasyonu haritası	200

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

$\tilde{A}$	Nötrosofik küme
BB	Büyük bakım
$D(x)$	Durulaştırma operatörü
i	Faiz oranı
K	Kazanç değeri
M	İlk maliyet
n	Ekonomik ömür
HD	Hurda değeri
$\tilde{P}$	Pisagor bulanık küme
t	Büyük bakım zamanı
YB	Yıllık bakım
$\mu(x)$	Üye olma derecesi
$\nu(x)$	Üye olmama derecesi
$\pi(x)$	Tereddütlük derecesi

Kısaltmalar

Açıklamalar

AHP	Analitik hiyerarşi prosesi
ANP	Analitik ağ prosesi
ÇKKV	Çok kriterli karar verme
ÇÖKV	Çok ölçütlü karar verme
DEMATEL	Decision making trial and evaluation laboratory
ELECTRE	Elimination and choice translating reality
IFS	Sezgisel bulanık küme
MAUT	Multi attribute utility theory
NGD	Nötrosofik gelecek değer

Kısaltmalar**Açıklamalar**

NKMA	Nötrosofik kazanç maliyet analizi
NS	Nötrosofik kümeler
NŞD	Nötrosofik şimdiki değer
PFS	Pisagor bulanık kümeler
PGD	Pisagor gelecek değer
PKMA	Pisagor kazanç maliyet analizi
PŞD	Pisagor şimdiki değer
SFS	Küresel bulanık küme
SNWA	Nötrosofik yığışım opearatörü
SWA	Simple additive weighting
SWARA	Aşamalı ağırlık değerlendirme oran analizi
TBD	Toplam beklenen değer
TL	Türk lirası
TZY	Tedarik zinciri yönetimi
YTYZ	Yeşil tedarik zinciri yönetimi

1. GİRİŞ

Yatırım analizi; bir işletme için mevcut alternatif yatırım araçlarının analiz edilerek, hangi yatırımın işletme için daha uygun olduğunun analiz edilme süreci olarak adlandırılabilir. Firmaların pazardaki konumunu etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesi, nakit akışlarını kontrol edebilme gücüdür. Bu nedenle, yatırım kararları firmaların detaylıca üzerinde durdukları ve sonuçta işletmenin piyasa değerini dolayısıyla değerini artırmaya yönelik kararlardır.

Karar verme problemlerinin doğası gereği, yatırım kararları problemleri veri kullanımında belirsizlik içermektedir. Bu nedenle yatırım analizlerinin sadece klasik yöntemlerle değerlendirilmesi neticesinde elde edilen sonuçlar, işletmeleri yanlış karar almaya yönlendirebilmektedir. Sonuç olarak yatırım analizinde gerçek hayatın belirsizlik ortamını değerlendirmeye alan tekniklerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Günümüzde belirsizlik ortamını modelleyebilmek amacıyla 1965 yılında Lütü Alişker Zadeh tarafından geliştirilen bulanık mantık temelli bulanık küme ve bulanık alt küme teorisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bulanık mantık insan düşünce ve değer yargılarını model içerisine yansıtarak gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlaması nedeniyle, birçok alanda kullanım yeri bulmuştur.

Son 60 yılda bulanık mantık birçok alanda kullanılmış ve özellikle uzmanların bir elamanın kümeye ait olma ve ait olmama derecelerini belirleyen üyelik derecesi ve üye olmama derecesi üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar, bulanık küme teorisinin genişletilerek yeni tip bulanık kümelerin önerilmesine neden olmuştur. Yeni tip bulanık kümelerin önerilmesindeki temel neden, belirsizliğin daha iyi modellenmeye çalışılmasıdır.

Bulanık mantık, yatırım analizi değerlendirme problemlerinde araştırmacılar tarafından belirsizliğin matematiksel olarak modellenmesinde kullanılmıştır. Gerçekleştirilen bu tez çalışmanın birden çok amacı vardır. Bu amaçlardan bir tanesi yeni tip bulanık kümeleri kullanarak yatırım analizi teknikleri geliştirmektir. Yeni tip bulanık kümeler kullanarak, yatırım alternatiflerine ait hem net değerler hem de bu net değerlere uzmanlar tarafından

belirlenen ait üyelik derecelerini bir arada kullanan yeni yatırım analizi modelleri geliştirilmiştir.

Çalışmanın diğer bir hedefi Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) Problemleri için yeni bir çözüm yöntemi önermektir. Bu çalışmada, olabilirlik teorisi, entropi kavramı ve kosinüs benzerlik teoremini kullanan yeni bir model önerilmiştir. Önerilen bu yöntemde, olabilirlik teorisi ile ölçütlerin ağırlıkları bulunmuş, entropi kavramı ve kosinüs benzerlik teoremi yardımı ile karar matrisindeki alternatiflerin ağırları hesaplanmış, hesaplanan bu ağırlıklara göre alternatifler sıralanmıştır. Önerilen bu yöntem yeşil tedarik zincirinde oldukça popüler olan güneş enerji panelleri değerlendirme probleminde uygulamaya yer verilmiş ve elde edilen alternatif ağırlıkları bulanık TOPSIS yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın diğer hedeflerinden biri farklı uzmanların kararlarını tek bir değere dönüştüren yığışım operatörü eşitliği geliştirmektir. Bu kapsamda, Pisagor sayıları sınırları içerisinde gerçekleştirdiğimiz literatür araştırması sonunda özellikle aritmetik ortalamanın kullanımının kolay olması, iyi sonuç vermesi ve çok fazla karışık aritmetik işlemler içermemesi nedeniyle birçok çalışmada kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise literatürde mevcut olmayan yamuk bulanık sayılar için harmonik ortalama yöntemi kullanılarak yeni bir yığışım operatörü önerilmiştir. Harmonik ortalama, aritmetik ortalamanın aksine özellikle aykırı değerlerin bulunduğu serilerde, bu aykırı değerlerin ortalama olan etkisini azaltarak aritmetik ortalamaya göre daha iyi sonuç vermektedir. Bu mantıktan yola çıkarak, uzmanların değerlendirmesi sonucunda aykırı değerlerin bulunduğu karar matrislerinin yığıştırılması amacıyla, yeni bir yığışım operatörü önerilmiştir. Tez çalışmasının içeriği şu şekilde oluşturulmuştur:

İkinci bölümde, karar verme kavramı ile genel tanımlara yer verilmiş ve karar verme ortamları kısaca açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, çalışmalarımıza temel teşkil edecek temel bulanık kümelerden bahsedilmiş ve temel bulanık aritmetik işlemler anlatılmıştır. Daha sonra çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen bulanık küme uzantılarından bahsedilmiştir. Bulanık küme uzantıları ile ilgili olarak genel olarak üyelik, üye olmama ve tereddüt derecelerinin nasıl tanımlandığından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde, bulanık yatırım analizi teknikleri geliştirilmiştir. Nötrosifik kümelerikullanan üç farklı yöntem, Pisagor bulanık küme teorisini kullanan iki farklı yöntem

literatüre kazandırılmıştır. Önerilen modellerin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla, önerilen eşitliklere ait sayısal örnekler verilmiştir. Beşinci bölümde, yeni bir Pisagor ÇÖKV yöntemi önerilmiştir. Yönteme ait uygulama adımları anlatılmış, adımlarda kullanılan teoremlerden bahsedilmiştir. Altıncı bölümde, yamuk bulanık Pisagor sayılar için yeni bir harmonik yığışım operatörü önerilmiştir. Önerilmiş yönteme ait geliştirilen eşitliklerin ispatları açıklanmıştır. Yedinci bölümde ise, önerilen ÇÖKV yönteminin yeşil tedarik zincirinde uygulaması gösterilmiştir. Bu uygulamada, güneş enerji panelleri önerilen modele göre değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Pisagor TOPSIS yöntemi ile kıyaslanmıştır.

Son bölümde, tez çalışması genel hatları ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda önerilen nütrosifik yatırım analizi teknikleri ve pisagor bulanık yatırım analizi tekniklerinin çok kısaca kullandıkları temel adımlar özetlenmiş ve önerilen eşitliklerin literatüre katkılarından bahsedilmiştir. Çalışmanın diğer bir hedefi olan, ÇÖKV problemlerinde birden fazla uzmanın farklı değerlendirmelerini tek bir değerlendirmeye yığıştırılmasında kullanılmak üzere önerilen yeni pisagor harmonik yığışım operatörünün sağladığı faydalar ve literatüre olan katkısından bahsedilmiştir. Son olarak, önerilen ÇÖKV modelinin adımları çok kısaca özetlenmiş ve uygulama kısmında elde edilen verilerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler gerçekleştirilirken, Türkiye'deki güneş radyasyonunu en fazla alan bölgelere ve aylara göre değerlendirmeler yapılmış ayrıca güneş enerjisi panellerinin sıralanmasında etkili olan faktörler detaylı olarak açıklanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında özellikle nütrosifik ve pisagor bulanık sayıların teorik kısmı ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiş ve birden fazla alanda uygulanabilirliği gösterilmiştir. Birden fazla alandaki uygulamaları gösterilmesindeki amaç, farklı uygulamaların aynı zamanda tek bir model altında da kullanılabilir olmasıdır. Örnek olarak önerilen ÇÖKV modelinde, farklı karar vericilerin değerlendirmeleri önerilen yığışım operatörü ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülebilir, yine önerilen bulanık yatırım analizi eşitliklerinin sonuçları (şimdiki değer, kazanç maliyet analizi) alternatiflerin değerlendirilmesinde ölçüt olarak kullanılabilir. Bu kapsamda, tez çalışmasının içeriğindeki farklı uygulama başlıkları ayrı ayrı detaylı olarak anlatılmış, ancak bunların tek bir model çatısı altında toplanması, farklı bulanık küme uzantılarını da içerecek şekilde modellenmesi hususu ileriki dönemlerde yapılacak çalışmaların konusu olacaktır.

2. KARAR VERME

İnsanlar günün her zaman diliminde basitten karmaşığa birçok karar verme durumuyla karşı karşıya kalmaktadırlar. Karar verme kavramını açıklamak için birçok farklı tanım kullanılabilir. Bu tanımlardan bazıları şu şekildedir:

"Karar verme, her yönetim düzeyinde sonuçlandırılması zorunlu olan bir veya bir dizi sorunun tüm boyutlarıyla değerlendirilecek en uygun sonucu verebileceği saptanan seçenek ve/ veya seçeneklerin belirlenmesidir" (Bağırkan, 1983: 4,5).

"Karar verme birden fazla boyutlu olan olay ve/ veya olayların var olduğu durumlarda seçim yapmaktır. Olay ve/ veya olayların boyutlarının artması durumunda karar verme güç, zaman alıcı ve pahalı bir işlem olabilir" (Bağırkan, 1983: 4,5).

Karar verme süreci uzmanların mevcut olan seçenekler arasından seçim, sıralama veya sınıflandırmak yapması olarak tanımlanabilir (Topçu, 2000).

Birden çok alternatif arasından belirlenen amaç veya amaçlara göre en uygun olan alternatifi seçme süresi olarak adlandırılabilir (Evren ve Ülengin, 1992).

Karar verme, belirli bir sorunun çözümüne ulaşmak için iki veya daha fazla olası alternatif arasından bir hareket tarzının seçilmesi olarak tanımlanabilir.

Karar verme süreci çeşitli adımlardan oluşur ve bu adımlar problemin yapısına göre değişiklik gösterebilmektedir. Ancak karar verme süreci genel olarak şu adımlardan oluşur: Problemin tanımlanması ve problemin çözümü için gerekli olan bilgilerin toplanması, problemin çözümünde kullanılacak çözüm yöntemlerinin belirlenmesi, problemin çözüm maliyetinin her çözüm yöntemi için belirlenmesi, çeşitli çözümler arasından en uygun olanın belirlenen çözüm yöntemi ile seçilmesi/ sıralanması veya sınıflandırılması, kararın uygulanması ve verilen karar için duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesidir. Son adım olarak, kararın uygulanması sonucunda elde edilen verilen değerlendirilmesi tanımlanabilir.

2.1. Karar Verme Ortamları

Karar verme ortamları; belirlilik altında karar verme, risk altında karar verme, belirsizlik altında karar verme ve bulanık ortamda karar verme olarak dört ayrı başlık altında toplanabilir.

2.1.1. Belirlilik altında karar verme

Belirlilik durumunda verilecek kararlar için, seçeneklerin meydana getirdiği sonuçlar net olarak biliniyorsa, yani seçeneklerin sonuçları kesinlikle biliniyorsa belirlilik altında karar verme durumu söz konusudur. Bu durumda karar verebilmek için, karar vermedeki tüm uygun seçenek ve sonuçlar tam olarak bilinmelidir. İdeal koşullarda bile seçenek ve sonuçları hakkında tam bilgiye sahip olmak çok mümkün değildir. Bu nedenle, bu karar verme ortamı çok nadir olarak görünen bir ortamdır (Sarı, 2012).

2.1.2. Risk altında karar verme

Risk durumunda karar vermede, problemin çözümünü sağlayacak seçeneklere ait geçmiş dönem verileri yeterli seviyede değil ve bu alternatiflerin belirli bir olasılık değerine bağlı olarak meydana geleceğini kabul edilir. Diğer bir ifade ile, bu ortamda kararlar belirli sayıdaki alternatif belirli bir risk değerine sahip olarak ortaya çıkacağı varsayımına göre verilir. Buradaki olasılıklar (riskler), önceki dönemlerden elde edilen verilerden veya benzer olaylara ilişkin bilgilerden faydalanılarak hesaplanır (Bağırkan, 1983:4,5).

2.1.3. Belirsizlik altında karar verme

Bu karar verme durumunda karar ortamı içinde hiçbir veri bulunmamaktadır ve olaylar uzmanın kontrolü dışındadır. Diğer bir ifadeyle, alternatiflerin nasıl bir sonuç vereceği uzman tarafından bilinmemekte ve meydana gelebilecek sonuçlar hakkında herhangi bir olasılık değeri belirlenemez. Bu karar verme ortamında her bir seçenek birden fazla sonuç doğurabilir ancak bu sonuçlara ait herhangi bir sayısal değer bilinmemektedir (Bağırkan, 1983:8, 9). Risk ortamında karar verme sürecinde seçeneklerin meydana gelebilme olasılıkları belirli iken, bu karar ortamında ortam olasılıkları belli değildir.

2.1.4. Bulanık ortamda karar verme

Belirlilik, risk ortamı ve belirsizlik altında karar verme ortamlarındaki problemlerin birçoğuna analitik yöntemler uygulanarak çözüm sağlanırken, bulanık ortamda bu yöntemler kullanılarak çözüm sağlanamaz ve dilsel verilere ihtiyaç duyulur. Bulanık ortamdaki dilsel ifadeler bulanık mantık teorisiyle ortamdaki belirsizlik matematiksel olarak modellenebilir ve probleme ait çözüm sağlanabilir (Sarı, 2012).

Bulanık ortamda karar verme son zamanlarda araştırmacılar tarafından çalışmalarda oldukça fazla kullanılmaktadır. Özellikle kişi yargılarına dayanan karar verme süreci uygulaması, eksik veya tam olarak belli olamayan veriler ile modellemeye uygun olması bulanık ortamda karar verme sürecinde kullanılan tekniklerin güçlü yanlarını oluşturmuştur.

2.2. Tek Ölçütlü ve Çok Ölçütlü Karar Verme

Problemlerin çözümünün sağlanabilmesi için karar analizi sistematik bir yaklaşım ile problemleri ele alır. Bu sistematik yaklaşım içerisinde, birçok nicel ve nitel ölçüt kullanılarak (maliyet, teknik ölçüler, boyutlar, hacim, kalite, vb.) çözüm bulunmaya çalışılır. Tek ölçütlü karar verme, tek bir ölçüte göre değerlendirmeye tabi tutarak problemi çözüme kavuşturacak olan sistematik bir yaklaşımdır. Ancak günlük hayat problemleri genel olarak tek ölçütlü karar verme problemleri yapısına uymamaktadır. Ayrıca, kullanılan bu tek ölçüt herhangi bir neden ile değiştiğinde veya değiştirildiğinde elde edilen çözümün değişmesi ihtimali çok yüksek olacaktır. Bu nedenden dolayı uzun vadeli problemlerin çözümünde ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak değişen ölçütler yapıları ele alındığında tek ölçütlü karar verme yöntemleri ile doğru sonuçlar elde edilememektedir.

ÇÖKV, birçok ölçüte göre değerlendirmeye tabi tutarak problemi çözüme kavuşturacak olan sistematik bir yaklaşımdır. Bu sistematik yaklaşımda, her ölçüte göre farklı fayda fonksiyonları ortaya çıkmaktadır ve bu fayda fonksiyonlarına göre çıktı değeri değişmektedir. ÇÖKV yaklaşımlarında kullanılan ölçütler hem nicel hem de nitel ölçütler olabilir. Nitel ölçütlere göre alternatiflerin değerlendirilmesi yapılırken uzman yargılarına ve uzman değerlendirmelerine başvurulması kaçınılmaz bir husus olarak önümüze çıkmaktadır. Bu nedenle, bulanık ortamda çok ölçütlü karar verme tekniklerinde dilsel

ifadelerin kullanılması yaklaşımı son yıllarda araştırmacılar tarafından oldukça sık ele alınan problem yapılarından olmuştur.

3. BULANIK KÜMELER VE UZANTILARI

Bulanık mantık, ilk olarak Dr. Lütü Asker Zadeh tarafından 1965 yılında “Bulanık Kümeler” (Zadeh, 1965) başlıklı çalışmasıyla literatüre girmiştir. Bu çalışmada bulanık mantığın günlük yaşamda sıkça karşılaşılan, bilginin tam ve kesin olmadığı, yorumlanması güç karmaşık durumların, insan algılamasına ve karar vermesine dayanan süreçlerde kullanılması gerektiği fikri savunulmuştur.

Bulanık mantık kavramını basit bir şekilde anlamak için, “biraz sıcak”, “hemen hemen doğru”, “çok hızlı” vb. ifadelerine bakılacak olursa, bu ifadelerin matematiksel açıdan bir durum ifade etmemelerine karşın, bir problemin çözümü açısından günlük hayatta kullanılan ve sıkça karşılaşılan örnekler olduğu görülür. "Bulanık mantık bir insanın anlayabileceği ve çözüme ulaştırabileceği şekilde sistemlerin ya da cihazların çalışmasına izin verir. Kelime anlamı olarak, belirsiz bir durum içeriyor gibi gözükse de matematiksel uygulamalarda oldukça kullanışlı olmaktadır" (Kıyak, 2003).

Günlük hayatta karşımıza çıkan problemlerin çoğunun belirsiz faktör içermesi, göreceli olması ve tam modellenememesi çözümlerin sorgulanmasına geleneksel anlayış olarak kabul edilen Aristo mantığının bu alanda yetersizliğinin anlaşılmasına ve belirsizliği temel alan mantık anlayışının belirlenmesine yol açmıştır. Aristo mantığına göre, olaylar evet-hayır, siyah-beyaz, 0-1 vb. gibi ikili mantığı kullanır. Bu ikili değerler arasındaki seçeneklere Aristo mantığında yer verilmez. Zadeh'e göre ise bu yaklaşım günlük hayatta tam olarak geçerli değildir. İnsan yargıları evet-hayır yerine "belki", siyah-beyaz yerine "gri" veya 0-1 yerine "0,8" gibi tanımlamaları kullanabilir (Şen, 2004: 21-24).

Bulanık mantık, araç olarak bulanık kümeleri kullanmaktadır. Amacı, kesin olmayan önermelerin yaklaşık muhakemesi için esaslar ortaya koymaktır. Bulanık mantık bulanık ifadelerin (nadir, genellikle, bol vb.), bulanık sayısal ifadelerin (çok az, hemen hemen, vb.) bulanık doğruluk değerlerinin (çok doğru, az doğru, vb.) bulanık değerlerle ölçülmesine olanak tanır (Aslan, 2009).

3.1. Bulanık Kümeler

Klasik küme kavramında, bir X kümesindeki A alt kümesi, kendisine ait karakteristik fonksiyonu μ_A ile gösterilir. Karakteristik fonksiyon, x 'in elemanlarını $\{0,1\}$ kümesine dönüştürür. $\mu_A: \{0,1\}$. Bu dönüşüm, x 'in her elemanı için bir sıralı ikili kümesiyle ifade edilmektedir. “ X, A ’nın içindedir” şeklindeki bir önermenin doğruluğu, $(x, \mu_A(x))$ sıralı ikilisiyle belirlenmektedir. Eğer sıralı ikilinin ikinci elemanı 1 ise önerme doğru, 0 ise önerme yanlıştır.

Bulanık kümedeki yatay eksenindeki gerçek sayıların her biri, düşey ekseninde 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerine dönüştürülmektedir. Böylece yatay eksenindeki bir gerçek sayı x ile gösterilirse bunun üyelik derecesi de $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ile gösterilmektedir ve $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$ olduğu anlaşılmaktadır (Topel, 2006).

Bir klasik x kümesinin elemanları,

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (3.1)$$

Şeklinde gösterilirken, elemanlar ve üyelik dereceleri kesikli ve sonlu bir fonksiyonla ifade edildiği durumlarda bunun bulanık hali,

$$X = \left\{ \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} +, \dots, + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.2)$$

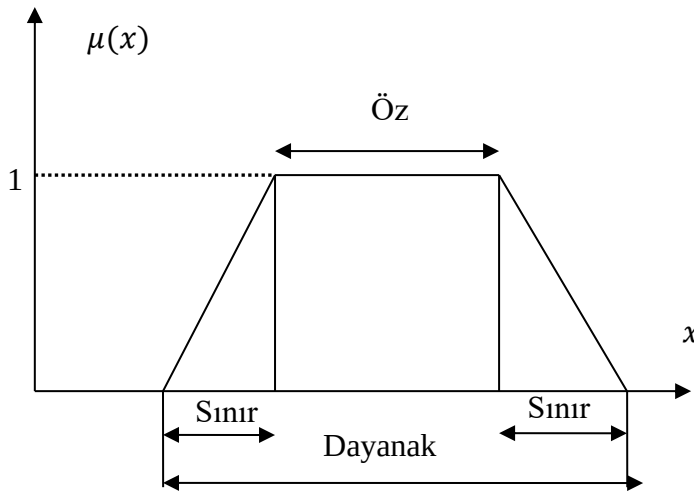
şeklinde gösterilir.

Bir bulanık küme, elemanları 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip fonksiyonlar ile tanımlanır. Üyelik fonksiyonu, kümenin elemanlarının kümeye ait olma derecesini ifade eder.

$$x \in A \text{ ve } A \subseteq X$$

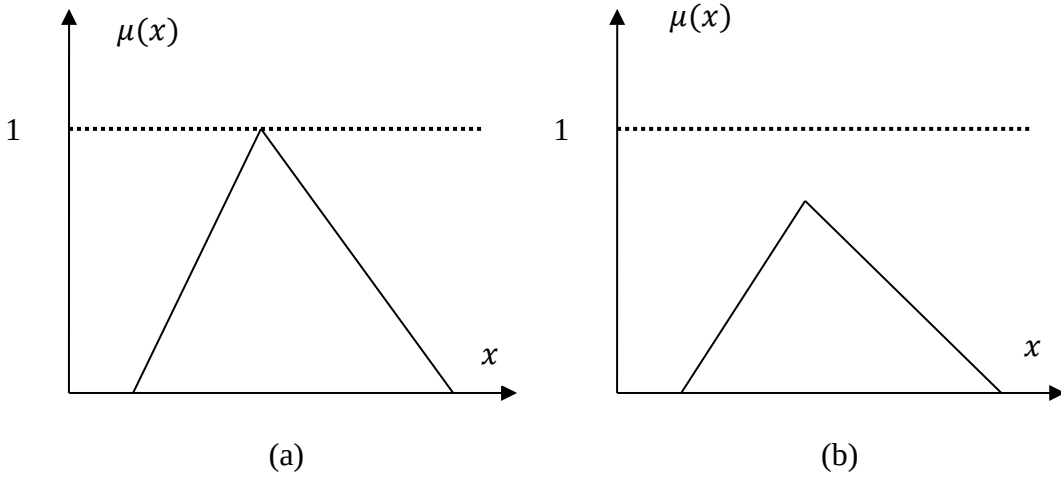
$$\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1] \text{ olarak ifade edilir.}$$

$\mu(x)$ üyelik fonksiyonu $[0,1]$ arasında değer almaktadır. Kümeye dahil olmayan elemanların üyelik fonksiyonu değeri 0, kümeye tam olarak dahil olan elemanların üyelik fonksiyonu değerleri ise 1 olarak atanmaktadır. Kümeye dahil olup olmadıkları tam olarak belli olmayan elemanlara ise belirsizlik durumuna göre $[0,1]$ arasında değerler atanmaktadır.



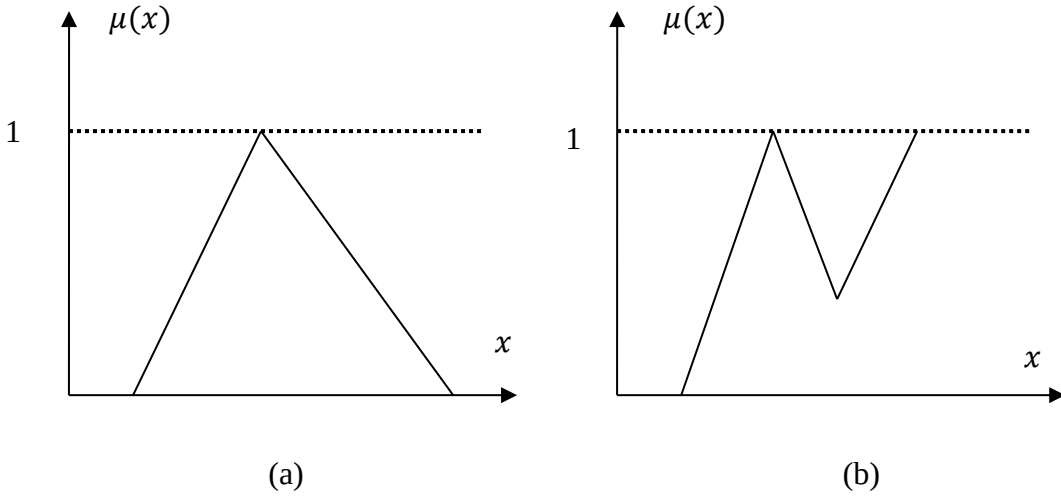
Şekil 3.1. Üyelik fonksiyonu kısımları

Şekil 3.1’de üyelik fonksiyonun kısımlarını inceleyecek olursak, üyelik dereceleri 1’e eşit olan öğelerin toplandığı alt küme kısmına, o alt kümenin özü denir. Burada $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ ’dir. Bir alt kümenin tüm öğelerini içeren aralığa o alt kümenin dayanağı adı verilir. Dayanakta bulunan her öğenin 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleri vardır. Üyelik dereceleri 1’e veya 0’a eşit olmayan öğelerin oluşturduğu kısımlara üyelik fonksiyonun sınırları veya geçiş bölgeleri denir (Şen, 2004). Bu özelliklerin haricinde üyelik fonksiyonun sahip olması gereken iki tane daha özellik bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kümenin normal olmasıdır ki, buna göre kümede en az bir tane üyelik derecesi 1’e eşit olan üye bulunmalıdır. Şekil 3.2’de normal ve normal olmayan kümeler gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bulanık kümeler (a) normal (b) normal olmayan

İkinci özellik olarak da bulanık kümenin dış bükey olmasıdır. Bu özelliğe göre üyelik fonksiyonu kümenin dayanağı üstünde, ya sürekli artar ya da sürekli azalır. Bunların dışındaki durumlarda bulanık kümelerin üyelik fonksiyonu olamaz. Şekil 3.3'te monoton ve monoton olmayan kümeler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Bulanık kümeler (a) monoton (b) monoton olmayan

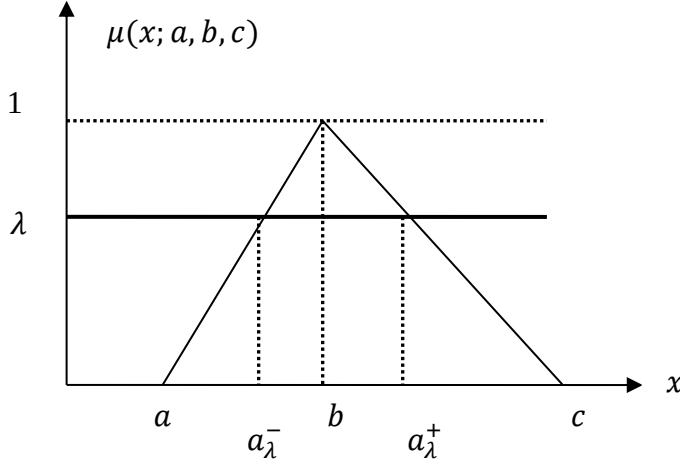
3.1.1. Bulanık Sayılar

Bulanık kümelerin sonsuz sayıda alt kümesi vardır. Fakat bulanık kümelerle yapılan işlemler fazla işlem gerektirdiğinden bazı özel bulanık sayılar geliştirilmiştir. Problemde kullanılacak olan bulanık sayının şekli problemin yapısı, elde edilen veriler vb. etkenlere bağlıdır.

Bulanık sayılardan bahsederken ve bu sayılarla işlem yaparken bunların belirli bir λ seviyesi kesimler üzerinde durulacaktır. $\lambda = 1$ olduğunda sayı gerçek sayıya, $\lambda = 0$ olması ise tam bulanık, yani aralık sayıya dönüşür. $0 < \lambda < 1$ olması durumunda aynı bulanık sayının λ seviyesinde kesik bulanık alt kümesi düşünülecektir. Bir $\tilde{A}$ bulanık alt kümesinin λ seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesik bulanık küme:

$$\tilde{A}_\lambda = \{x \in \tilde{A} / \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \lambda\} \quad (3.3)$$

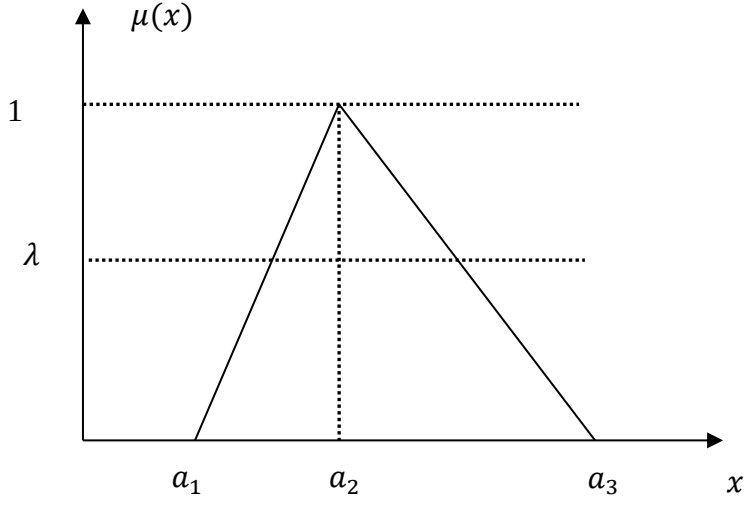
Şekil 3.4'te bulanık sayı kesim evreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bulanık sayı kesim seviyeleri

Bir bulanık alt kümenin λ seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesilmiş bulanık kümenin a_λ^- ve a_λ^+ gibi, bir alt bir de üst sınır değerleri elde edilir. Bulanık sayılar üçgensel bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar, aralık tipi bulanık sayılar, gauss bulanık sayılar, üstel bulanık sayılar olarak sınıflandırılabilir. Ancak bu tez çalışmasında bulanık sayıların temel mantığının anlaşılması amacıyla literatürde en çok kullanılan üçgensel ve yamuk sayılar ile işlemler daha sonraki bulanık küme uzantılarına temel olması amacıyla anlatılacaktır.

3.1.2. Üçgensel bulanık sayılar



Şekil 3.5. Üçgensel bulanık sayı

$\tilde{A}$ üçgensel bulanık sayısı (a_1, a_2, a_3) olarak tanımlanabilir. Şekil 3.5'te gösterilen üçgensel bulanık sayılar için üyelik fonksiyonu:

$$\mu_a(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x \geq a_3 \end{cases} \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanır.

$\tilde{A}$ bulanık sayısının sağ ve sol üyelik dereceleri şu şekilde ifade edilir:

$$\tilde{A}_\lambda = [a_1^\lambda, a_3^\lambda] = [(a_2 - a_1)\lambda + a_1, (a_3 - a_2)\lambda + a_2] \quad (3.5)$$

olarak tanımlanır.

3.1.3. Üçgensel bulanık sayılarda aritmetik işlemler

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ üçgensel bulanık sayılar olmak üzere (Chen ve Hwang 1992):

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) \cong (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (3.6)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) \cong (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (3.7)$$

$$\tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 \text{ ise } \tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) \cong [a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3] \quad (3.8)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 \text{ ise } \tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) \cong [a_1 b_3, a_2 b_2, a_3 b_1] \quad (3.9)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 \text{ ise } \tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) \cong [a_3 b_3, a_2 b_2, a_1 b_1] \quad (3.9)$$

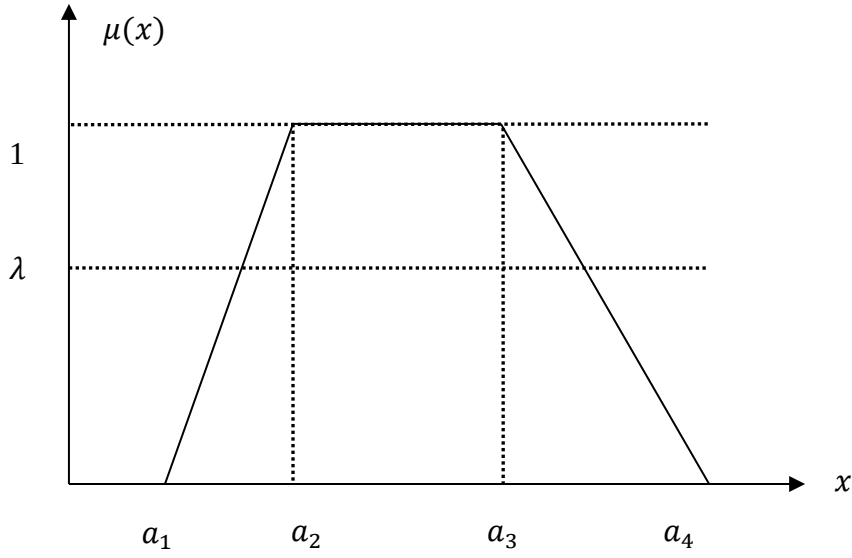
$$\tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 \text{ ise } \tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oslash (b_1, b_2, b_3) \cong [a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1] \quad (3.10)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 \text{ ise } \tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oslash (b_1, b_2, b_3) \cong [a_3/b_3, a_2/b_2, a_1/b_1] \quad (3.11)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 \text{ ise } \tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oslash (b_1, b_2, b_3) \cong [a_3/b_1, a_2/b_2, a_1/b_3] \quad (3.12)$$

3.1.4. Yamuk bulanık sayılar

Yamuk bulanık sayılar literatürde sıkça kullanılan diğer bir bulanık sayı çeşididir. Bulanık sayının gösterimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Yamuk bulanık sayı

$\tilde{A}$ yamuk bulanık sayısı (a_1, a_2, a_3, a_4) olarak tanımlanabilir. Şekil 3.6’da gösterilen yamuk bulanık sayılar için üyelik fonksiyonu:

$$\mu_a(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (3.13)$$

şeklinde tanımlanır.

$\tilde{A}$ bulanık sayısının sağ ve sol üyelik dereceleri şu şekilde ifade edilir:

$$\tilde{A}_\lambda = [(a_2 - a_1)\lambda + a_1, (a_3 - a_4)\lambda + a_4] \quad (3.14)$$

3.1.5. Yamuk bulanık sayılarda aritmetik işlemler

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ yamuk bulanık sayılar olmak üzere (Chen ve Hwang 1992):

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad (3.15)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1) \quad (3.16)$$

$$\tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 \text{ ise } \tilde{A} \otimes \tilde{B} \cong [a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4] \quad (3.17)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 \text{ ise } \tilde{A} \otimes \tilde{B} \cong [a_4 b_1, a_3 b_2, a_2 b_3, a_1 b_4] \quad (3.18)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 \text{ ise } \tilde{A} \otimes \tilde{B} \cong [a_4 b_4, a_3 b_3, a_2 b_2, a_1 b_1] \quad (3.19)$$

$$\tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 \text{ ise } \tilde{A} \oslash \tilde{B} \cong [a_1/b_4, a_2/b_3, a_3/b_2, a_4/b_1] \quad (3.20)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 \text{ ise } \tilde{A} \oslash \tilde{B} \cong [a_4/b_4, a_3/b_3, a_2/b_2, a_1/b_1] \quad (3.21)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 \text{ ise } \tilde{A} \oslash \tilde{B} \cong [a_4/b_1, a_3/b_2, a_2/b_3, a_1/b_4] \quad (3.22)$$

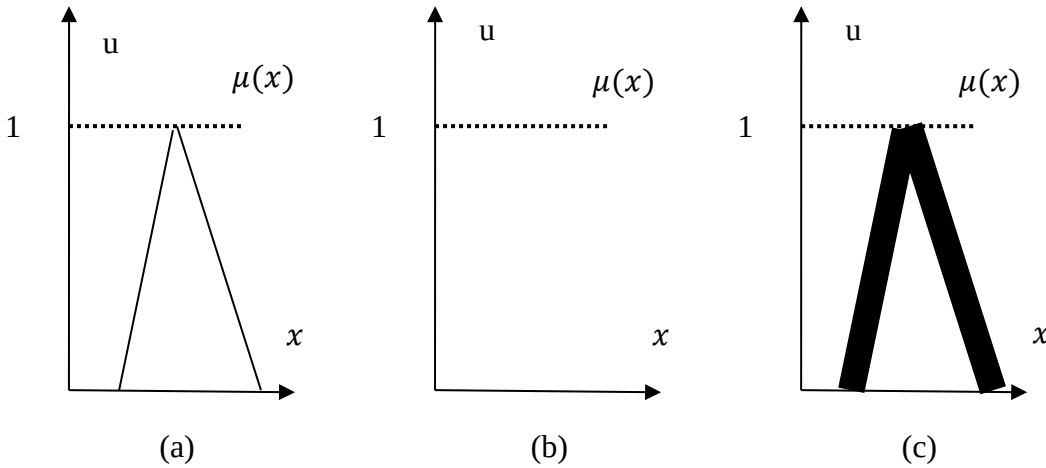
3.2. Bulanık Küme Uzantıları

Zadeh (1965) tarafından önerilen bulanık küme teorisi temel mantığı kümenin elemanlarının kümeye ait olma derecesini ifade edilmesi üzerine kurulmuştur. Ancak daha sonra ilerleyen yıllarda çeşitli araştırmacılar tarafından, kümenin elemanlarının kümeye ait olmama derecesi veya kümenin elemanlarının kümeye ait olup olmadığı konusunda herhangi bir yargıya sahip olmamanın da derecesinin belirlenmesi ile ilgili çeşitli bulanık küme teorileri geliştirilmiştir. Bu nedenle ilk olarak Zadeh tarafından üretilen bulanık kümeler "Klasik bulanık kümeler" olarak adlandırılmaktadır. Klasik bulanık kümelerden sonra literatüre kazandırılan bulanık küme uzantılarına bu bölümde yer verilecek olup, çalışmada nütrosifik bulanık kümeler ve Pisagor bulanık kümeler kullanılması nedeniyle bu bulanık küme uzantılarına detaylı olarak yer verilecektir.

3.2.1. Tip-2 bulanık kümeler

Tip-2 bulanık küme kavramı klasik bulanık kümeler olarak bilinen geleneksel bulanık küme kavramının uzantısı olarak 1975 yılında Zadeh tarafından önerilmiştir. Tip-2 bulanık küme kavramı, klasik bulanık kümeler kavramında kullanılan üyelik fonksiyonu tanımının üç boyutlu olarak tanımlanmış halidir. Zadeh bu çalışmasında üyelik fonksiyonu tanımını aralık olarak tanımlamış ve aralık değerli bulanık küme tanımını yapmıştır.

Klasik bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu $[0,1]$ aralığında herhangi bir değer olarak iki boyutlu bir yapıda ifade edilir. Tip-2 bulanık kümelerde ise yeni bir serbestlik derecesi tanımı yaparak iki boyutlu yapıyı üç boyuta taşımıştır. Öyle ki, klasik tip bulanık kümenin üyelik fonksiyonunu etrafındaki noktaları kaydırarak klasik bulanık küme bulanıklaştırılır. Burada x değerleri arasından belirlenen x' değerinin üyelik fonksiyonu artık birçok değerden oluşacaktır. Buradaki her bir değerın ağırlığını farklı tanımlayarak, bu bulanıklaştırma işleminden sonra Zadeh belirli bir alan belirleyerek Tip-2 bulanık kümelere ait üyelik fonksiyonunu elde etmiştir. Anlatılan bu ifadeler Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Klasik bulanık küme (a), bulanıklaştırılmış klasik küme (b), Tip-2 (c) üyelik fonksiyonları

Tip-2 bulanık kümeler klasik bulanık kümeler ile benzer şekilde $\tilde{A}$ notasyonu ile gösterilir:

$$\tilde{A} = \{(x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) | x \in X, u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad (3.23)$$

veya

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in [0,1]} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilir.

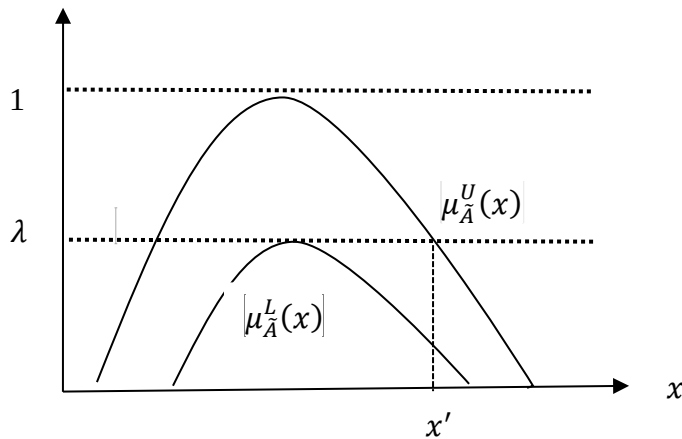
3.2.2. Aralık değerli bulanık kümeler

Aralık değerli bulanık kümeler Tip-2 bulanık kümelerin özel bir hali olarak Zadeh (1975) tarafından önerilmiştir. Bu çalışmanın temelinde uzmanın düşüncesini açıklamasında kapalı bir aralık tanımlamasına olanak sağlanmış, böylece klasik bulanık kümelerdeki $[0,1]$ aralığındaki atamasına kıyasla daha serbest bir atama yapması sağlanmıştır. Öyle ki, uzman belirleyeceği üyelik derecesini alt sınır ve üst sınırı belirleyerek, üyelik derecesini bir aralık olarak tanımlayabilmektedir.

$$\tilde{A} = \{x, [\mu_{\tilde{A}}^L(x), \mu_{\tilde{A}}^U(x)]\} \quad (3.25)$$

$$\mu_{\tilde{A}}^L(x), \mu_{\tilde{A}}^U(x): X \rightarrow [0,1] \quad \forall x \in X, \quad \mu_{\tilde{A}}^L(x) < \mu_{\tilde{A}}^U(x) \quad (3.26)$$

Bu eşitliklerde $\mu_{\tilde{A}}^L(x)$ aralık değerli üyelik derecesinin alt sınırını, $\mu_{\tilde{A}}^U(x)$ ise aralık değerli üyelik derecesinin üst sınırını ifade etmektedir. Şekil 3.8’de aralık değerli bulanık kümenin üyelik değeri gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Aralık değerli bulanık küme

3.2.3. Sezgisel bulanık kümeler

Sezgisel bulanık kümeler (IFS), Atanassov (1986) tarafından klasik bulanık kümelerin uzantısı olarak önerilmiştir. Klasik bulanık küme tanımında üyelik derecesi belirlenen bir elemanın üye olmama derecesi 1'den çıkarılarak bulunur. Yani üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı her zaman 1'dir. Sezgisel bulanık küme tanımında ise üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı her zaman 1'e eşit olmaz. Atanassov sezgisel bulanık küme tanımında yeni bir tanım olan tereddüt derecesini kullanmıştır. Tereddüt derecesi özellikle uzmanların, bir elemanın üye olma ve üye olmama derecelerini haricinde üyeliğini tam olarak belirleyemediği durumlarda problemi modellemede oldukça faydalı olmaktadır. Sezgisel bulanık kümelerde eğer karar uzman tarafından tereddüt derecesi 0 olarak belirlenirse, bu küme klasik bulanık küme olarak tanımlanacaktır.

Bir sezgisel bulanık kümede $\tilde{A}$, elemanın üyelik derecesi $\mu_{\tilde{A}}(x)$, üye olmama derecesi $\nu_{\tilde{A}}(x)$ olarak tanımlanır.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\} \quad (3.27)$$

$$\mu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0,1], \nu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0,1] \quad (3.28)$$

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + \nu_{\tilde{A}}(x) \leq 1 \quad (3.29)$$

Sezgisel kümelerde tanımlanan tereddüt derecesi şu şekilde hesaplanır:

$$\pi_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) - \nu_{\tilde{A}}(x) \quad \forall x \in X \quad (3.30)$$

Atanassov, sezgisel bulanık kümelerin özel bir hali olan İkinci Tip Bulanık kümeleri tanımlamıştır. Çalışmasında üyelik derecesinin ve üye olmama derecesinin karelerin toplamı 1 veya 1'den küçük olması şeklinde bir tanımla yaparak, uzmanların daha serbest bir atama yapmasını sağlamıştır. Bu çalışma Yager (2013) tarafından geliştirilerek Pisagor bulanık kümeler olarak ele alınmış olup, ilerleyen bölümlerde Pisagor bulanık kümelere ayrıca yer verilecektir.

3.2.4. Bulanık çoklu kümeler

Bulanık çoklu kümeler Yager (1986) tarafından önerilmiştir. Çoklu kümeler, bir küme içerisinde tekrar eden aynı elamanı içerebileceğini gösteren klasik kümelerin uzantısı olarak önerilmiştir. $X = \{1,1,2,,3,3,4,5\}$ çoklu küme olarak tanımlanabilir ve burada sayma fonksiyonu tanımlanır. Sayma fonksiyonu, bir elamanın ait olduğu küme içerisinde kaç kere tekrarlandığını gösterir ve bu elamana ait kaç tane üyelik derecesini olduğunu belirtir. Yani, verilen X kümesi için $sayma_X(1) = 2$ olacaktır. Bulanık çoklu kümeler de temelde klasik küme mantığı üzerine kurulmuş olduğundan üyelik derecesi $[0,1]$ aralığında değer alacaktır. $X = \{(1; 0,5), (1; 0,6), (2; 0,3), (3; 0,4), (3; 0,6), (4; 0,4), (5; 0,8)\}$ şeklinde ifade edilecektir.

3.2.5. Durağan olmayan bulanık kümeler

Durağan olmayan bulanık kümeler Garibaldi ve diğerleri (2008) tarafından Tip-2 bulanık kümelerin uzantısı olarak önerilmiştir. Tip-2 bulanık kümelerde, üyelik fonksiyonu bulanıklaştırılarak üç boyutlu olarak ifade edilmiş, burada belirsizlik durumu yansıtılmaya çalışılmış ancak tam olarak belirsizliğin ifade edilemediği belirtilmiştir. Garibaldi vd. önerdikleri durağan olmayan bulanık kümeler kavramında aynı girdiler için uzmanlar tarafından farklı kararlar vermeyi sağlayan, belirsizliğin daha iyi modellenenebilmesini hedeflemişlerdir. Bu hedeflerini gerçekleştirmek için "Kararsız Mantıksal Akıl Yürütme" kavramında kullanılan üyelik fonksiyonlarının parametrelerini sürekli olarak değiştiren durağan olmayan yapının kullanılmasıdır.

Durağan olmayan bulanık kümelerde, durağan olmayan karakteristik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}$ ile tanımlanır. $\mu_{\tilde{A}}: TxX \rightarrow [0,1]$ fonksiyonu, TxX 'de her (t, x) elamanı için $\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonunun zaman bağlı değişikliğini içerir. Durağan olmayan bulanık kümeler:

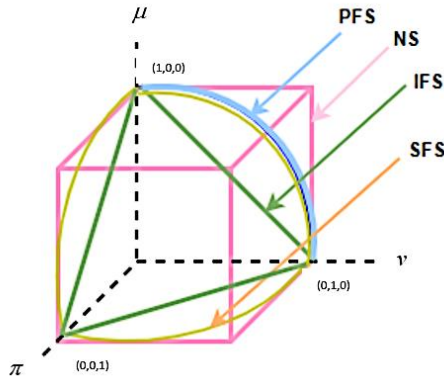
$$\tilde{A} = \int_{t \in T} \int_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(t, x) / x / t \quad (3.31)$$

Eşitliği daha tutarlı hale getirmek için üyelik derecesine sınırlama getirilir. Üyelik derecesi $\mu_{\tilde{A}}(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ ve $p_i(t) = p_i + k_i k_i(t)$ ve $i=1,2,\dots,m$ olarak tanımlanır. Bu durumda yeni eşitlik şu şekilde olur:

$$\mu_{\tilde{A}}(t, x) = \mu_{\tilde{A}}(x, p_1(t), p_2(t), \dots, p_m(t)) \quad (3.32)$$

3.2.6. Küresel bulanık kümeler

Küresel bulanık kümeler (SFS), Kutlu ve Kahraman (2019) tarafından, Pisagor bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler nütrosifik bulanık kümelerin uzantısı olarak geliştirilmiştir. Küresel bulanık küme kavramında uzmanlar tarafından elamanın kümeye ait olan üyelik derecesi, üye olmama derecesi ve tereddüt derecesini belirler ve bunların karelerinin toplamı 1 değerine eşit ve daha küçük olabilir. Ayrıca, küresel bulanık kümelerde küresel uzaklık kavramı kullanılır. Kullanılan bu kavrama göre, üyelik derecelerinin doğrusal yapıda olmadığı bu nedenle doğrusal mesafelerin (Öklid uzaklığı vb.) yerine küresel mesafenin kullanılması gerektiği temeline dayanır. Küresel bulanık kümeler ve diğer bulanık küme uzantıları gösterimi Şekil 3.9’da verilmektedir.



Şekil 3.9. Küresel bulanık kümelerin gösterimi

Bu bilgiler ışında üyelik derecesi, üye olmama derecesi ve tereddüt derecesi sırasıyla $x^2 = \mu_{\tilde{A}}(x)$, $y^2 = \nu_{\tilde{A}}(x)$, $z^2 = \pi_{\tilde{A}}(x)$ olmak üzere $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ tanımlanacak, bu nedenle aşağıdaki eşitlik gerçekleşecektir.

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}^2 + \nu_{\tilde{A}}^2 + \pi_{\tilde{A}}^2 \leq 1, \quad \forall x \in A \quad (3.33)$$

Bu eşitlik kürenin yüzeyinde Eş. 3.34 ile elde edilecektir.

$$\mu_{\tilde{A}}^2 + \nu_{\tilde{A}}^2 + \pi_{\tilde{A}}^2 = 1, \quad \forall x \in A \quad (3.34)$$

X evrensel kümesinde küresel bulanık küme $\tilde{A}_s$ küresel bulanık küme olarak tanımlanır ve şu şekilde ifade edilir:

$$\mu_{\tilde{A}_s}: X \rightarrow [0,1], v_{\tilde{A}_s}: X \rightarrow [0,1], \pi_{\tilde{A}_s}: X \rightarrow [0,1] \quad \text{ve} \quad 0 \leq \mu_{\tilde{A}}^2 + v_{\tilde{A}}^2 + \pi_{\tilde{A}}^2 \leq 1 \quad (3.35)$$

$$\tilde{A}_s = \left\{ \langle x, (\mu_{\tilde{A}_s}(x), v_{\tilde{A}_s}(x), \pi_{\tilde{A}_s}(x)) \rangle \mid x \in X \right\} \quad (3.36)$$

3.2.7. Nötrosofik kümeler

Bu tez çalışması kapsamında nötrosofik kümelerle ilgili işlemler kullanılacağı için diğer bulanık küme uzantılarına kıyasla daha çok yer verilmiştir. Nötrosofik kümeler, Smarandache tarafından (1998) klasik bulanık kümelerin uzantısı olarak önerilmiştir ve literatürde NS olarak gösterilmektedir. Şekil 3.9’da nötrosofik kümelerin gösterimi yapılmıştır. Nötrosofik mantık, klasik bulanık mantıktan farklı olarak belirleyememe derecesi tanımlar ve bu yaklaşımla bir elemanın kümeye aitlik derecesini belirlerken klasik bulanık mantıktan daha fazla bilgi içeren tanımlamalar gerçekleştirir. Bu küme kapsamında T kümesi kapsamında üye olma derecesine karşılık gelen doğru olma alt kümesinin derecesi, I kümesi kapsamında tereddüt derecesine karşılık gelen belirli olmama alt kümesinin derecesi, F kümesi kapsamında üye olmama derecesine karşılık gelen yanlış olma alt kümesinin derecesi tanımlanır ve T, I, F değerleri $[0,1]$ gerçek sayı kümesinin bir alt kümesidir. Nötrosofik kümeler kullanmış olduğu operatörler nedeniyle gerçek hayat problemlerine uygulanması oldukça zordur. Bu nedenle, Wang ve diğerleri (2012) tarafından tek değerli nötrosofik kümeler geliştirilmiş ve kullandığı operatörler gerçek hayat problemlerinin çözümünde daha kolay uygulanabilir hale getirilmiştir.

X elemanların kümesi olsun ve $x \in X$ olarak tanımlansın. Nötrosofik kümelerin tanımı yapılırken Smarandache (1998) tarafından yeni bir gösterimden yararlanılmamıştır. Bu tez çalışması kapsamında nötrosofik kümelerin gösterimini diğer bulanık kümelerden ayırmak amacıyla ilgili elemanın ait olduğu küme üç nokta üzerinde tilda işareti ile kullanılacaktır. $\tilde{A}$ nötrosofik küme olarak tanımlansın ve doğru olma derecesi $T_A(x)$, yanlış olma derecesi $F_A(x)$ ve belirli olmama derecesi $I_A(x)$ olarak tanımlansın. Buradaki $T_A(x), F_A(x), I_A(x)$ değerleri gerçek standart ve standart dışı olan $]^{-0}, 1^{+}[$ tanım aralığında olabilir. Bu değerlerin toplanmasında herhangi bir kısıtlama yoktur ve şu değeri alır:

$$0 \leq \sup T_A(x) + \sup I_A(x) + \sup F_A(x) \leq 3^+ \quad (3.37)$$

Eğer $T_A(x), F_A(x), I_A(x)$ dereceleri $[0,1]$ gerçek standart tanım aralığının bir alt kümesi olarak tanımlanır ise bu durumda $T_A(x):X \rightarrow [0,1]$, $I_A(x):X \rightarrow [0,1]$, $F_A(x):X \rightarrow [0,1]$ olacaktır. Böylece, tek değerli nütrosifik küme olan $\tilde{\tilde{A}}$ şu şekilde tanımlanacaktır:

$$\tilde{\tilde{A}} = \{\langle x, T_A(x), I_A(x), F_A(x) \rangle | x \in X\} \quad (3.38)$$

X kümesi içindeki her bir x elamanı ise:

$$T_A(x), I_A(x), F_A(x) \in [0,1] \text{ ve } 0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3 \quad (3.39)$$

olarak tanımlanır.

$\tilde{\tilde{A}} = \{\langle x, T_A(x), I_A(x), F_A(x) \rangle | x \in X\}$ nütrosifik küme olma üzere $\tilde{\tilde{A}}$ sayısı:

$$\tilde{\tilde{A}} = \langle x, T_A(x), I_A(x), F_A(x) \rangle \quad (3.40)$$

olarak ifade edilecektir.

$$\tilde{\tilde{A}} \oplus \tilde{\tilde{B}} = \langle T_A(x) + T_B(x) - T_A(x)T_B(x), I_A(x) + I_B(x) - I_A(x)I_B(x), F_A(x) + F_B(x) - F_A(x)F_B(x) \rangle \quad (3.41)$$

$$\tilde{\tilde{A}} \otimes \tilde{\tilde{B}} = \langle T_A(x)T_B(x), I_A(x)I_B(x), F_A(x)F_B(x) \rangle \quad (3.42)$$

$$\lambda \tilde{\tilde{A}} = \langle 1 - (1 - T_A(x))^\lambda, 1 - (1 - I_A(x))^\lambda, 1 - (1 - F_A(x))^\lambda \rangle, \lambda > 0 \quad (3.43)$$

$$\tilde{\tilde{A}}^\lambda = \langle T_A^\lambda(x), I_A^\lambda(x), F_A^\lambda(x) \rangle \lambda > 0 \quad (3.44)$$

Farklı uzmanların atamış olduğu T, I, F değerlerini birleştirmek için geliştirilmiş olan aritmetik ortalama yığılma eşitliği şu şekildedir:

$$F_w(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \langle 1 - \prod_{j=1}^n (1 - T_{A_i}(x))^{w_i}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - I_{A_i}(x))^{w_i}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - F_{A_i}(x))^{w_i} \rangle \quad (3.45)$$

Burada $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ağırlık vektörü olarak tanımlanır ve $A_j (j = 1, 2, \dots, n)$, $w_j \in [0, 1]$ ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 'dir.

3.2.8. Pisagor bulanık kümeler

Pisagor bulanık kümeler (PFS), klasik bulanık kümelerin uzantısı olarak Yager (2013) tarafından önerilmiştir ve literatürde PFS olarak kısaltılmıştır. Pisagor bulanık kümeler klasik kümelerin uzantısı olmakla beraber, sezgisel bulanık kümeler mantığını temel alarak önerilmiştir. Sezgisel kümelerde uzman değerlendirmeleri, bir elamanın kümeye üye olma ve üye olmama dereceleri belirlenir ve toplamı 1'i geçemez. Şekil 3.9'da Pisagor bulanık kümelerin gösterimi yapılmıştır. Pisagor bulanık kümelerde sezgisel bulanık kümelerdeki gibi uzman, bir elamanın kümeye üye olma ve üye olmama derecelerini belirler ancak bunların karelerinin toplamı 1'i geçemez. Böylece uzmanlar daha geniş bir ölçekte değerlendirme yapabilme olanağına sahip olurlar.

Bir Pisagor bulanık kümede $\tilde{P}$, elemanın üyelik derecesi $\mu_{\tilde{A}}(x)$, üye olmama derecesi $\nu_{\tilde{A}}(x)$ olarak tanımlanır.

$$\tilde{P} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{P}}(x), \nu_{\tilde{P}}(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (3.46)$$

$$\mu_{\tilde{P}}: X \rightarrow [0, 1], \nu_{\tilde{P}}: X \rightarrow [0, 1] \quad (3.47)$$

$$0 \leq (\mu_{\tilde{P}}(x))^2 + (\nu_{\tilde{P}}(x))^2 \leq 1 \quad (3.48)$$

Bu durumda tereddüt derecesi şu şekilde hesaplanır:

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = \sqrt{1 - (\mu_{\tilde{P}}(x))^2 - (\nu_{\tilde{P}}(x))^2} \quad (3.49)$$

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \left(\sqrt{\mu_{\tilde{A}}(x)^2 + \mu_{\tilde{B}}(x)^2 - \mu_{\tilde{A}}(x)^2 \mu_{\tilde{B}}(x)^2}, v_{\tilde{A}}(x) v_{\tilde{B}}(x) \right) \quad (3.50)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \left(\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{A}}(x)^2 - \mu_{\tilde{B}}(x)^2}{1 - \mu_{\tilde{B}}(x)^2}}, \frac{v_{\tilde{A}}(x)}{v_{\tilde{B}}(x)} \right) \quad (3.51)$$

burada $\mu_{\tilde{A}}(x) \geq \mu_{\tilde{B}}(x)$, $v_{\tilde{A}}(x) \leq v_{\tilde{B}}(x)$ enk $\left\{ v_{\tilde{B}}(x), \frac{v_{\tilde{B}}(x) \pi_{\tilde{A}}(x)}{\pi_{\tilde{B}}(x)} \right\}$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \left(\mu_{\tilde{A}}(x) \mu_{\tilde{B}}(x), \sqrt{v_{\tilde{A}}(x)^2 + v_{\tilde{B}}(x)^2 - v_{\tilde{A}}(x)^2 v_{\tilde{B}}(x)^2} \right) \quad (3.52)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = \left(\frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{\mu_{\tilde{B}}(x)}, \sqrt{\frac{v_{\tilde{A}}(x)^2 - v_{\tilde{B}}(x)^2}{1 - v_{\tilde{B}}(x)^2}} \right) \quad (3.53)$$

burada $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x)$, $v_{\tilde{A}}(x) \geq v_{\tilde{B}}(x)$ enk $\left\{ \mu_{\tilde{B}}(x), \frac{\mu_{\tilde{B}}(x) \pi_{\tilde{A}}(x)}{\pi_{\tilde{B}}(x)} \right\}$

$$\lambda \tilde{A} = \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}}(x)^2)^\lambda}, v_{\tilde{A}}(x)^\lambda \right) \quad (3.54)$$

$$\tilde{A}^\lambda = \left(\mu_{\tilde{A}}(x)^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{\tilde{A}}(x)^2)^\lambda} \right) \quad (3.55)$$

Farklı uzmanların atamış olduğu, μ , v değerlerini birleştirmek için geliştirilmiş olan Pisagor aritmetik ortalama yığılma eşitliği (PFWA) şu şekildedir:

$$PFWA(\tilde{A}_i) = (\sum_{i=1}^n w_i \mu_{\tilde{A}}(x), \sum_{i=1}^n w_i v_{\tilde{A}}(x)) \quad (3.56)$$

Burada $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ağırlık vektörü olarak tanımlanır ve $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$, $w_i \in [0, 1]$ ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 'dir.

Bu çalışmada ayrıca önerilen yeni ÇÖKV yönteminde aralık değerli Pisagor sayılar kullanılacaktır. Aralık değerli Pisagor sayılar:

Bir Pisagor bulanık kümede $\tilde{P}$, elemanın üyelik derecesi $[\mu_{\tilde{P}}^-(x), \mu_{\tilde{P}}^+(x)]$ üye olmama derecesi $[v_{\tilde{P}}^-(x), v_{\tilde{P}}^+(x)]$ olarak tanımlanır.

$$0 \leq \mu_{\tilde{p}}^+(x) + v_{\tilde{p}}^+(x) \leq 1 \quad (3.57)$$

$$\pi_{\tilde{p}}^+(x)^2 = 1 - (\mu_{\tilde{p}}^-(x)^2 + v_{\tilde{p}}^-(x)^2) \quad (3.58)$$

$$\pi_{\tilde{p}}^-(x)^2 = 1 - (\mu_{\tilde{p}}^+(x)^2 + v_{\tilde{p}}^+(x)^2) \quad (3.59)$$

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \left(\left[\frac{\sqrt{\mu_{\tilde{A}}^-(x)^2 + \mu_{\tilde{B}}^-(x)^2 - \mu_{\tilde{A}}^-(x)^2 \mu_{\tilde{B}}^-(x)^2}}{\sqrt{\mu_{\tilde{A}}^+(x)^2 + \mu_{\tilde{B}}^+(x)^2 - \mu_{\tilde{A}}^+(x)^2 \mu_{\tilde{B}}^+(x)^2}}, [v_{\tilde{A}}^-(x)v_{\tilde{B}}^-(x), v_{\tilde{A}}^+(x)v_{\tilde{B}}^+(x)] \right] \right) \quad (3.60)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \left([\mu_{\tilde{A}}^-(x)\mu_{\tilde{B}}^-(x), \mu_{\tilde{A}}^+(x)\mu_{\tilde{B}}^+(x)], \left[\frac{\sqrt{v_{\tilde{A}}^-(x)^2 + v_{\tilde{B}}^-(x)^2 - v_{\tilde{A}}^-(x)^2 v_{\tilde{B}}^-(x)^2}}{\sqrt{v_{\tilde{A}}^+(x)^2 + v_{\tilde{B}}^+(x)^2 - v_{\tilde{A}}^+(x)^2 v_{\tilde{B}}^+(x)^2}} \right] \right) \quad (3.61)$$

$$\lambda \tilde{A} = \left(\left[\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}}^-(x)^2)^\lambda}, \sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}}^+(x)^2)^\lambda} \right], [v_{\tilde{A}}^-(x)^\lambda, v_{\tilde{A}}^+(x)^\lambda] \right) \quad (3.62)$$

Farklı uzmanların atamış olduğu $[\mu_{\tilde{p}}^-(x), \mu_{\tilde{p}}^+(x)]$, $[v_{\tilde{p}}^-(x), v_{\tilde{p}}^+(x)]$ değerlerini birleştirmek için geliştirilmiş olan aralık değerli Pisagor aritmetik ortalama yığışım eşitliği (IVPFWA) şu şekildedir (Rahman ve diğerleri, 2017):

$$IVPFWA(\tilde{A}_j) = ([1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}}^-(x)^{w_j}), 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}}^+(x)^{w_j})], [\prod_{j=1}^n (v_{\tilde{A}}^-(x)^{w_j}), \prod_{j=1}^n (v_{\tilde{A}}^+(x)^{w_j})]) \quad (3.63)$$

Burada $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ağırlık vektörü olarak tanımlanır ve $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$, $w_i \in [0, 1]$ ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 'dir.

4. BULANIK YATIRIM ANALİZİ TEKNİKLERİ

İşletmeler üretecekleri veya satın alacakları projelerin ekonomik yönden uygun olup olmadığını çeşitli karar verme yöntemlerini kullanarak öğrenmek durumundadırlar. Yatırım analizi temelde, birden fazla alternatif yatırım projesi içerisinde işletme için en fazla gelir getirecek olan alternatifin seçilmesidir.

Yatırım analizi yöntemlerinden bu çalışmada üstünde durulacak olan yöntemler: Şimdiki değer analizi, gelecek değer analizi, karlılık indeksi analizi (kazanç/maliyet analizi), geri ödeme süresi analizi, iç verim oranı analizi olarak sıralanabilir.

Şimdiki değer analizi: Yatırım analizi değerlendirmelerinde oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Bu analizde, eğer nakit çıkışları mukayese ediliyorsa en düşük, bugünkü değere sahip alternatif ve nakit girişleri mukayese ediliyorsa en yüksek şimdiki değere sahip alternatif seçilir.

$$SD = \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{F_{n-1}}{(1+i)^{n-1}} + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (4.1)$$

F_n = n 'inci dönem sonundaki nakit

i = Faiz oranı

Net şimdiki değer analizi: Yatırıma ait şimdiki değerinden, nakit çıkışlarının şimdiki değerinin çıkarılmasıyla bulunur. Bu eşitlikte nakit çıkışlarının şimdiki değeri yerine genellikle ilk yatırım maliyeti de kullanılabilir.

$$NSD = -I + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{F_{n-1}}{(1+i)^{n-1}} + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (4.2)$$

İlk yatırım maliyeti I ; hurda değeri H olan ve her yıl A değerinde net kazanç sağlayan bir yatırımın net şimdiki değeri ise şu şekilde hesaplanabilir:

$$N\dot{S}D = -I + A \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n i} + \frac{H}{(1+i)^n} \quad (4.3)$$

Gelecek değer analizi, şimdiki değer analizinin bir versiyonudur ve bazen nakit akımlarının F_n 'inci yıldaki değeri bilinmesi gerekebilir.

$$GD = F_n(1+i)^n + F_{(n-1)}(1+i)^{(n-1)} + \dots F_1(1+i) + F_0 \quad (4.4)$$

Net gelecek değer analizi ise şu eşitlikle belirlenir;

$$NGD = -I(1+i)^n + F_n(1+i)^n + F_{(n-1)}(1+i)^{(n-1)} + \dots F_1(1+i) + F_0 \quad (4.5)$$

Kazanç maliyet analizi, özellikle kamu projelerinde en çok kullanılan metotlardandır. Özel sektörde projelerin seçiminde de kullanılmaktadır.

$$Kazan\dot{c} \text{ maliyet analizi} = \frac{Kazan\dot{c} \text{ların Şimdiki Değeri}}{Maliyetlerin Şimdiki Değeri} \quad (4.6)$$

veya

$$Kazan\dot{c} \text{ maliyet analizi} = \frac{Eşdeğer Düzgün Yıllık Kazan\dot{c}}{Eşdeğer Düzgün Yıllık Maliyet} \quad (4.7)$$

Kazanç maliyet analizi >1 Projeyi seç, Kazanç maliyet analizi =1 Farksız, Kazanç maliyet analizi < 1 Projeyi reddet şeklinde tanımlama yapmak mümkündür.

Geri ödeme süresi analizi bir yatırıma ait anaparanın kaç yılda geri döneceğini gösterir.

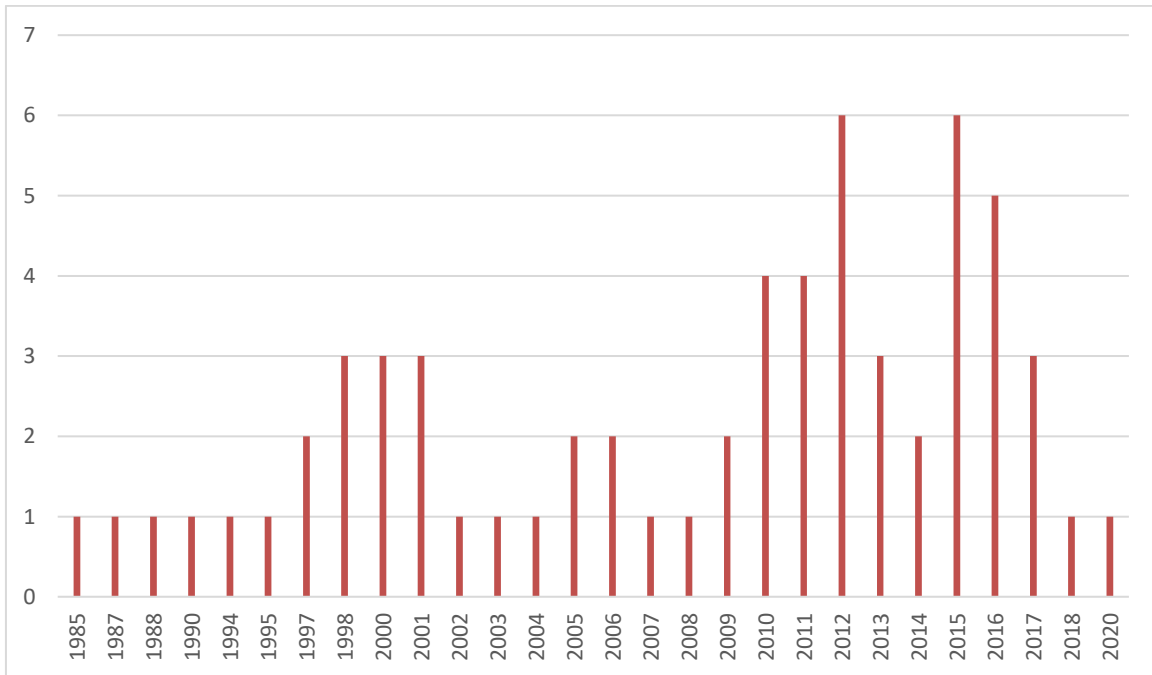
$$Geri \text{ ödeme süresi} = \text{Toplam yatırım tutarı} / \text{Yıllık net nakit girişi} \quad (4.8)$$

İç verim oranı analizi, bir projeye ait nakit girişlerini nakit çıkışlarına eşitleyen iskonto oranıdır. Burada bulunan iskonto oranına iç verim oranı denir.

$$i^* = i_+ + \frac{N\dot{S}D_+}{N\dot{S}D_+ + |N\dot{S}D_-|} (i_- + i_+) \quad (4.9)$$

4.1. Literatür Araştırması

Çalışmanın bu bölümünde bulanık mantık ve uzantılarını kullanarak geliştirilen bulanık yatırım analizi teknikleri incelenmiştir. Literatür araştırmasında "Science Direct", "Scopus" ve "Taylor and Francis" veri tabanları incelenmiş ve anahtar kelimelerde "bulanık yatırım analizi", "bulanık şimdiki değer analizi", "bulanık gelecek değer analizi", "bulanık iç verim oranı analizi", "bulanık geri ödeme süresi analizi", "bulanık kazanç maliyet analizi", "bulanık yatırım alternatifleri" ve "bulanık mühendislik ekonomisi" anahtar kelimelerini içeren yayınlar taranmıştır. Yapılan incelemede toplamda 402 yayın olduğu tespit edilmiştir, ancak yayınların özetleri incelendiğinde 155 adedinin bulanık yatırım alternatiflerinin değerlendirmesi ile ilgili olduğu ve 63 adedinin doğrudan olarak yapılacak olan çalışmamızla ilgili olduğu tespit edilmiştir. Literatür araştırmasından elde edilen en önemli tespit literatürde klasik bulanık kümeler ile birçok yatırım analizi tekniklerinin geliştirildiği, klasik bulanık küme uzantılarıyla yapılan çalışmaların çok kısıtlı olduğu, klasik bulanık kümeler ile geliştirilen yatırım analizi tekniklerinde şimdiki değer analizi yönteminin ağırlıklı olduğu ve yeni tip bulanık kümelerden olan Nötrosofik ve Pisagor bulanık kümeler ile şu ana kadar herhangi bir çalışma gerçekleştirilmediği tespit edilmiştir. Bulanık yatırım analizi konusunda gerçekleştirilen çalışmalar Şekil 4.1’de yıllara göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.1. Makalelerin yayımlandıkları yıllara göre sınıflandırılması

Çizelge 4.1. Çalışmaların kullanılan yöntemlere göre sınıflandırılması

Kullanılan Yöntem	Yapılan Çalışma
Bulanık Şimdiki Değer	Ward (1985), Buckley (1987), Kaufmann ve Gupta (1988), Kahraman ve Ulukan (1997), Chiu ve Park (1998), Chan ve diğerleri (2000), Kuchta (2000), Nachtmann ve Needy (2001), Kahraman ve diğerleri (2002), Tercenno ve diğerleri (2003), Kahraman ve diğerleri (2004), Yao ve diğerleri (2005), Sheen (2005), Kahraman ve diğerleri (2006), Chen ve Liou (2006), Omitaomu ve Badiru (2007), Sorenson ve Lavelle (2008), Xu ve diğerleri, Kahraman ve Kaya (2010), Chen ve diğerleri (2010), Uçal ve Kutcha (2011), Bhattacharyya ve diğerleri (2011), Xu ve diğerleri (2012), Nostratpour ve diğerleri (2012), Üstündağ ve Çevikcan (2012), Tsao (2012), Filho ve diğerleri (2012), Lin ve Lu (2013), Tsao (2013), Piasecki (2013), Appadoo (2014), Karimi ve Niknamfar (2015), Piasecki ve Siwek (2015), Dinagar ve Kamalanathan (2015), Piasecki ve Siwek (2015), Sarı ve Kutcha (2015), Kahraman ve diğerleri (2015), Petkovic ve diğerleri (2016), Fathollahi ve Najafi (2016), Sarı ve Kahraman (2017), Kahraman ve diğerleri (2017), Valledepaz (2017), Aydın ve diğerleri (2018), Aydın ve Kabak (2020)
Bulanık Gelecek Değer	Buckley (1987), Kahraman ve Ulukan (1997), Kuchta (2000), Kahraman ve diğerleri (2002), Kahraman ve diğerleri (2006), Ulukan ve Ucuncuoğlu (2010), Lee ve Lee (2011), Tsao (2012), Kahraman ve diğerleri (2015), Kahraman ve diğerleri (2017), Aydın ve Kabak (2020)
Bulanık Geri Ödeme Süresi	Karsak (1998), Kuchta (2000), Kahraman ve diğerleri (2002), Sheen (2005), Kahraman ve diğerleri (2006), Zhang ve diğerleri (2011)
Bulanık Kazanç Maliyet Analizi	Wang ve Liang (1995), Kahraman ve diğ. (2000), Kahraman ve diğerleri (2002), Kahraman ve diğerleri (2006), Üstündağ ve diğerleri (2010), Ulukan ve Ucuncuoğlu (2010), Maravas ve diğerleri (2012), Ghofrani (2014), Rabani ve diğerleri (2016)
Bulanık İç Verim Oranı Analizi	Pohjola ve Turunen (1990), Buckley (1992), Carlsson and Fuller (1998), Kuchta (2000), Kahraman ve diğ. (2002), Tercenno ve diğerleri (2003), Baş ve Kahraman (2009), Valledepaz (2017)

Literatür araştırmasında tespit edilen çalışmaların kullandıkları yöntemlere göre sınıflandırılması Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Yatırım analizi teknikleri ilk olarak Ward (1985) tarafından yamuk bulanık sayılar ile şimdiki değer analizi geliştirilmiştir. Çalışma bu alanda yapılan ilk çalışma olması nedeniyle önem taşımaktadır. Buckley (1987) bulanık nakit akışlarını kullanarak, bulanık şimdiki değer ve bulanık gelecek değer analizi değerlerini bulmuştur. Çalışmada, yatırım alternatifleri net nakit akışlarının kullanıldığı metot ile iyiden kötüye doğru sıralama yapılmıştır. Kaufmann ve Gupta (1988) yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi amacıyla, şimdiki değer analizini Tip-1 bulanık sayılarla geliştirmiştir. Pohjola ve Turunen (1990) Tip-2 sayılarla ifade ettikleri bulanık verileri kullanarak kazanç maliyet oranı analizini geliştirmişlerdir.

Chiu ve Park (1994) Tip-1 bulanık sayılar ile ifade ettikleri bulanık nakit akışlarını kullanarak bulanık şimdiki değer analizini ve bulanık gelecek değer analizini proje seçimi değerlendirmesi amacıyla gerçekleştirmişlerdir. Wang ve Liang (1995) mevcut fonlar altındaki en uygun yatırım grubu seçmek amacıyla bulanık mantık konseptini kullanarak kazanç/maliyet analizini tanımlayarak iki farklı algoritma önermişlerdir. Kahraman ve Ulukan (1997) yatırım parametrelerinin üçgen bulanık sayıları kullanarak bulanık şimdiki değer ve bulanık gelecek değer formüllerini geliştirmişlerdir. Karsak (1998) sermaye bütçelemesinde likidite riski değerlendirmede oldukça sık kullanılan geri ödeme süresi analizini bulanık küme teorisi ile yatırım projeleri için geliştirmiştir. Chiu ve Park (1998) klasik bulanık kümeler ile bulanık şimdiki değer analizini geliştirmişler ve önerdikleri eşitlikler ile proje alternatifi değerlendirme problemini çözmüşlerdir. 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.

Kuchta (2000) aralık tipi bulanık sayıları kullanarak yatırım analizi tekniklerinin birçoğunu bulanık olarak tanımlamıştır ve yatırım analizi değerlendirme problemleri için önermiştir. Chan ve diğerleri (2000) bulanık şimdiki değer analizi eşitlikleri kullanarak teknoloji seçme modeli önermişlerdir. Kahraman ve diğerleri (2000) bulanık fayda maliyet oranı analizini geliştirerek üretim teknolojileri yatırım analizini gerçekleştirmişlerdir. Kuchta (2001) bulanık şimdiki değer analizini geliştirerek projelerde kullanımına yönelik bir model önerisi

yapmıştır. Karsak ve Tolga (2001) gelişmiş üretim sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanılan ekonomik ölçütlerin bulanık iskontolu nakit akışları analizini kullanmışlardır. Nachtmann ve Needy (2001) bilgi teknolojileri yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesinde faaliyet tabanlı paranın şimdiki zaman değerini de içeren Tip-1 bulanık kümeleri kullanan model önermişlerdir. Kahraman ve diğerleri (2002) bulanık şimdiki değer analizi, bulanık gelecek değer analizi, bulanık kazanç maliyet analizi, bulanık geri ödeme analizi, bulanık eşdeğer düzgün ödeme formüllerini olasılıklı nakit akışları için geliştirmişlerdir. Tercenno ve diğerleri (2003) bulanık küme teorisini net şimdiki değer analizi ve bulanık iç verim oranı formüllerini somut yatırım portföylerinin değerlendirmesinde kullanmışlardır. Kahraman ve diğerleri (2004) bilgisayarlı bütünleşik üretim sistemleri değerlendirmesini üçgensel bulanık sayıları kullanarak bulanık şimdiki değer analizi eşitlikleri geliştirilerek gerçekleştirmiştir. Yao ve diğerleri (2005) belirsiz nakit akımı ve belirsiz indirim oranı ortamında şimdiki değer analizi eşitlikleri geliştirmişlerdir. Sheen (2005) yatırım alternatifi değerlendirmede bulanık net şimdiki değer analizi ve geri ödeme süresi analizi modellerini geliştirmiştir. Bu çalışmada bulanık değerler Mellin transformasyonu kullanarak olasılık yoğunluk fonksiyonuna dönüştürülmüştür.

Kahraman ve diğerleri (2006) bulanık şimdiki değer, bulanık eşdeğer düzgün ödeme değeri, bulanık gelecek değer, bulanık fayda maliyet oranı ve bulanık geri ödeme süresi formüllerini geliştirmişlerdir. Chen ve Liou (2006) farklı ekonomik ömre sahip yatırım alternatifleri için, belirsiz nakit akışları ve belirsiz indirim oranları için bulanık eşdeğer yıllık değer analizi eşitlikleri geliştirmişlerdir. Omitaomu ve Badiru (2007) gerçekleştirdikleri çalışmada bilgi sistemleri projelerini değerlendirmek üzere üçgensel bulanık sayıları kullanan şimdiki değer analizi formülasyonu geliştirmiştir. Sorenson ve Lavelle (2008) yatırım alternatiflerini sıralama amacıyla şimdiki değer analizinin kullanılması durumunda bulanık küme ve olasılıklı paradigmaları karşılaştıran yeni bir yöntem önermişlerdir. Baş ve Kahraman (2009) bulanık iç verim analizi eşitlikleri geliştirerek sermaye kısıtlama problemlerine yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Xu ve diğerleri (2009) bulanık şimdiki değer analizini hesaba katan 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Üstündağ ve diğerleri (2010) radyo frekans tanımlama yatırım analizi için kazanç maliyet analizi tekniklerini bulanık kümeler ile geliştirerek yatırımın değerini belirlemeye çalışmışlardır. Kahraman ve Kaya (2010) rassal yatırım analizi tekniklerini incelemiş ve bu analizi üçgensel bulanık sayıları kullanarak negatif ve pozitif net şimdiki değer analizi bulanık olasılıklarını hesaplamışlardır.

Ulukan ve Ucuncuoğlu (2010) bilgi sistemleri yatırım projeleri değerlendirmesi için bulanık şimdiki değer analizi ve kazanç maliyet oranı analizi eşitliklerini geliştirmişlerdir. Chen ve diğerleri (2010) proje nakit akış yönetimi için bulanık melez bir model önermişlerdir. Uçal ve Kutcha (2011) bulanık şimdiki değer analizini bulanık proje çizelgeleme yöntemiyle en iyilemeye çalışmışlardır. Çalışmada nakit akışları ve indirimli nakit akışları ağırlıkları tanımlanarak projedeki aktivitelerin bulanık şimdiki değer analiziyle ağırlıklarını hesaplamışlardır. Bhattacharyya ve diğerleri (2011) AR-GE projelerinin seçiminde bulanık net şimdiki değer analizini kullanan bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı önermişlerdir. Lee Y.C. ve Lee S.S. (2011) radyo frekansı tanımlama yatırım projelerini değerlendirmek amacıyla yatırım maliyetini ve nakit akışları yamuk bulanık sayılar ile ifade etmişlerdir. Zhang ve diğerleri (2011) yatırım projelerinin değerlendirilmesinde bulanık geri sürelerini kullanan yeni bir model önermişlerdir. Xu ve diğerleri (2012) hidroelektrik yatırım projesi değerlendirmesi amaçlı bulanık şimdiki değer analizi eşitliği geliştirmişlerdir. Nostratpour ve diğerleri (2012) mühendislik analizi problemleri için üçgensel bulanık sayıları kullanan bulanık net şimdiki değer analizi eşitliği geliştirmişlerdir. Üstündağ ve Çevikcan (2012) inşaat yatırım projeleri için bulanık kural tabanlı sistemi ve net şimdiki değer analizi eşitliklerini birleştiren melez bir model önermişlerdir. Tsao (2012) çalışmasında sermaye yatırımlarının net bugünkü değerlerini hesaplamak için bir dizi bulanık algoritma önerisinde bulunmuştur. Çalışmada gelecek ekonomik senaryoların olasılıklarının değerlendirilmesinde dilsel ifadelerden yararlanılmış, daha sonra bulanık sayılar dilsel ifadelerin gösteriminde kullanılmış ve nakit akışları ve anapara tahmininde bulunulmuştur. Filho ve diğerleri (2012) nakit akışları ve indirim oranlarını üçgensel bulanık sayılarla ifade ederek yatırım projeleri analizi için yeni bir bulanık şimdiki değer analizi metodu önermişlerdir. Maravas ve diğerleri (2012) ulaştırma yatırım projeleri değerlendirmesi için bulanık küme teorisi ve kazanç maliyet analizini bulanık ortamında modelleyen bir yaklaşım önermişlerdir. Lin ve Lu (2013) yap-işlet-devret yatırım projesi uygulamasında yeni bir bulanık net şimdiki değer analizi yaklaşımı önermişlerdir.

Tsao (2013) bulanık ortamdaki tahminlere bağlı olarak yatırımların net şimdiki değerlerinin hesaplanması için pragmatik bir algoritma önermişlerdir. Piasecki (2013) sezgisel bulanık sayıları kullanarak şimdiki değer analizi eşitliği önermişlerdir. Appadoo (2014) nakit akışları ve faiz oranlarını bulanık olarak modelleyen bir bulanık olasılıklı şimdiki değer analizi eşitliği önermiştir. Ghofrani (2014) rüzgâr enerjisi entegrasyonunda bulanık kazanç maliyet

analizi, genetik algoritma, Montecarlo simülasyonu kullanan melez bir model önermişlerdir. Karimi ve Niknamfar (2015) hedef fiyatın belirlenmesinde bulanık ortamda net şimdiki değer analizi ve Monte Carlo simülasyonundan faydalanmışlardır. Piasecki ve Siwek (2015) daha önce yapmış olduğu çalışmalarına ek olarak şimdiki değer tanımını bulanık sayılarla tekrar ele almış ve yeni bir model öne sürmüştür. Dinagar ve Kamalanathan (2015) yapmış oldukları çalışmalarında bulanık şimdiki değeri maksimize etmeye çalışan yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmada bulanık nakit akışları ağırlığı ve bulanık indirimli nakit akış ağırlıkları yamuk bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Sarı ve Kutcha (2015) proje zaman çizelgelemede uzman tutumundan etkilenen bulanık net şimdiki değeri maksimize eden yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Kahraman ve diğerleri (2015) tereddütlü bulanık kümeleri kullanarak yıllık nakit akışı analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada birden fazla uzman görüşünü hesaba katan bir model önermişlerdir. Kahraman ve diğerleri (2015) üçgensel tereddütlü bulanık kümeleri kullanarak şimdiki değer analizi eşitliği geliştirmiştir. Petkovic ve diğerleri (2016) rüzgâr enerjisi yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi probleminin bulanık şimdiki değeri üzerinde en etkili parametrelerini tespit etmede neuro-fuzzy yaklaşımını kullanmışlardır. Fathollahi ve Najafi (2016) inşaat yatırım projesi bulanık parametreleri kullanan zaman çizelgeleme probleminde proje nakit akışlarındaki net şimdiki değeri maksimize eden melez bir genetik algoritma modeli kullanmışlardır. Kahraman ve diğerleri (2016) CNC tezgâh yatırım projesi seçimince aralıklı sezgisel bulanık sayıları kullanan şimdiki değer analiz odaklı yatırım analizi eşitliği geliştirmişlerdir. Kahraman ve diğerleri (2016) rüzgâr enerjisi yatırım alternatifleri değerlendirme problemi için aralık değerli sezgisel bulanık kazanç/maliyet analizi eşitliği geliştirmişlerdir. Rabani ve diğerleri (2016) çalışmalarında iki aşamalı bulanık kazanç maliyet analizi metodolojisi geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında projeye ait verileri üçgensel bulanık sayı olarak ifade etmişlerdir. Sarı ve Kahraman (2017) Tip-2 bulanık kümeleri kullanarak şimdiki değer analizi eşitliği geliştirmişlerdir. Kahraman ve diğerleri (2017) çalışmalarında Tip-1, Tip-2, sezgisel ve tereddütlü bulanık kümeleri kullanan ekonomik analiz eşitlikleri geliştirmişlerdir. Valledapaz (2017) üçgensel bulanık sayıları kullanan yeni net şimdiki değer ve iç geri dönüş oranı eşitliği geliştirmişlerdir. Bu çalışmada yatırım alternatifi seçim problemi için yeni seçim ölçütleri oluşturulmuştur. Kahraman ve diğerleri (2017) Pisagor bulanık kümeleri kullanan şimdiki değer analizi eşitliği geliştirmişlerdir. Yapılan bu çalışma kapsamında Aydın ve diğerleri (2018) yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesinde nütrosifik şimdiki değer analizi eşitlikleri geliştirmişlerdir. Yine bu tez çalışması kapsamında Aydın ve Kabak (2020) aralık değerli parametreleri kullanarak ve yeni

geliştirdikleri nütrosifik aritmetik işlemler ile nütrosifik gelecek değer ve nütrosifik şimdiki değer analizi eşitlikleri geliştirmişlerdir.

4.2. Yığıştirılmış Nütrosifik Yatırım Analiz Teknikleri

Çalışmanın bu bölümünde nütrosifik kümeler kullanılarak çeşitli yatırım analizi teknikleri geliştirilecektir.

4.2.1. Yığıştirılmış nütrosifik şimdiki değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirılmış nütrosifik şimdiki değer analizi (NŞD) eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$N\dot{S}D = M + YB(P/A, i, n) + BB(P/F, i, t) - HD(P/F, i, n) \quad (4.10)$$

$$N\dot{S}D = M + YB\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right) + BB(1+i)^{-t} - HD(1+i)^{-n} \quad (4.11)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri tek değerli nütrosifik kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir; İlk maliyet ($\widetilde{M}$), yıllık bakım ($\widetilde{YB}$), büyük bakım ($\widetilde{BB}$), hurda değeri ($\widetilde{HD}$), faiz oranı ($\widetilde{i}$), ekonomik ömür ($\widetilde{n}$), büyük bakım zamanı (t). Büyük bakım, projenin ekonomik ömrü boyunca sadece bir kez gerçekleştirildiğinden büyük bakım zamanı (t) pozitif sayıyla temsil edilmiştir.

Önerilen NŞD eşitliğinde m adet uzman yatırım parametreleri üzerinde tahminde bulunabilecektir. Bu durumda parametrelerin matris formatındaki gösterimi şu şekildedir:

$$\tilde{\tilde{M}} = \left\{ \begin{array}{l} M_1, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ M_2, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ M_k, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.11)$$

$$\tilde{\tilde{YB}} = \left\{ \begin{array}{l} YB_1, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ YB_2, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ YB_k, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.12)$$

$$\tilde{\tilde{BB}} = \left\{ \begin{array}{l} BB_1, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ BB_2, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ BB_k, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.13)$$

$$\tilde{\tilde{HD}} = \left\{ \begin{array}{l} HM_1, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ HM_2, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ HM_k, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.14)$$

$$\tilde{\tilde{i}} = \left\{ \begin{array}{l} i_1, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ i_2, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ i_k, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.15)$$

$$\tilde{\tilde{n}} = \left\{ \begin{array}{l} n_1, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ n_2, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ n_k, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.16)$$

Yukarıdaki parametreleri kullanarak NŞD şu şekilde hesaplanır:

m adet uzman değerlendirmesi tek değerli nôtrosifik ağırlıklı aritmetik ortalama yığışım operatörü ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülür:

$$\tilde{\tilde{M}} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\begin{array}{l} M_j, \langle T_1, I_1, F \rangle, \\ \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \end{array} \right) \quad (4.17)$$

$$\widetilde{\widetilde{B}}B = \cup_{j=1}^k F_w \left(BB_j, \langle T_1, I_1, F \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) \quad (4.18)$$

$$\widetilde{\widetilde{Y}}B = \cup_{j=1}^k F_w \left(YB_j, \langle T_1, I_1, F \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) \quad (4.19)$$

$$\widetilde{\widetilde{H}}D = \cup_{j=1}^k F_w \left(HD_j, \langle T_1, I_1, F \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) \quad (4.20)$$

$$\widetilde{\widetilde{I}} = \cup_{j=1}^k F_w \left(i_j, \langle T_1, I_1, F \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) \quad (4.21)$$

$$\widetilde{\widetilde{n}} = \cup_{j=1}^k F_w \left(n_j, \langle T_1, I_1, F \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) \quad (4.22)$$

Durulaştırma operatörü kullanarak, nôtrosifik üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına aşağıdaki eşitliklerle dönüştürülür:

$$\widetilde{\widetilde{M}} \cup_{j=1}^k \left(M_j, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) = \mu_{M_j} \quad (4.23)$$

$$\langle \mu_{M_{jT}}, \mu_{M_{jI}}, \mu_{M_{jF}} \rangle, j = 1, \dots, k$$

$$\widetilde{\widetilde{B}}B \cup_{j=1}^k \left(BB_j, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) = \mu_{BB_j} \quad (4.24)$$

$$\langle \mu_{BB_{jT}}, \mu_{BB_{jI}}, \mu_{BB_{jF}} \rangle, j = 1, \dots, k$$

$$\widetilde{\widetilde{Y}}B \cup_{j=1}^k \left(YB_j, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) = \mu_{YB_j} \quad (4.25)$$

$$\langle \mu_{YB_{jT}}, \mu_{YB_{jI}}, \mu_{YB_{jF}} \rangle, j = 1, \dots, k$$

$$\widetilde{HD} \cup_{j=1}^k \left(\begin{matrix} BB_j, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \\ \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \end{matrix} \right) = \mu_{HD_j} \quad (4.26)$$

$$\langle \mu_{HD_{jT}}, \mu_{HD_{jI}}, \mu_{HD_{jF}} \rangle, j = 1, \dots k$$

$$\tilde{i} \cup_{j=1}^k \left(\begin{matrix} i_j, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \\ \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \end{matrix} \right) = \mu_{i_j} \quad (4.27)$$

$$\langle \mu_{i_{jT}}, \mu_{i_{jI}}, \mu_{i_{jF}} \rangle, j = 1, \dots k$$

$$\tilde{n} \cup_{j=1}^k \left(\begin{matrix} n_j, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \\ \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \end{matrix} \right) = \mu_{n_j} \quad (4.28)$$

$$\langle \mu_{n_{jT}}, \mu_{n_{jI}}, \mu_{n_{jF}} \rangle, j = 1, \dots k$$

$$\left\langle \mu_{M_{jT}}, \mu_{M_{jI}}, \mu_{M_{jF}} \right\rangle, \left\langle \mu_{BB_{jT}}, \mu_{BB_{jI}}, \mu_{BB_{jF}} \right\rangle, \left\langle \mu_{YB_{jT}}, \mu_{YB_{jI}}, \mu_{YB_{jF}} \right\rangle, \left\langle \mu_{HD_{jT}}, \mu_{HD_{jI}}, \mu_{HD_{jF}} \right\rangle$$

$\left\langle \mu_{i_{jT}}, \mu_{i_{jI}}, \mu_{i_{jF}} \right\rangle, \left\langle \mu_{n_{jT}}, \mu_{n_{jI}}, \mu_{n_{jF}} \right\rangle$ değerlerine ait durulaştırılmış değerler aşağıda bizim tarafımızdan geliştirilmiş olan eşitlikle hesaplanır.

$$D_{(\mu_X)} = \frac{T+(1-F)}{2(I+1)} \quad (4.29)$$

Yukarıdaki eşitliklerin uygulanması sonucunda parametrelere ait olası değerler ve bunlara ait durulaştırılmış üyelik dereceleri elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra, Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak parametrelere ait net değerler elde edilir.

$$COGX^{\tilde{X}} = \frac{\sum_{j=1}^k X_j(D_{\mu_X})}{\sum_{j=1}^k (D_{\mu_X})} \quad (4.30)$$

Bütün parametrelere ait net değerler hesaplanmasından sonra, bu net değerler Eş.4.10'da yerine koyularak yığıştırılmış nôtrosifik şimdiki değer analizi gerçekleştirilir.

Örnek 1: Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te iki ayrı alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değerli nôtrosifik üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir; 0,4, 0,3, 0,3. Yığıştırılmış nôtrosifik şimdiki değer analizi metodu yöntemine göre alternatifler değerlendirilecektir.

Çizelge 4.2. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nôtrosifik üyelik dereceleri

	Alternatif 1			
Parametreler	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	12.000 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	14.000 TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	$\langle 0,3; 0,6; 0,1 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	16.000 TL	$\langle 0,7; 0,8; 0,1 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$
$\tilde{YB}$	1.000 TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	1.100 TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	1200 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{BB}$	2.000 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,5 \rangle$
	2.200 TL	$\langle 0,9; 0,3; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$
	2.400 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,3 \rangle$	$\langle 0,5; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,4 \rangle$
$\tilde{HD}$	1.100 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	1.200 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$
	1.300 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$
$\tilde{i}$	%12	$\langle 0,3; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
	%13	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,4 \rangle$
	%14	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,4; 0,8 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,8 \rangle$
$\tilde{n}$	5 yıl	$\langle 0,4; 0,5; 0,8 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
	6 yıl	$\langle 0,7; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,8; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$
	7 yıl	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	$\langle 0,2; 0,2; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,3; 0,7 \rangle$

Çizelge 4.3. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri

	Alternatif 2			
Parametreler	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	15.000 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,2; 0,5; 0,8 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,2 \rangle$
	17.000 TL	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,1 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$
	19.000 TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,8 \rangle$	$\langle 0,5; 0,5; 0,3 \rangle$
$\tilde{YB}$	1.500 TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,2 \rangle$
	1.700 TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,1; 0,2 \rangle$
	1.900 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{BB}$	700 TL	$\langle 0,2; 0,3; 0,8 \rangle$	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,4; 0,8; 0,5 \rangle$
	800 TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	900 TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,2; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,2; 0,4 \rangle$
$\tilde{HD}$	3.000 TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,5 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$
	3.100 TL	$\langle 0,2; 0,3; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,3; 0,6 \rangle$
	3.200 TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,1 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,2; 0,3 \rangle$
$\tilde{i}$	%12	$\langle 0,3; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
	%13	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,4 \rangle$
	%14	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	$\langle 0,1; 0,1; 0,9 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,8 \rangle$
$\tilde{n}$	5 yıl	$\langle 0,4; 0,5; 0,8 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
	6 yıl	$\langle 0,7; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$
	7 yıl	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	$\langle 0,1; 0,1; 0,9 \rangle$	$\langle 0,4; 0,3; 0,7 \rangle$

Alternatiflerin değerlendirilmesinde ilk olarak 3 farklı uzmanın olası değerlere atanmış olduğu üyelik dereceleri nütrosifik yığışım operatörü kullanarak tek bir değere yığıştırılır. Alternatif 1'in ilk maliyet parametresine (12.000 TL) ait yığıştırılmış tek değerli nütrosifik değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$F_w(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left\langle 1 - \prod_{j=1}^n (1 - T_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - I_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - F_{A_j}(x))^{w_j} \right\rangle$$

$$SVNWA(\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle, \langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle, \langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle) =$$

$$\left\langle 1 - ((1 - 0,5)^{0,4} \times (1 - 0,4)^{0,3} \times (1 - 0,4)^{0,3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0,6)^{0,4} \times (1 - 0,5)^{0,3} \times (1 - 0,5)^{0,3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0,4)^{0,4} \times (1 - 0,5)^{0,3} \times (1 - 0,2)^{0,3}) \right\rangle$$

Çizelge 4.4'te Alternatif 1 ve Alternatif 2'ye ait yığıştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Parametrelere ait olası değerler ve yığıstırılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Yığıstırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Yığıstırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	$\langle 0,442; 0,543; 0,381 \rangle$	15.000 TL	$\langle 0,424; 0,676; 0,563 \rangle$
	14.000 TL	$\langle 0,405; 0,645; 0,280 \rangle$	17.000 TL	$\langle 0,432; 0,643; 0,455 \rangle$
	16.000 TL	$\langle 0,690; 0,613; 0,194 \rangle$	19.000 TL	$\langle 0,592; 0,432; 0,519 \rangle$
$\tilde{YB}$	1.000 TL	$\langle 0,848; 0,161; 0,161 \rangle$	1.500 TL	$\langle 0,506; 0,599; 0,469 \rangle$
	1.100 TL	$\langle 0,517; 0,432; 0,200 \rangle$	1.700 TL	$\langle 0,569; 0,442; 0,469 \rangle$
	1.200 TL	$\langle 0,332; 0,327; 0,631 \rangle$	1.900 TL	$\langle 0,332; 0,327; 0,631 \rangle$
$\tilde{BB}$	2.000 TL	$\langle 0,543; 0,643; 0,432 \rangle$	700 TL	$\langle 0,266; 0,500; 0,703 \rangle$
	2.200 TL	$\langle 0,807; 0,362; 0,300 \rangle$	800 TL	$\langle 0,633; 0,392; 0,405 \rangle$
	2.400 TL	$\langle 0,472; 0,633; 0,435 \rangle$	900 TL	$\langle 0,658; 0,200; 0,327 \rangle$
$\tilde{HD}$	1.100 TL	$\langle 0,543; 0,765; 0,462 \rangle$	3.000 TL	$\langle 0,547; 0,346; 0,500 \rangle$
	1.200 TL	$\langle 0,442; 0,745; 0,563 \rangle$	3.100 TL	$\langle 0,363; 0,367; 0,563 \rangle$
	1.300 TL	$\langle 0,663; 0,545; 0,342 \rangle$	3.200 TL	$\langle 0,690; 0,200; 0,226 \rangle$
$\tilde{i}$	%12	$\langle 0,396; 0,532; 0,539 \rangle$	%12	$\langle 0,396; 0,532; 0,539 \rangle$
	%13	$\langle 0,745; 0,161; 0,332 \rangle$	%13	$\langle 0,745; 0,161; 0,332 \rangle$
	%14	$\langle 0,469; 0,547; 0,736 \rangle$	%14	$\langle 0,469; 0,547; 0,736 \rangle$
$\tilde{n}$	5 yıl	$\langle 0,432; 0,532; 0,745 \rangle$	5 yıl	$\langle 0,432; 0,532; 0,745 \rangle$
	6 yıl	$\langle 0,734; 0,392; 0,392 \rangle$	6 yıl	$\langle 0,734; 0,392; 0,392 \rangle$
	7 yıl	$\langle 0,396; 0,363; 0,673 \rangle$	7 yıl	$\langle 0,396; 0,363; 0,673 \rangle$

Durulaştırma operatörü kullanarak, nôtrosifik üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmesi ilk maliyet parametresi için şu şekilde hesaplanmıştır:

$$D_{\tilde{M}_{12,000}} = \frac{0,442 + (1 - 0,381)}{2(1 + 0,543)}$$

$$D_{\tilde{M}_{12,000}} = 0,344$$

Çizelge 4.5'te parametreler ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Durulaştırılmış Üyelik Derecesi	Olası değerler	Durulaştırılmış Üyelik Derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	0,344	15.000 TL	0,257
	14.000 TL	0,342	17.000 TL	0,297
	16.000 TL	0,464	19.000 TL	0,375
$\tilde{YB}$	1.000 TL	0,726	1.500 TL	0,324
	1.100 TL	0,460	1.700 TL	0,382
	1.200 TL	0,264	1.900 TL	0,264
$\tilde{BB}$	2.000 TL	0,338	700 TL	0,188
	2.200 TL	0,553	800 TL	0,441
	2.400 TL	0,317	900 TL	0,555
$\tilde{HD}$	1.100 TL	0,306	3.000 TL	0,389
	1.200 TL	0,252	3.100 TL	0,293
	1.300 TL	0,428	3.200 TL	0,610
$\tilde{i}$	%12	0,280	%12	0,280
	%13	0,608	%13	0,608
	%14	0,237	%14	0,237
$\tilde{n}$	5 yıl	0,224	5 yıl	0,224
	6 yıl	0,482	6 yıl	0,482
	7 yıl	0,247	7 yıl	0,247

Parametrelere ait net değerlerin bulunması amacıyla Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak gerekli hesaplamalar yapılır. İlk maliyet parametresine ait net değer aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$COG_{\tilde{M}} = \frac{(12.000 \times 0,344) + (14.000 \times 0,342) + (16.000 \times 0,464)}{(0,344 + 0,342 + 0,464)}$$

14.208,08 TL

Çizelge 4.6’da alternatiflere ait net değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Alternatiflere ait net değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Net Değerler	Net Değerler
M	14.208,08 TL	17.253,21 TL
YB	1.068,17 TL	1.687,65 TL
BB	2.196,62 TL	830,98 TL
HD	1.212,32 TL	3.117,13 TL
i	%12,96	%12,96
n	6,02 yıl	6,02 yıl

Son adımda hesaplanan net değerler, Eş. 4.10 ve Eş. 4.11’de yerine koyularak yığıştirılmış nôtrosifik şimdiki değer hesaplamaları tamamlanır.

Alternatife 1’e ait yığıştirılmış nôtrosifik şimdiki değer hesaplamaları aşağıda gösterilmiştir.

$$N\mathcal{S}D = 14.208,08 + 1.068,17(P/A, \%12,96; 6,02) + 2.196,45(P/F, \%12,96; 3) \\ - 1.212,32(P/F, \%12,96; 6,02)$$

$$N\mathcal{S}D = 19.436,26TL$$

Alternatife 2’ye ait yığıştirılmış nôtrosifik şimdiki değer hesaplamaları aşağıda gösterilmiştir.

$$N\mathcal{S}D = 17.253,21 + 1.687,65(P/A, \%12,96; 6,02) + 830,98(P/F, \%12,96; 3) \\ - 3.117,13(P/F, \%12,96; 6,02)$$

$$N\mathcal{S}D = 23.105,57TL$$

Alternatifler hesaplanan nôtrosifik şimdiki değer hesaplama sonuçlarına göre karşılaştırıldığında, Alternatif 1’e ait nôtrosifik şimdiki değer daha küçük olması nedeniyle yatırım alternatifi olarak seçilecektir.

4.2.2. Yığıştirılmış nôtrosifik gelecek değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirılmış nôtrosifik gelecek değer analizi (NGD) eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$NGD = M(F/P, i, n) + YB(F/A, i, n) + BB(P/F, i, t)(F/P, i, n) - HD \quad (4.31)$$

$$NGD = M(1 + i)^n + YB\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right) + BB(1 + i)^{-t}(1 + i)^n - HD \quad (4.32)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri tek değerli nôtrosifik kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: İlk maliyet ($\tilde{M}$), yıllık bakım ($\tilde{YB}$), büyük bakım ($\tilde{BB}$), hurda değeri ($\tilde{HD}$), faiz oranı ($\tilde{i}$), ekonomik ömür ($\tilde{n}$), büyük bakım zamanı (t). Büyük bakım, projenin ekonomik ömrü boyunca sadece bir kez gerçekleştirildiğinden büyük bakım zamanı (t) pozitif sayıyla temsil edilmiştir.

Yığıştirılmış nôtrosifik gelecek değer hesaplaması yapılırken, alternatiflerin yığıştirılmış nôtrosifik şimdiki değer hesaplamalarında kullanılan net değer hesaplamasına olan kısım bu bölümde de kullanılacaktır. Daha sonra hesaplanan net değerler Eş. 4.31 ve Eş. 4.32’de yerine koyularak yığıştirılmış nôtrosifik gelecek değer hesaplamaları gerçekleştirilir.

Örnek 2: Örnek 1’deki verileri kullanarak alternatiflere ait yığıştirılmış nôtrosifik gelecek değerlerini hesaplayarak, yatırım alternatifleri değerlendirilecektir.

Alternatif 1’ e ait yığıştirılmış nôtrosifik gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$NGD = 14.208,08(F/P, \%12,96; 6,02) + 1.068,17(F/A, \%12,96; 6,02) \\ + 2.196,62(P/F, \%12,96; 3)(F/P, \%12,96; 6,02) - 1.212,32$$

$$NGD = 40.500,72 TL$$

Alternatif 2’ye ait yığıştirılmış nôtrosifik gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$NGD = 17.253,21(F/P, \%12,96; 6,02) + 1.687,65(F/A, \%12,96; 6,02) \\ + 830,98(P/F, \%12,96; 3)(F/P, \%12,96; 6,02) - 3.117,13$$

$$NGD = 48.146,72 TL$$

Alternatifler hesaplanan nôtrosifik gelecek değer hesaplama sonuçlarına göre karşılaştırıldığında, Alternatif 1’e ait nôtrosifik gelecek değer daha küçük olması nedeniyle yatırım alternatifi olarak seçilecektir.

4.2.3. Yığıştirılmış nôtrosofik geri ödeme süresi analizi

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirılmış nôtrosofik geri ödeme süresi analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$\sum_{n=1}^{N_j} K_{jn} \left(\frac{P}{F}, i, n \right) \geq M_j \quad (4.33)$$

$$\sum_{n=1}^{N_j} K_{jn} (1 + i)^{-n} \geq M_j \quad (4.34)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri tek değerli nôtrosofik kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: Yatırıma ait ilk maliyet $\tilde{M}$, $\tilde{K}_{jn}$ n dönemde elde edilen net kazancı ifade etmektedir. Paranın zaman değeri göz önüne alındığında Eşitlik (4.33)'i sağlayan en küçük N_j değeri, j yatırımı için geri dönüş süresini vermektedir. Bu formülasyonda n süresi net değer olarak bilinmek durumundadır.

Önerilen nôtrosofik geri ödeme süresi eşitliğinde m adet uzman yatırım parametreleri üzerinde tahminde bulunabilecektir. İlk maliyet parametresine ait Eş. 4.11 bu analiz yöntemi içinde geçerli olup, diğer parametrelerin matris formatındaki gösterimi şu şekildedir:

$$\tilde{K} = \begin{Bmatrix} K_1, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ K_2, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ K_k, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{Bmatrix} \quad (4.35)$$

$$\tilde{i} = \begin{Bmatrix} i_1, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ i_2, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ i_k, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{Bmatrix} \quad (4.36)$$

Yukarıdaki parametreleri kullanarak yığıştirılmış nôtrosofik geri ödeme analizi şu şekilde hesaplanır:

m adet uzman değerlendirmesi tek değerli nôtrosifik ağırlıklı aritmetik ortalama yığışım operatörü ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülür. İlk maliyet parametresine ait eşitlikler bu adımda kullanılır, net kazanç parametresine ait eşitlik ise şu şekilde hesaplanır:

$$\tilde{K} = \cup_{j=1}^k F_w \left(K_j, \langle T_1, I_1, F \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) \quad (4.37)$$

Durulaştırma operatörü kullanarak, nôtrosifik üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına aşağıdaki eşitliklerle dönüştürülür.

$$\tilde{K} \cup_{j=1}^k \left(K_j, \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle \right) = \mu_{K_j} \quad (4.38)$$

$$\langle \mu_{K_{jT}}, \mu_{K_{jI}}, \mu_{K_{jF}} \rangle, j = 1, \dots, k$$

$\langle \mu_{M_{jT}}, \mu_{M_{jI}}, \mu_{M_{jF}} \rangle, \langle \mu_{K_{jT}}, \mu_{K_{jI}}, \mu_{K_{jF}} \rangle, \langle \mu_{n_{jT}}, \mu_{n_{jI}}, \mu_{n_{jF}} \rangle$ değerlerine ait durulaştırılmış değerler bizim tarafımızdan geliştirilmiş olan Eş. 4.29 ile hesaplanır.

Bu işlemden sonra Eş. 4.30'deki ağırlık merkezi yöntemi kullanarak parametrelere ait net değerler elde edilir ve net değerler Eş. 4.33'te yerine koyularak geri ödeme analizi gerçekleştirilir.

Örnek 3: Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de iki ayrı alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değerli nôtrosifik üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir; 0,4, 0,3, 0,3. Alternatiflerin ekonomik ömrü bu problemde net değer olarak ele alınmış olup 5 yıldır. Yığıştırılmış nôtrosifik geri ödeme analizi metodu yöntemine göre alternatifleri değerlendiriniz.

Çizelge 4.7. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik derecesi değerleri

Parametreler	Alternatif 1			
	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	12.000 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	14.000 TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	$\langle 0,3; 0,6; 0,1 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	16.000 TL	$\langle 0,7; 0,8; 0,1 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	4.000 TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	4.500 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{K}_{j2}$	5.000 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,5 \rangle$
	6.000 TL	$\langle 0,9; 0,3; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$
	7.000 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,3 \rangle$	$\langle 0,5; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,4 \rangle$
$\tilde{K}_{j3}$	5.000 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	6.000 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$
	7.000 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j4}$	5.500 TL	$\langle 0,3; 0,5; 0,6 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,2 \rangle$	$\langle 0,5; 0,7; 0,8 \rangle$
	6.500 TL	$\langle 0,4; 0,7; 0,2 \rangle$	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,7; 0,5; 0,2 \rangle$
	7.000 TL	$\langle 0,4; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,9; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j5}$	7000 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,4 \rangle$	$\langle 0,60,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	8.000 TL	$\langle 0,8; 0,4; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; ,0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,3; 0,4 \rangle$
	9.000 TL	$\langle 0,7; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,3 \rangle$	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$
$\tilde{i}$	%12	$\langle 0,3; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
	%13	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,4 \rangle$
	%14	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,4; 0,8 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,8 \rangle$

Çizelge 4.8. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik derecesi değerleri

Parametreler	Alternatif 2			
	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	15.000 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,2; 0,5; 0,8 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,2 \rangle$
	17.000 TL	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,1 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$
	19.000 TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,8 \rangle$	$\langle 0,5; 0,5; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j1}$	5.000 TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,2 \rangle$
	6.000 TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,1; 0,2 \rangle$
	7.000 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{K}_{j2}$	5.000 TL	$\langle 0,2; 0,3; 0,8 \rangle$	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,4; 0,8; 0,5 \rangle$
	6.000 TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	7.000 TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,2; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,2; 0,4 \rangle$
$\tilde{K}_{j3}$	4.000 TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,5 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$
	5.000 TL	$\langle 0,2; 0,3; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,3; 0,6 \rangle$
	6.000 TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,1 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,2; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j4}$	8.000 TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,6 \rangle$	$\langle 0,7; 0,8; 0,6 \rangle$
	9.000 TL	$\langle 0,3; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,6; 0,5; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,4; 0,5 \rangle$
	10.000 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,8; 0,2 \rangle$
$\tilde{K}_{j5}$	8.500 TL	$\langle 0,9; 0,8; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	9.000 TL	$\langle 0,5; 0,7; 0,3 \rangle$	$\langle 0,4; 0,2; 0,1 \rangle$	$\langle 0,6; 0,4; 0,6 \rangle$
	9.500 TL	$\langle 0,2; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,2; 0,8 \rangle$	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{i}$	%12	$\langle 0,3; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
	%13	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,4 \rangle$
	%14	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	$\langle 0,1; 0,1; 0,9 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,8 \rangle$

Alternatiflerin değerlendirilmesinde ilk olarak 3 farklı uzmanın olası değerlere atanmış olduğu üyelik dereceleri nütrosifik yığışım operatörü kullanarak tek bir değere yığıştırılır. Alternatif 1'in ilk dönem elde edilen net kazancı parametresine (3.500 TL) ait yığıştırılmış tek değerli nütrosifik değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$SNWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - T_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - I_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - F_{A_j}(x))^{w_j} \right)$$

$$SVNWA(\langle 0.9, 0.1, 0.1 \rangle, \langle 0.8, 0.2, 0.2 \rangle, \langle 0.8, 0.2, 0.2 \rangle) =$$

$$\left(1 - ((1 - 0.9)^{0.4} \times (1 - 0.2)^{0.3} \times (1 - 0.2)^{0.3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0.1)^{0.4} \times (1 - 0.2)^{0.3} \times (1 - 0.2)^{0.3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0.1)^{0.4} \times (1 - 0.2)^{0.3} \times (1 - 0.2)^{0.3}) \right)$$

$$= \langle 0.848; 0.161; 0.161 \rangle$$

Çizelge 4.9'da Alternatif 1 ve Alternatif 2'ye ait yığıştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştırılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Yığıştırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Yığıştırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	$\langle 0.442; 0.543; 0.381 \rangle$	15.000 TL	$\langle 0.424; 0.676; 0.563 \rangle$
	14.000 TL	$\langle 0.405; 0.645; 0.280 \rangle$	17.000 TL	$\langle 0.432; 0.643; 0.455 \rangle$
	16.000 TL	$\langle 0.690; 0.613; 0.194 \rangle$	19.000 TL	$\langle 0.592; 0.432; 0.519 \rangle$
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	$\langle 0.848; 0.161; 0.161 \rangle$	5.000 TL	$\langle 0.506; 0.599; 0.469 \rangle$
	4.000 TL	$\langle 0.517; 0.432; 0.200 \rangle$	6.000 TL	$\langle 0.569; 0.442; 0.469 \rangle$
	4.500 TL	$\langle 0.332; 0.327; 0.631 \rangle$	7.000 TL	$\langle 0.332; 0.327; 0.631 \rangle$
$\tilde{K}_{j2}$	5.000 TL	$\langle 0.543; 0.643; 0.432 \rangle$	5.000 TL	$\langle 0.266; 0.500; 0.703 \rangle$
	6.000 TL	$\langle 0.807; 0.362; 0.300 \rangle$	6.000 TL	$\langle 0.633; 0.392; 0.405 \rangle$
	7.000 TL	$\langle 0.472; 0.633; 0.435 \rangle$	7.000 TL	$\langle 0.658; 0.200; 0.327 \rangle$
$\tilde{K}_{j3}$	5.000 TL	$\langle 0.543; 0.765; 0.462 \rangle$	4.000 TL	$\langle 0.547; 0.346; 0.500 \rangle$
	6.000 TL	$\langle 0.442; 0.745; 0.563 \rangle$	5.000 TL	$\langle 0.363; 0.367; 0.563 \rangle$
	7.000 TL	$\langle 0.663; 0.545; 0.342 \rangle$	6.000 TL	$\langle 0.690; 0.200; 0.226 \rangle$
$\tilde{K}_{j4}$	5.500 TL	$\langle 0.465; 0.632; 0.600 \rangle$	8.000 TL	$\langle 0.608; 0.711; 0.530 \rangle$
	6.500 TL	$\langle 0.568; 0.592; 0.266 \rangle$	9.000 TL	$\langle 0.435; 0.363; 0.619 \rangle$
	7.000 TL	$\langle 0.690; 0.444; 0.332 \rangle$	10.000 TL	$\langle 0.532; 0.653; 0.504 \rangle$
$\tilde{K}_{j5}$	7.000 TL	$\langle 0.645; 0.601; 0.346 \rangle$	8.500 TL	$\langle 0.737; 0.658; 0.597 \rangle$
	8.000 TL	$\langle 0.634; 0.372; 0.490 \rangle$	9.000 TL	$\langle 0.506; 0.504; 0.362 \rangle$
	9.000 TL	$\langle 0.765; 0.372; 0.315 \rangle$	9.500 TL	$\langle 0.404; 0.504; 0.653 \rangle$
$\tilde{t}$	%12	$\langle 0.396; 0.532; 0.539 \rangle$	%12	$\langle 0.396; 0.532; 0.462 \rangle$
	%13	$\langle 0.745; 0.161; 0.332 \rangle$	%13	$\langle 0.745; 0.161; 0.462 \rangle$
	%14	$\langle 0.469; 0.547; 0.736 \rangle$	%14	$\langle 0.469; 0.547; 0.675 \rangle$

Durulaştırma operatörü kullanılarak, nütrosifik üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk dönem elde edilen net kazancı parametresi için bu işlem şu şekilde hesaplanmıştır:

$$D_{\tilde{K}_{j1,3,500}} = \frac{0,848 + (1 - 0,161)}{2(1 + 0,161)}$$

$$D_{\tilde{K}_{j1,3,500}} = 0,726$$

Çizelge 4.10'da parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	0,344	15.000 TL	0,257
	14.000 TL	0,342	17.000 TL	0,297
	16.000 TL	0,464	19.000 TL	0,375
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	0,726	5.000 TL	0,324
	4.000 TL	0,460	6.000 TL	0,382
	4.500 TL	0,264	7.000 TL	0,264
$\tilde{K}_{j2}$	5.000 TL	0,338	5.000 TL	0,188
	6.000 TL	0,553	6.000 TL	0,441
	7.000 TL	0,317	7.000 TL	0,555
$\tilde{K}_{j3}$	5.000 TL	0,306	4.000 TL	0,389
	6.000 TL	0,252	5.000 TL	0,293
	7.000 TL	0,428	6.000 TL	0,610
$\tilde{K}_{j4}$	5.500 TL	0,265	8.000 TL	0,315
	6.500 TL	0,409	9.000 TL	0,229
	7.000 TL	0,470	10.000 TL	0,311
$\tilde{K}_{j5}$	7.000 TL	0,406	8.500 TL	0,344
	8.000 TL	0,417	9.000 TL	0,380
	9.000 TL	0,528	9.500 TL	0,250
$\tilde{i}$	%12	0,280	%12	0,280
	%13	0,608	%13	0,608
	%14	0,237	%14	0,237

Parametrelere ait net değerlerin bulunması amacıyla Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak gerekli hesaplamalar yapılır.

Alternatif 1'in ilk dönem elde edilen net kazanç parametresine ait net değer aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$COG_{\tilde{K}_1} = \frac{(3.500 \times 0,726) + (4.000 \times 0,460) + (4.500 \times 0,264)}{(0,726 + 0,460 + 0,264)}$$

$$= 3.840,83$$

Çizelge 4.11'de alternatiflere ait net değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Alternatiflere ait net değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Net değerler	Net değerler
M	14.208,08 TL	17.253,21 TL
K_{j1}	3.840,83TL	5.938,24 TL
K_{j2}	5.983,09 TL	6.309,79 TL
K_{j3}	6.123,23 TL	5.171,28TL
K_{j4}	6.473,93 TL	4.995,77 TL
K_{j5}	8.090,85 TL	8.951,67 TL
i	%12,96	%12,96

Son adımda hesaplanan net değerler Eş. 4.33'te de yerine koyularak bu denklemi sağlayan en küçük N_j değeri, j yatırımı için geri dönüş süresini vermektedir. Alternatif 1 için Eş. 4.33 şu şekildedir:

$$\sum_{n=1}^{N_j} \tilde{K}_{jt}(P/F, 12,96, t) \geq 14.208,08$$

Yukarıdaki eşitliğe göre paranın zaman değeri göz önüne alınarak hesaplanan geri ödeme süresi aşağıdaki Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Alternatiflere ait geri ödeme süresi çizelgesi

Yıllar (Alternatif 1)	Net kazançlar	Net kazançların şimdiki değeri	Net kazançların kümülatif toplamı
0	- 14.208,08 TL	- 14.208,08 TL	- 14.208,08 TL
1	+ 3.840,83 TL	+ 3.400,11 TL	- 10.807,97 TL
2	+ 5.983,09 TL	+ 4.688,80 TL	- 6.119,17 TL
3	+ 6.123,23 TL	+ 4.248,00 TL	-1.871,17 TL
4	+ 6.473,93 TL	+ 3.975,94 TL	+2.104,77 TL
5	+ 8.090,85 TL	+ 4.398,81 TL	+6.503,58 TL
Yıllar (Alternatif 2)	Net kazançlar	Net kazançların şimdiki değeri	Net kazançların kümülatif toplamı
0	- 17.253,21 TL	- 17.253,21 TL	- 17.253,21 TL
1	+ 5.938,24 TL	+ 5.256,86 TL	- 11.996,36 TL
2	+ 6.309,79 TL	+ 4.944,83 TL	-7.051,53 TL
3	+ 5.171,28 TL	+ 3.587,59 TL	- 3.463,94 TL
4	+ 4.995,77 TL	+ 3.068,14 TL	- 395,80 TL
5	+ 8.951,67 TL	+ 4.866,82 TL	+4.471,02 TL

Çizelge 4.12 incelendiğinde Alternatif 1'e ait net kazançların kümülatif toplamı, kullanım ömrü olan 5 yıl içerisinde 4'üncü yılda pozitif değere geçmiştir. Alternatif 2'ye ait net kazançların kümülatif toplamı, kullanım ömrü olan 5 yıl içerisinde 5'inci yıl pozitif değere geçememiştir. Bu nedenle ilk yatırım daha kârlı bir yatırım olarak ön plana çıkmaktadır.

4.2.4. Yığıştirilmiş nütrosifik kazanç maliyet analizi

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirilmiş nütrosifik kazanç maliyet analizi (NKMA) eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$NKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{jn}(P/F, i, n)}{M + BB(P/F, i, t) + YB(P/A, i, n) - HD(P/F, i, n)} \quad n = 1, \dots, k \quad (4.39)$$

$$NKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{jn}(1+i)^{-n}}{M + BB(1+i)^{-t} + YB\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right) - HD(1+i)^{-n}} \quad n = 1, \dots, k \quad (4.40)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri tek değerli nütrosifik kümeler ile temsil edilmiştir ve daha önceki eşitliklerde kullanılan parametreler kullanılmıştır.

Önerilen bu eşitlikte net değerlerin elde edilmesi, daha önceki tek değerli nütrosifik şimdiki değer analizi ve geri ödeme süresi analizindeki açıklanan adımlar bu eşitlikte de geçerlidir. Parametrelerin net değerlerin elde edilmesine müteakip Eş. 4.39'da yerine koyularak NKMA

hesaplanır. Hesaplanan NKMA değerinin 1'den büyük olması durumunda proje kârlı bir projedir, bu değer 1'den büyük olması durumunda proje kâr getirmeyen projedir. Birden fazla alternatifin kıyaslanmasında ise, alternatiflerin NKMA değerlerinin her ikisinin de 1'den büyük olması durumunda NKMA değeri daha büyük olan alternatif yatırım alternatifi olarak seçilir.

Örnek 4: Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'te iki ayrı alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değerli nütrosifik üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir; 0,4; 0,3; 0,3. Alternatiflerin ekonomik ömrü bu problemde net değer olarak ele alınmış olup bu değer 5 yıldır. Yığıştirılmış nütrosifik kazanç maliyet analizi yöntemine göre alternatifler değerlendirilecektir.

Alternatiflerin değerlendirilmesinde ilk olarak 3 farklı uzmanın olası değerlere atanmış olduğu üyelik dereceleri nütrosifik yığışım operatörü kullanarak tek bir değere yığıştirılır. Alternatif 1'in ilk maliyet parametresine (8.000 TL) ait yığıştirılmış nütrosifik değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$SNWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left\langle 1 - \prod_{j=1}^n (1 - T_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - I_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - F_{A_j}(x))^{w_j} \right\rangle$$

$$SVNWA(\langle 0.5, 0.6, 0.4 \rangle, \langle 0.4, 0.5, 0.5 \rangle, \langle 0.4, 0.5, 0.2 \rangle) =$$

$$\left\langle 1 - ((1 - 0.5)^{0.4} \times (1 - 0.4)^{0.3} \times (1 - 0.4)^{0.3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0.6)^{0.4} \times (1 - 0.5)^{0.3} \times (1 - 0.5)^{0.3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0.4)^{0.4} \times (1 - 0.5)^{0.3} \times (1 - 0.2)^{0.3}) \right\rangle$$

$$= \langle 0,442; 0,543; 0,381 \rangle$$

Çizelge 4.13. Alternatif 1'e ait ait olası değerler ve nütrosifik üyelik derecesi değerleri

Parametreler	Alternatif 1			
	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	8.000 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	9.000 TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	$\langle 0,3; 0,6; 0,1 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	10.000 TL	$\langle 0,7; 0,8; 0,1 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$
$\tilde{YB}$	1.000 TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	1.100 TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	1.200 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{BB}$	2.000 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,5 \rangle$
	2.200 TL	$\langle 0,9; 0,3; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$
	2.400 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,3 \rangle$	$\langle 0,5; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,4 \rangle$
$\tilde{HD}$	1.100 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	1.200 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$
	1.300 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j1}$	3.500TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	4.000 TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	4.500 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{K}_{j2}$	3.000 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,5 \rangle$
	3.500 TL	$\langle 0,9; 0,3; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$
	4.000 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,3 \rangle$	$\langle 0,5; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,4 \rangle$
$\tilde{K}_{j3}$	3.100 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	3.200 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$
	3.300 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j4}$	3.400 TL	$\langle 0,3; 0,5; 0,6 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,2 \rangle$	$\langle 0,5; 0,7; 0,8 \rangle$
	3.500 TL	$\langle 0,4; 0,7; 0,2 \rangle$	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,7; 0,5; 0,2 \rangle$
	3600 TL	$\langle 0,4; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,9; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j5}$	3.900 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	4.000 TL	$\langle 0,8; 0,4; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,3; 0,4 \rangle$
	4.100 TL	$\langle 0,7; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,3 \rangle$	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$
$\tilde{i}$	%12	$\langle 0,3; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
	%13	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,4 \rangle$

Çizelge 4.14. Alternatif 2'ye ait ait olası değerler ve nütrosifik üyelik derecesi değerleri

Parametreler	Alternatif 2			
	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	10.000 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,2; 0,5; 0,8 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,2 \rangle$
	11.000 TL	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,1 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$
	12.000 TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,8 \rangle$	$\langle 0,5; 0,5; 0,3 \rangle$
$\tilde{YB}$	1.500 TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,2 \rangle$
	1.700 TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,1; 0,2 \rangle$
	1.900 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{BB}$	700 TL	$\langle 0,2; 0,3; 0,8 \rangle$	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,4; 0,8; 0,5 \rangle$
	800 TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	900 TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,2; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,2; 0,4 \rangle$
$\tilde{HD}$	3.000 TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,5 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$
	3.100 TL	$\langle 0,2; 0,3; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,3; 0,6 \rangle$
	3.200 TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,1 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,2; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j1}$	4.500 TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,6; 0,7; 0,2 \rangle$
	4.600 TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,1; 0,2 \rangle$
	4.700 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{K}_{j2}$	4.000 TL	$\langle 0,2; 0,3; 0,8 \rangle$	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,4; 0,8; 0,5 \rangle$
	4.100 TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	4.200 TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,2; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,2; 0,4 \rangle$
$\tilde{K}_{j3}$	3.900 TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,5 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$
	4.200 TL	$\langle 0,2; 0,3; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,3; 0,6 \rangle$
	4.500 TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,1 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,2; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}_{j4}$	5.000 TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,6 \rangle$	$\langle 0,7; 0,8; 0,6 \rangle$
	5.100 TL	$\langle 0,3; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,6; 0,5; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,4; 0,5 \rangle$
	5.200 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,6; 0,8; 0,2 \rangle$
$\tilde{K}_{j5}$	5.050 TL	$\langle 0,9; 0,8; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	5.150 TL	$\langle 0,5; 0,7; 0,3 \rangle$	$\langle 0,4; 0,2; 0,1 \rangle$	$\langle 0,6; 0,4; 0,6 \rangle$
	5.250 TL	$\langle 0,2; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,2; 0,8 \rangle$	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{t}$	%12	$\langle 0,3; 0,5; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
	%13	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,4 \rangle$

Çizelge 4.15. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştirılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Yığıştirılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Yığıştirılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	8.000 TL	$\langle 0,442; 0,543; 0,381 \rangle$	10.000 TL	$\langle 0,424; 0,676; 0,563 \rangle$
	9.000 TL	$\langle 0,405; 0,645; 0,280 \rangle$	11.000 TL	$\langle 0,432; 0,643; 0,455 \rangle$
	10.000 TL	$\langle 0,690; 0,613; 0,194 \rangle$	12.000 TL	$\langle 0,592; 0,432; 0,519 \rangle$
$\tilde{YB}$	1.000 TL	$\langle 0,848; 0,161; 0,161 \rangle$	1.500 TL	$\langle 0,506; 0,599; 0,469 \rangle$
	1.100 TL	$\langle 0,517; 0,432; 0,200 \rangle$	1.700 TL	$\langle 0,569; 0,442; 0,469 \rangle$
	1.200 TL	$\langle 0,332; 0,327; 0,631 \rangle$	1.900 TL	$\langle 0,332; 0,327; 0,631 \rangle$
$\tilde{BB}$	2.000 TL	$\langle 0,543; 0,643; 0,432 \rangle$	700 TL	$\langle 0,266; 0,500; 0,703 \rangle$
	2.200 TL	$\langle 0,807; 0,362; 0,300 \rangle$	800 TL	$\langle 0,633; 0,392; 0,405 \rangle$
	2.400 TL	$\langle 0,472; 0,633; 0,435 \rangle$	900 TL	$\langle 0,658; 0,200; 0,327 \rangle$
$\tilde{HD}$	1.100 TL	$\langle 0,543; 0,765; 0,462 \rangle$	3.000 TL	$\langle 0,547; 0,346; 0,500 \rangle$
	1.200 TL	$\langle 0,442; 0,745; 0,563 \rangle$	3.100 TL	$\langle 0,363; 0,367; 0,563 \rangle$
	1.300 TL	$\langle 0,663; 0,545; 0,342 \rangle$	3.200 TL	$\langle 0,690; 0,200; 0,226 \rangle$
$\tilde{K}_1$	3.500 TL	$\langle 0,848; 0,161; 0,161 \rangle$	4.500 TL	$\langle 0,506; 0,599; 0,469 \rangle$
	4.000 TL	$\langle 0,517; 0,432; 0,200 \rangle$	4.600 TL	$\langle 0,569; 0,442; 0,469 \rangle$
	4.500 TL	$\langle 0,332; 0,327; 0,631 \rangle$	4.700 TL	$\langle 0,332; 0,327; 0,631 \rangle$
$\tilde{K}_2$	3.000 TL	$\langle 0,543; 0,643; 0,432 \rangle$	4.000 TL	$\langle 0,266; 0,500; 0,703 \rangle$
	3.500 TL	$\langle 0,807; 0,362; 0,300 \rangle$	4.100 TL	$\langle 0,633; 0,392; 0,405 \rangle$
	4.000 TL	$\langle 0,472; 0,633; 0,435 \rangle$	4.200 TL	$\langle 0,658; 0,200; 0,327 \rangle$
$\tilde{K}_3$	3.100 TL	$\langle 0,543; 0,765; 0,462 \rangle$	3.900 TL	$\langle 0,547; 0,346; 0,500 \rangle$
	3.200 TL	$\langle 0,442; 0,745; 0,563 \rangle$	4.200 TL	$\langle 0,363; 0,367; 0,563 \rangle$
	3.300 TL	$\langle 0,663; 0,545; 0,342 \rangle$	4.500 TL	$\langle 0,690; 0,200; 0,226 \rangle$
$\tilde{K}_4$	3.400 TL	$\langle 0,465; 0,632; 0,600 \rangle$	5.000 TL	$\langle 0,608; 0,711; 0,530 \rangle$
	3.500 TL	$\langle 0,568; 0,592; 0,266 \rangle$	5.100 TL	$\langle 0,435; 0,363; 0,619 \rangle$
	3.600 TL	$\langle 0,690; 0,444; 0,332 \rangle$	5.200 TL	$\langle 0,532; 0,653; 0,504 \rangle$
$\tilde{K}_5$	3.400 TL	$\langle 0,645; 0,601; 0,346 \rangle$	5.050 TL	$\langle 0,737; 0,658; 0,597 \rangle$
	3.500 TL	$\langle 0,634; 0,372; 0,490 \rangle$	5.150 TL	$\langle 0,506; 0,504; 0,362 \rangle$
	3.600 TL	$\langle 0,765; 0,372; 0,315 \rangle$	3.200 TL	$\langle 0,404; 0,504; 0,653 \rangle$
$\tilde{i}$	%12	$\langle 0,396; 0,532; 0,539 \rangle$	%12	$\langle 0,396; 0,532; 0,539 \rangle$
	%13	$\langle 0,745; 0,161; 0,332 \rangle$	%13	$\langle 0,745; 0,161; 0,332 \rangle$
	%14	$\langle 0,469; 0,547; 0,736$		

Parametrelere ait net değerlerin bulunması amacıyla Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak gerekli hesaplamalar yapılır. İlk maliyet parametresine ait net değer aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$COG_{\tilde{M}} = \frac{(8.000 \times 0,344) + (9.000 \times 0,342) + (10.000 \times 0,464)}{(0,344 + 0,342 + 0,464)}$$

$$= 9.104,04 TL$$

Çizelge 4.16. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	8.000 TL	0,344	10.000 TL	0,257
	9.000 TL	0,342	11.000 TL	0,297
	10.000 TL	0,464	12.000 TL	0,375
$\tilde{YB}$	1.000 TL	0,726	1.500 TL	0,324
	1.100 TL	0,460	1.700 TL	0,382
	1.200 TL	0,264	1.900 TL	0,264
$\tilde{BB}$	2.000 TL	0,338	700 TL	0,188
	2.200 TL	0,553	800 TL	0,441
	2.400 TL	0,317	900 TL	0,555
$\tilde{HD}$	1.100 TL	0,306	3.000 TL	0,389
	1.200 TL	0,252	3.100 TL	0,293
	1.300 TL	0,428	3.200 TL	0,610
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	0,603	4.500 TL	0,293
	4.000 TL	0,437	4.600 TL	0,357
	4.500 TL	0,288	4.700 TL	0,288
$\tilde{K}_{j2}$	3.000 TL	0,338	4.000 TL	0,193
	3.500 TL	0,495	4.100 TL	0,393
	4.000 TL	0,317	4.200 TL	0,522
$\tilde{K}_{j3}$	3.100 TL	0,306	3.900 TL	0,363
	3.200 TL	0,268	4.200 TL	0,304
	3.300 TL	0,380	4.500 TL	0,579
$\tilde{K}_{j4}$	3.400 TL	0,305	5.000 TL	0,305
	3.500 TL	0,554	5.100 TL	0,554
	3.600 TL	0,257	5.200 TL	0,257
$\tilde{K}_{j5}$	3.400 TL	0,238	5.050 TL	0,238
	3.500 TL	0,427	5.150 TL	0,427
	3.600 TL	0,275	3.200 TL	0,275
$\tilde{i}$	%12	0,280	%12	0,280
	%13	0,608	%13	0,608
	%14	0,237	%14	0,237

Çizelge 4.17’de alternatiflere ait net değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Alternatiflere ait net değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Net değerler	Net değerler
<i>M</i>	9.104,04 TL	11.126,61 TL
<i>YB</i>	1.068,17TL	1.687,65 TL
<i>BB</i>	2.196,62 TL	830,98 TL
<i>HD</i>	1.212,32 TL	3.117,13 TL
<i>K_{j1}</i>	3.840,83 TL	4.593,82 TL
<i>K_{j2}</i>	3.491,54 TL	4.130,98 TL
<i>K_{j3}</i>	3.212,32 TL	4.251,38 TL
<i>K_{j4}</i>	3.517,95 TL	5.099,58 TL
<i>K_{j5}</i>	4.009,08 TL	5.140,33 TL
<i>i</i>	%12,96	%12,96
<i>n</i>	5 yıl	5 yıl

Son adımda hesaplanan net değerler, Eş. 4.39’da yerine koyularak yığıştirılmış nütrosifik kazanç maliyet analizi hesaplamaları tamamlanır.

Alternatif 1’e ait nütrosifik kazanç maliyet analizi hesaplamaları aşağıda gösterilmiştir.

$$NKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{jn}(P/F, \%12,96; 5)}{M + BB(P/F, \%12,96; 3) + YB(P/A, \%12,96; 5) - HD(P/F, \%12,96; 5)}$$

$$NKMA = \frac{3.400,11 + 2.736,24 + 2.228,56 + 2.160,54 + 2.179,65}{9.104,04 + 63,18 + 1.523,91 - 659,11}$$

$$NKMA = 1,27$$

Alternatif 2’ ye ait nütrosifik şimdiki değer hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

$$NKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{jn}(P/F, \%12,96; 5)}{M + BB(P/F, \%12,96; 3) + YB(P/A, \%12,96; 5) - HD(P/F, \%12,96; 5)}$$

$$NKMA = \frac{4.066,70 + 3.237,35 + 2.949,41 + 3.131,89 + 2.794,68}{11.126,61 + 99,82 + 576,49 - 1.694,71}$$

$$NKMA = 1,60$$

Alternatiflere ait NKMA değerleri incelendiğinde Alternatif 2'nin daha karlı bir yatırım olduğu görülmektedir.

4.2.5. Yığıştirılmış nôtrosofik iç verim oranı analizi

1'inci Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirılmış nôtrosofik iç verim oranı analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$M = (K - YB)(P/A, i, n) + HD(P/F, i, n) \quad (4.41)$$

$$M = (K - YB) \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) + HD(1 + i)^{-n} \quad (4.42)$$

Yukarıda eşitlikleri sağlayan en küçük i değeri yatırıma ait iç verim oranıdır.

Yığıştirılmış nôtrosofik iç verim oranı hesaplaması yapılırken, alternatiflerin nôtrosofik diğer analiz hesaplamalarında kullanılan net değer hesaplamasına olan kısım bu bölümde de kullanılır. Daha sonra hesaplanan net değerler Eş. 4.41'de yerine koyularak yığıştirılmış nôtrosofik iç verim oranı hesaplamaları gerçekleştirilir.

Örnek 5: Çizelge 4.18'de alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değerli nôtrosofik üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Bu yatırımın iç verim oranı önerilen yöntemle göre hesaplanacaktır.

Çizelge 4.18. Alternatife ait olası değerler ve nütrosifik üyelik derecesi değerleri

Parametreler	Alternatif			
	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	12.000 TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	14.000 TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	$\langle 0,3; 0,6; 0,1 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	16.000 TL	$\langle 0,7; 0,8; 0,1 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$
$\tilde{K}$	5.000 TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	5.500 TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	6.000 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{YB}$	500TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	750 TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,2 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$
	800 TL	$\langle 0,2; 0,2; 0,7 \rangle$	$\langle 0,3; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
$\tilde{HD}$	1.100 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	1.200 TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$
	1.300 TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$
$\tilde{n}$	5 yıl	$\langle 0,4; 0,5; 0,8 \rangle$	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
	6 yıl	$\langle 0,7; 0,5; 0,5 \rangle$	$\langle 0,8; 0,4; 0,4 \rangle$	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$
	7 yıl	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	$\langle 0,2; 0,2; 0,6 \rangle$	$\langle 0,4; 0,3; 0,7 \rangle$

Alternatifin yığıştırılmış nütrosifik iç verim oranı hesaplamasında ilk olarak 3 farklı uzmanın olası değerlere atanmış olduğu üyelik dereceleri nütrosifik yığışım operatörü kullanarak tek bir değere yığıştırılır. Alternatifin ilk maliyet parametresine (12.000 TL) ait yığıştırılmış tek değerli nütrosifik değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$SNWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left\langle 1 - \prod_{j=1}^n (1 - T_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - I_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - F_{A_j}(x))^{w_j} \right\rangle$$

$$SVNWA(\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle, \langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle, \langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle) =$$

$$\left\langle 1 - ((1 - 0,5)^{0,4} \times (1 - 0,4)^{0,3} \times (1 - 0,4)^{0,3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0,6)^{0,4} \times (1 - 0,5)^{0,3} \times (1 - 0,5)^{0,3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0,4)^{0,4} \times (1 - 0,5)^{0,3} \times (1 - 0,2)^{0,3}) \right\rangle$$

$$= \langle 0,442; 0,543; 0,381 \rangle$$

Çizelge 4.19. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştirılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif	
	Olası değerler	Yığıştirılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	$\langle 0,442; 0,543; 0,381 \rangle$
	14.000 TL	$\langle 0,405; 0,645; 0,280 \rangle$
	16.000 TL	$\langle 0,690; 0,613; 0,194 \rangle$
$\tilde{K}$	5.000 TL	$\langle 0,848; 0,161; 0,161 \rangle$
	5.500 TL	$\langle 0,517; 0,432; 0,200 \rangle$
	6.000 TL	$\langle 0,332; 0,327; 0,631 \rangle$
$\tilde{YB}$	500TL	$\langle 0,543; 0,643; 0,432 \rangle$
	750 TL	$\langle 0,807; 0,362; 0,300 \rangle$
	800 TL	$\langle 0,472; 0,633; 0,435 \rangle$
$\tilde{HD}$	1.100 TL	$\langle 0,543; 0,765; 0,462 \rangle$
	1.200 TL	$\langle 0,442; 0,745; 0,563 \rangle$
	1.300 TL	$\langle 0,663; 0,545; 0,342 \rangle$
$\tilde{n}$	5 yıl	$\langle 0,432; 0,532; 0,745 \rangle$
	6 yıl	$\langle 0,734; 0,392; 0,392 \rangle$
	7 yıl	$\langle 0,396; 0,363; 0,673 \rangle$

Durulaştırma operatörü kullanarak, nôtrosifik üyelik fonksiyonların bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmesi ilk maliyet parametresi için şu şekilde hesaplanmıştır:

$$D_{\tilde{M}_{12.000}} = \frac{0,442 + (1 - 0,381)}{2(1 + 0,543)}$$

$$D_{\tilde{M}_{12.000}} = 0,344$$

Çizelge 4.20’de parametreler ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif	
	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12,000 TL	0,344
	14,000 TL	0,342
	16,000 TL	0,464
$\tilde{K}$	5,000 TL	0,726
	5,500 TL	0,460
	6,000 TL	0,264
$Y\tilde{B}$	500TL	0,338
	750 TL	0,553
	800 TL	0,317
$H\tilde{D}$	1,100 TL	0,306
	1,200 TL	0,252
	1,300 TL	0,428
$\tilde{n}$	5 yıl	0,280
	6 yıl	0,608
	7 yıl	0,237

Parametrelere ait net değerlerin bulunması amacıyla Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak gerekli hesaplamalar yapılır. İlk maliyet parametresine ait net değer aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$COG_{\tilde{M}} = \frac{(12.000 \times 0,344) + (14.000 \times 0,342) + (16.000 \times 0,464)}{(0,344 + 0,342 + 0,464)}$$

$$= 14.208,08 \text{ TL}$$

Çizelge 4.21’de Alternatif’e ait parametrelerin net değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. Alternatife ait net değerler

Parametreler	Alternatif
	Net değerler
M	14.208,08 TL
K	5.340,83TL
YB	693,23 TL
HD	1.212,32 TL
n	6,02 yıl

Son adımda hesaplanan net değerler, Eş. 4.41’de yerine koyularak nötrosifik iç verim oranı hesaplanır.

$$14.208,08 = (5.340,83 - 693,23)(P/A, i, 6,02) + 1.212,32(P/F, i, 6,02)$$

Bu eşitlikte denklemi sağlayan en küçük i değeri 0,245 olarak hesaplanır.

2'nci Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde tek değerli nütrosifik iç verim oranı analizi için en büyük iç verim oranı, en küçük verim oranı ve en olası iç verim oranı eşitlikleri geliştirilmiştir. Bu eşitlikler aşağıda gösterilmiştir.

$$M_{enk} = (K_{enb} - YB_{enk})(P/A, i_{enb}, n_{enb}) + HD_{enb}(P/F, i_{enb}, n_{enb}) \quad (4.43)$$

$$M_{enk} = (K_{enb} - YB_{enk}) \left(\frac{(1+i_{enb})^{n_{enb}-1}}{i_{enb}(1+i_{enb})^{n_{enb}}} \right) + HD_{enb}(1 + i_{enb})^{-n_{enb}} \quad (4.44)$$

$$M_{enb} = (K_{enk} - YB_{enk})(P/A, i_{enk}, n_{enk}) + HD_{enk}(P/F, i_{enk}, n_{enk}) \quad (4.45)$$

$$M_{enb} = (K_{enk} - YB_{enb}) \left(\frac{(1+i_{enk})^{n_{enb}-1}}{i_{enk}(1+i_{enk})^{n_{enk}}} \right) + HD_{enb}(1 + i_{enk})^{-n_{enk}} \quad (4.46)$$

$$M_{ort} = (K_{ort} - YB_{ort})(P/A, i_{ort}, n_{ort}) + HD_{ort}(P/F, i_{ort}, n_{ort}) \quad (4.47)$$

$$M_{ort} = (K_{ort} - YB_{ort}) \left(\frac{(1+i_{ort})^{n_{ort}-1}}{i_{ort}(1+i_{ort})^{n_{ort}}} \right) + HD_{ort}(1 + i_{ort})^{-n_{ort}} \quad (4.48)$$

Örnek 6: Örnek 5'te verilen Çizelge 4.18'de alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değerli nütrosifik üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Bu yatırımın iç verim oranı önerilen modele göre hesaplanacaktır.

Bu problemin çözümde en büyük iç verim oranı analizi hesabı yapılacak, en küçük ve en olası iç verim oranı hesaplamaların sadece sonucu verilecektir. Çizelge 4.18'e göre en büyük iç verim oranı hesaplamasında kullanılacak olan değerler şu şekildedir:

$$M_{enk} = 12.000 \text{ TL}$$

$$YB_{enk} = 500 \text{ TL}$$

$$K_{enb} = 6.000 \text{ TL}$$

$$HD_{enb} = 1.300 \text{ TL}$$

$$n_{enb} = 7 \text{ yıl}$$

Yukarıdaki elde edilen veriler Eş. 38 ve Eş. 39'da yerine koyularak hesaplamalar gerçekleştirilir.

$$12.000 = (6.000 - 500)(P/A, i_{enb}, 7) + 1.300(P/F, i_{enb}, 7)$$

$$12.000 = (6.000 - 500) \left(\frac{(1+i_{enb})^7 - 1}{i_{enb}(1+i_{enb})^7} \right) + 500(1 + i_{enb})^{-7}$$

$$i_{enb} = \%42,5$$

En küçük ve en olası iç verim oranı hesaplamaları şu şekildedir:

$$i_{enk} = \%28,5$$

$$i_{ort} = \%34,5$$

Önerilen bu yöntemde uzmanların nütrosifik değerlendirmeleri hesaba katılmadan uzmana hızlı bir şekilde çözüm olanağı sağlanmıştır.

4.3. Nötrosofik Eşdeğer Yatırım Analiz Teknikleri

Çalışmanın bu bölümünde tek değerli nötrosofik kümeler ile yatırım analizi teknikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin çıkış noktası sabit bir sayı ile nötrosofik bir sayının çarpımının (Eş. 3.43), yatırım analizi teknikleri geliştirilmesinde yeterli olmamasından yola çıkılarak üretilmiştir. Literatürdeki çarpım operatöründe sabit olan sayı $[0,1]$ aralığında “ağırlık değeri” olarak ele alınmıştır. Ancak yatırım analizi tekniklerinde bu sabit sayı parasal bir değer olması nedeniyle, mevcut operatörün kullanılması, sonucu sürekli olarak 1’e yaklaşmaktadır. Bu nedenle, bu operatörün yatırım analizi hesabında kullanılmak üzere tekrar geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Geliştirilen yeni operatör Eş. 4.50’de gösterilmiştir.

$$\lambda. \tilde{A} = \langle 1 - (1 - T_1)^\lambda, 1 - (1 - I_1)^\lambda, 1 - (1 - F_1)^\lambda \rangle, \lambda \in [0,1] \quad (4.49)$$

$$\lambda \tilde{A} = \left(\frac{\lambda(T_1)}{2(I_1+1)}, \frac{\lambda}{2(I_1+1)}, \frac{-\lambda(F_1)}{2(I_1+1)} \right) \lambda \in [1, \infty] \quad (4.50)$$

4.3.1. Nötrosofik eşdeğer şimdiki değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde nötrosofik eşdeğer şimdiki değer eşitlikleri geliştirilmiştir. Önerilen eşitlikler şu şekildedir;

$$N\$D = M_{TBD} + YB_{TBD}(P/A, i_{TBD}, n_{TBD}) + BB_{TBD}(P/F, i_{TBD}, t) - HD_{TBD}(P/F, i_{TBD}, n_{TBD}) \quad (4.51)$$

$$N\$D = M_{TBD} + YB_{TBD} \left(\frac{(1+i_{TBD})^{n_{TBD}} - 1}{i_{TBD}(1+i_{TBD})^{n_{TBD}}} \right) + BB_{TBD}(1 + i_{TBD})^{-t} - HD_{TBD}(1 + i_{TBD})^{-n_{TBD}} \quad (4.52)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri tek değerli nötrosofik kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: İlk maliyet ($\tilde{M}$), yıllık bakım ($\tilde{YB}$), büyük bakım ($\tilde{BB}$), hurda değeri ($\tilde{HD}$), faiz oranı ($\tilde{i}$), ekonomik ömür ($\tilde{n}$), büyük bakım zamanı (t). Büyük

bakım, projenin ekonomik ömrü boyunca sadece bir kez gerçekleştirildiğinden büyük bakım zamanı (t) pozitif tam sayı ile temsil edilmiştir.

Önerilen NŞD eşitliğinde m adet uzman yatırım parametreleri üzerinde tahminde bulunabilecektir. Geliştirilen bu yöntemde, parametrelerin matris formatındaki ilk yöntem ile aynı gösterime sahip olacaktır. Matris gösteriminden sonraki adım olan m adet uzman değerlendirmesi tek değerli nütrosifik ağırlıklı aritmetik ortalama yığılma operatörü ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülür. İlk bölümünde kullanılan Eş. 4.17 ve Eş. 4.22 arasındaki eşitlikler bu yöntemde de kullanılır.

Bu adımdan sonra ilk yöntemde olduğu gibi durulaştırma operatörü kullanılmayacaktır. Bu adımda bizim tarafımızdan nütrosifik eşdeğer maliyet, nütrosifik eşdeğer yıllık ödeme, nütrosifik eşdeğer büyük bakım, nütrosifik eşdeğer hurda değeri, nütrosifik eşdeğer faiz oranı, nütrosifik eşdeğer ekonomik ömür eşitlikleri geliştirilmiştir. Bu eşitlikler şu şekildedir:

$$\tilde{M} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\left(M_j, (T_1, I_1, F_1), \dots, (T_m, I_m, F_m) \right) \right) = (T_{Mj}', I_{Mj}', F_{Mj}'), j = 1, \dots, k \quad (4.53)$$

$$(T_{Mj}', I_{Mj}', F_{Mj}') = \left(\frac{M_j(T_j)}{2(I_j+1)}, \frac{M_j}{2(I_j+1)}, \frac{-M_j(F_j)}{2(I_j+1)} \right) \quad (4.54)$$

$$\tilde{BB} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\left(BB_j, (T_1, I_1, F_1), \dots, (T_m, I_m, F_m) \right) \right) = (T_{BBj}', I_{BBj}', F_{BBj}'), j = 1, \dots, k \quad (4.55)$$

$$(T_{BBj}', I_{BBj}', F_{BBj}') = \left(\frac{BB_j(T_j)}{2(I_j+1)}, \frac{BB_j}{2(I_j+1)}, \frac{-BB_j(F_j)}{2(I_j+1)} \right) \quad (4.56)$$

$$\tilde{YB} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\left(YB_j, (T_1, I_1, F_1), \dots, (T_m, I_m, F_m) \right) \right) = (T_{YBj}', I_{YBj}', F_{YBj}'), j = 1, \dots, k \quad (4.57)$$

$$(T_{YBj}', I_{YBj}', F_{YBj}') = \left(\frac{YB_j(T_j)}{2(I_j+1)}, \frac{YB_j}{2(I_j+1)}, \frac{-YB_j(F_j)}{2(I_j+1)} \right) \quad (4.58)$$

$$\widetilde{\widetilde{HD}} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\left\langle \begin{matrix} HD_j, (T_1, I_1, F_1), \\ \dots, (T_m, I_m, F_m) \end{matrix} \right\rangle \right) = (T_{HMj}', I_{YHj}', F_{HMj}'), j = 1, \dots, k \quad (4.59)$$

$$(T_{HMj}', I_{HMj}', F_{HMj}') = \left(\frac{HD_j(T_j)}{2(I_j+1)}, \frac{HD_j}{2(I_j+1)}, \frac{-HD_j(F_j)}{2(I_j+1)} \right) \quad (4.60)$$

$$\widetilde{\widetilde{i}} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\left\langle \begin{matrix} i_j, (T_1, I_1, F_1), \\ \dots, (T_m, I_m, F_m) \end{matrix} \right\rangle \right) = (T_{ij}', I_{ij}', F_{ij}'), j = 1, \dots, k \quad (4.61)$$

$$(T_{ij}', I_{ij}', F_{ij}') = \left(\frac{i_j(T_j)}{2(I_j+1)}, \frac{i_j}{2(I_j+1)}, \frac{-i_j(F_j)}{2(I_j+1)} \right) \quad (4.62)$$

$$\widetilde{\widetilde{n}} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\left\langle \begin{matrix} n_j, (T_1, I_1, F_1), \\ \dots, (T_m, I_m, F_m) \end{matrix} \right\rangle \right) = (T_{nj}', I_{nj}', F_{nj}'), j = 1, \dots, k \quad (4.63)$$

$$(T_{nj}', I_{nj}', F_{nj}') = \left(\frac{n_j(T_j)}{2(I_j+1)}, \frac{n_j}{2(I_j+1)}, \frac{-n_j(F_j)}{2(I_j+1)} \right) \quad (4.64)$$

Sonraki adımda parametrelerin toplam beklenen değerleri (TBD) bizim tarafımızdan geliştirilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$M_{TBD} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_{Mj}' + I_{Mj}' + F_{Mj}'}{H_M} \right) \quad (4.65)$$

$$\text{Burada } H_M = \sum_{j=1}^k \left(\frac{1 + T_{Mj} - F_{Mj}}{2(I_{Mj} + 1)} \right) \quad (4.66)$$

$$YB_{TBD} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_{YBj}' + I_{YBj}' + F_{YBj}'}{H_{YB}} \right) \quad (4.67)$$

$$\text{Burada } H_{YB} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{1 + T_{YBj} - F_{YBj}}{2(I_{YBj} + 1)} \right) \quad (4.68)$$

$$BB_{TBD} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_{BBj}' + I_{BBj}' + F_{BBj}'}{H_{BB}} \right) \quad (4.69)$$

$$\text{Burada } H_{BB} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{1 + T_{BBj} - F_{BBj}}{2(I_{BBj} + 1)} \right) \quad (4.70)$$

$$HD_{TBD} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_{HDj}' + I_{HDj}' + F_{HDj}'}{H_{HD}} \right) \quad (4.71)$$

$$\text{Burada } H_{HD} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{1 + T_{HDj} - F_{HDj}}{2(I_{HDj} + 1)} \right) \quad (4.72)$$

$$i_{TBD} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_{ij}' + I_{ij}' + F_{ij}'}{H_i} \right) \quad (4.73)$$

$$\text{Burada } H_i = \sum_{j=1}^k \left(\frac{1 + T_{ij} - F_{ij}}{2(I_{ij} + 1)} \right) \quad (4.74)$$

$$n_{TBD} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_{nj}' + I_{nj}' + F_{nj}'}{H_n} \right) \quad (4.75)$$

$$\text{Burada } H_n = \sum_{j=1}^k \left(\frac{1 + T_{nj} - F_{nj}}{2(I_{nj} + 1)} \right) \quad (4.76)$$

Son adımda hesaplanan TBD'ler Eş. 4.51 veya Eş. 4.52'de yerine koyularak nütrosifik eşdeğer şimdiki değer hesabı gerçekleştirilir.

Örnek 7: Örnek 1'de sunulan alternatiflere ait veriler, önerilen bu yöntem ile çözülecektir.

Bu problemin çözümü ilk yöntemde belirlenen adımların durulaştırma işlemi gerçekleştirilen adıma kadar aynı adımları içermektedir. Çizelge 4.4'te Alternatif 1 ve Alternatif 2'ye ait yığıştirılmış üyelik dereceleri bu adıma kadar olan işlemleri göstermektedir. Sonraki adımda parametreler ait nütrosifik eşdeğer maliyet, nütrosifik eşdeğer yıllık ödeme, nütrosifik eşdeğer büyük bakım, nütrosifik eşdeğer hurda değeri,

nötrosifik eşdeğer faiz oranı, nötrosifik eşdeğer ekonomik ömür Eş. 4.53-4.61 aracılığıyla hesaplanır. Aşağıda Alternatif 1'e ait ilk maliyet parametresinin nötrosifik eşdeğer maliyet hesaplaması gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} (T_M', I_M', F_M')_{12,000} &= \left(\frac{M_1(T_1)}{2(I_1 + 1)}, \frac{M_1}{2(I_1 + 1)}, \frac{-M_1(F_1)}{2(I_1 + 1)} \right) \\ &= \left(\frac{12.000(0,442)}{2(0,543 + 1)}, \frac{12.000}{2(0,543 + 1)}, \frac{-12.000(0,381)}{2(0,543 + 1)} \right) \\ &= (1.719,85; 3.889,30; -1.480,78) \end{aligned}$$

Tüm parametrelere ait nötrosifik eşdeğer değerlerin hesaplanmasından sonra, parametrelerin TBD'leri Eş. 4.65 ve Eş. 4.76 arasında önerilen eşitlikler ile hesaplanır. Alternatif 1'e ait ilk maliyet TBD hesaplaması aşağıda gösterilmiş olup, Alternatif 1 ve Alternatif 2'ye ait tüm parametrelerin TBD hesaplamaları Çizelge 4.22'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} M_{TBD} &= \frac{1.719,85 + 3.889,30 + (-1.480,78) + 1.723,86 + 4.255,93 + (-1.192,60) + 3.423,24 + 4.950,58 + (-963,64)}{\left(\frac{1+0,442-0,381}{2(0,543+1)} + \frac{1+0,405-0,280}{2(0,645+1)} + \frac{1+0,690-0,194}{2(0,613+1)} \right)} \\ &= 14.208,08 TL \end{aligned}$$

Çizelge 4.22. Alternatiflere ait toplam beklenen değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Net değerler	Net değerler
M_{TBD}	14.208,08 TL	17.253,21 TL
YB_{TBD}	1.068,17TL	1.687,65 TL
BB_{TBD}	2.196,62 TL	830,98 TL
HD_{TBD}	1.212,32 TL	3.117,13 TL
i_{TBD}	%12,96	%12,96
n_{TBD}	6,02 yıl	6,02 yıl

Alternatiflere ait TBD'lerin hesaplanması sonucunda bu değerler Eş. 4.49'da yerine koyularak şimdiki değerler hesaplanır.

Alternatife 1' e ait n trosodik Şimdiki değer hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

$$N\mathcal{S}D = 14.208,08 + 1.068,17(P/A, \%12,96; 6,02) + 2.196,45(P/F, \%12,96; 3) \\ - 1.212,32(P/F, \%12,96; 6,02)$$

$$N\mathcal{S}D = 19.436,26 \text{ TL}$$

Alternatife 2'ye ait n trosodik Şimdiki değer hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

$$N\mathcal{S}D = 17.253,21 + 1.687,65(P/A, \%12,96; 6,02) + 830,98(P/F, \%12,96,3) \\ - 3.117,13(P/F, \%12,96; 6,02)$$

$$N\mathcal{S}D = 23.105,57 \text{ TL}$$

Alternatifler hesaplanan n trosodik Şimdiki değer sonuçlarına göre karşılaştırıldığında, Alternatif 1'e ait n trosodik Şimdiki değer daha k    k olması nedeniyle yatırım alternatifi olarak seçilecektir.

4.3.2. N trosodik eşdeğer gelecek değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde n trosodik eşdeğer gelecek değer analizi eşitlikleri geliştirilmiştir.

$$NGD = M_{TBD}(F/P, i_{TBD}, n_{TBD}) + YB_{TBD}(F/A, i_{TBD}, n_{TBD}) + BB_{TBD}(P/F, i_{TBD}, t)(F/P, i_{TBD}, n_{TBD}) - HD_{TBD} \quad (4.77)$$

$$NGD = M_{TBD}(1 + i_{TBD})^{n_{TBD}} + YB_{TBD} \left(\frac{(1+i_{TBD})^{n_{TBD}} - 1}{i_{TBD}} \right) + BB_{TBD}(1 + i_{TBD})^{-t}(1 + i_{TBD})^{n_{TBD}} - HD_{TBD} \quad (4.78)$$

Nötrosifik eşdeğer gelecek değer hesaplaması yapılırken, alternatiflerin nötrosifik eşdeğer şimdiki değer hesaplamalarında kullanılan, parametrelerin TBD'lerin hesaplamasına olan kısım bu bölümde de kullanılır. Daha sonra hesaplanan parametrelerin TBD'leri Eş. 4.77 ve Eş 4.78'de yerine koyularak nötrosifik eşdeğer gelecek değer hesaplamaları gerçekleştirilir.

Örnek 8: Örnek 1'de sunulan alternatiflere ait veriler önerilen bu yöntem ile çözülecektir.

Alternatiflere ait hesaplanan TBD nötrosifik eşdeğer şimdiki değer analizi yönteminde hesaplanan değerlerdir ve Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Alternatif 1'e ait nötrosifik eşdeğer gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$NGD = 14.208,08(F/P, \%12,96; 6,02) + 1.068,17(F/A, \%12,96; 6,02) \\ + 2.196,62(P/F, \%12,96; 3)(F/P, \%12,96; 6,02) - 1.212,32$$

$$NGD = 40.500,72 \text{ TL}$$

Alternatif 2'ye ait nötrosifik eşdeğer gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$NGD = 17.253,21(F/P, \%12,96; 6,02) + 1.687,65(F/A, \%12,96; 6,02) \\ + 830,98(P/F, \%12,96; 3)(F/P, \%12,96; 6,02) - 3.117,13$$

$$NGD = 48.146,72 \text{ TL}$$

Alternatifler hesaplanan nötrosifik eşdeğer gelecek değer hesaplama sonuçlarına göre karşılaştırıldığında, Alternatif 1'e ait nötrosifik eşdeğer gelecek değer daha küçük olması nedeniyle yatırım alternatifi olarak seçilecektir.

4.3.3. Nötrosofik eşdeğer geri ödeme süresi analizi

Çalışmanın bu bölümünde nötrosofik eşdeğer geri ödeme süresi analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$\sum_{n=1}^{N_j} K_{TBDjn}(P/F, i_{TBD}, n) \geq M_{TBDj} \quad (4.79)$$

$$\sum_{n=1}^{N_j} K_{TBDjn}(1 + i_{TBD})^{-n} \geq M_{TBDj} \quad (4.80)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri tek değerli nötrosofik kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: Yatırıma ait ilk maliyet ($\tilde{M}$), $\tilde{K}_{jn}$ t dönemde elde edilen net kazancı ifade etmektedir. Paranın zaman değeri göz önüne alındığında Eş. 4.79'u sağlayan en küçük N_j değeri, j yatırımı için geri dönüş süresini vermektedir. Bu eşitlikte n süresi net değer olarak bilinmek durumundadır.

Önerilen bu eşitlikte parametrelerin matris formatında gösterimi ve birden çok uzmanın değerlendirmelerinin tek değerli nötrosofik ağırlıklı aritmetik ortalama yığılma operatörü ile tek bir değerlendirmeye dönüştürme hesaplamaları ilk bölümde açıklanan operatörler (Eş. 4.38) ile sağlanır.

Sonraki adımda parametrelere ait nötrosofik eşdeğer ilk maliyet ve nötrosofik eşdeğer yıllık kazanç ve nötrosofik eşdeğer faiz oranı değerleri bulunur. Nötrosofik eşdeğer ilk maliyet Eş. 4.53 ve nötrosofik eşdeğer faiz oranı Eş. 4.61 ile hesaplanır, nötrosofik eşdeğer yıllık kazanç ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\tilde{K}_j = \cup_{j=1}^k F_w \left(\left(K_j, (T_1, I_1, F_1), \dots, (T_m, I_m, F_m) \right) \right) = (T_{Kj}', I_{Kj}', F_{Kj}'), j = 1, \dots, k \quad (4.81)$$

$$(T_{Kj}', I_{Kj}', F_{Kj}') = \left(\frac{K_j(T_j)}{2(I_j+1)}, \frac{K_j}{2(I_j+1)}, \frac{-K_j(F_j)}{2(I_j+1)} \right) \quad (4.82)$$

Sonraki adımda parametrelerin TBD hesaplanır. İlk maliyet parametresine ait TBD, Eş. 4.65 ve faiz oranı parametresine ait TBD, Eş. 4.73 ile hesaplanır. Yıllık kazanç parametresine ait TBD ise şu şekilde hesaplanır:

$$K_{TBD} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_{Kj}' + I_{Kj}' + F_{Kj}'}{H_K} \right) \quad j = 1, \dots, 2 \quad (4.83)$$

$$\text{Burada } H_K = \sum_{j=1}^k \left(\frac{1 + T_{Kj} - F_{Kj}}{2(I_{Kj} + 1)} \right) \quad j = 1, \dots, 2 \quad (4.84)$$

Parametrelere ait hesaplanan TBD Eş. 4.79'da yerine koyulur ve Eşitlik 4.79'u sağlayan en küçük N_j değeri, j yatırımı için geri dönüş süresini vermektedir.

Örnek 9: Örnek 3'teki verileri kullanarak nütrosifik eşdeğer geri ödeme süresi analizi ile yatırım alternatiflerini değerlendiriniz.

Bu problemde uzmanların parametrelere ait değerlendirmelerinin yığılma operatörü ile yığılması Örnek 3'te hesaplanan sonuçlardır. Bu adımdan sonraki hesaplamalar Alternatif 1 için gerçekleştirilecek olup, Alternatif 2 için sadece sonuçlar verilecektir.

Aşağıda Alternatif 1'e ait ilk dönem yıllık kazanç parametresinin nütrosifik eşdeğer yıllık kazanç hesaplaması aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} (T_K', I_K', F_K')_{12,000} &= \left(\frac{K_1(T_1)}{2(I_1+1)}, \frac{K_1}{2(I_1+1)}, \frac{-K_1(F_1)}{2(I_1+1)} \right) \\ &= \left(\frac{3.500(0,848)}{2(0,161+1)}, \frac{3.500}{2(0,161+1)}, \frac{-3.500(0,161)}{2(0,161+1)} \right) \\ &= (1.278,41; 1.506,79; -243,21) \end{aligned}$$

Sonraki adımda parametrelere ait TBD'leri hesaplanır. Aşağıda Alternatif 1'e ait ilk dönem yıllık kazanç parametresine ait hesaplanan TBD, Eş. 4.83 ile hesaplanmıştır:

$$K_{TBD} = \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_{Kj}' + I_{Kj}' + F_{Kj}'}{H_j} \right)$$

$$K_{TBD} = \frac{1.278,41 + 1.506,79 + (-243,21) + 722,08 + 1.396,71 + (-279,34) + 563,83 + 1.695,78 + (-1.069,45)}{\frac{1+0,848-0,161}{2(1+0,161)} + \frac{1+0,517-0,200}{2(1+0,432)} + \frac{1+0,332-0,631}{2(1+0,327)}}$$

$$= 3.840,826 \text{ TL}$$

Alternatif 1 ve Alternatif 2'ye ait tüm parametrelerin TBD hesaplamaları Çizelge 4.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. Parametrelere ait toplam beklenen değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Toplam beklenen değer	Toplam beklenen değer
M_{TBD}	14.208,082 TL	17.253,21 TL
$K_{TBD j1}$	3.840,826 TL	5.938,24 TL
$K_{TBD j2}$	5.983,086 TL	6.309,79 TL
$K_{TBD j3}$	6.123,228 TL	5.171,28 TL
$K_{TBD j4}$	6.4473,93 TL	4.995,77 TL
$K_{TBD j5}$	8.090,85 TL	8.951,67 TL
i_{TBD}	%12,96	%12,96

Hesaplanan TBD'ler Eş. 25'te yerine koyularak geri ödeme süresi hesaplanır.

Alternatif 1 için Eş. 4.79 şu şekildedir:

$$\sum_{t=1}^{T_j} \tilde{\tilde{K}}_{jt}(P/F, 12,96, t) \geq 14.208,08$$

Yukarıdaki eşitsizliğe göre paranın zaman değeri göz önüne alınarak hesaplanan geri ödeme süresi tablosu aşağıdaki Çizelge 4.24'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.24. Alternatiflere ait geri ödeme süresi hesaplamaları

Yıllar (Alternatif 1)	Net kazançların TBD değeri	Net kazançların TBD şimdiki değeri	Net kazançların kümülatif toplamı
0	- 14.208,08 TL	- 14.208,08 TL	- 14.208,08 TL
1	+ 3.840,83 TL	+ 3.400,11 TL	- 10.807,97 TL
2	+ 5.983,09 TL	+ 4.688,80 TL	- 6.119,17 TL
3	+ 6.123,23 TL	+ 4.248,00 TL	- 1.871,17 TL
4	+ 6.473,93 TL	+ 3.975,94 TL	+ 2.104,77 TL
5	+ 8.090,85 TL	+ 4.398,81 TL	+ 6.503,58 TL
Yıllar (Alternatif 2)	Net kazançların TBD değeri	Net kazançların TBD şimdiki değeri	Net kazançların kümülatif toplamı
0	- 17.253,21 TL	- 17.253,21 TL	- 17.253,21 TL
1	+ 5.938,24 TL	+ 5.256,86 TL	- 11.996,36 TL
2	+ 6.309,79 TL	+ 4.944,83 TL	- 7.051,53 TL
3	+ 5.171,28 TL	+ 3.587,59 TL	- 3.463,94 TL
4	+ 4.995,77 TL	+ 3.068,14 TL	- 395,80 TL
5	+ 8.951,67 TL	+ 4.866,82 TL	+ 4.471,02 TL

Çizelge 4.24 incelendiğinde Alternatif 1'e ait net kazançların kümülatif toplamı, kullanım ömrü olan 5 yıl içerisinde 4'üncü yılda pozitif değere geçmiştir. Alternatif 2'ye ait net kazançların kümülatif toplamı, kullanım ömrü olan 5 yıl içerisinde 5'inci yıl pozitif değere geçememiştir. Bu nedenle Alternatif 1'e ait yatırım daha kârlı bir yatırım olarak ön plana çıkmaktadır.

4.3.4. Nötrosifik eşdeğer kazanç maliyet analizi

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirılmış nötrosifik eşdeğer kazanç maliyet analizi geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitliklerde aşağıda gösterilmiştir.

$$NKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{TBD} j_n (P/F, i_{TBD}, n)}{M_{TBD} + BB_{TBD} (P/F, i_{TBD}, t) + YB_{TBD} (P/A, i_{TBD}, n) - HD_{TBD} (P/F, i_{TBD}, n)}, n = 1, \dots, k \quad (4.85)$$

$$NKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{TBD} j_n (1+i_{TBD})^{-n}}{M_{TBD} + BB_{TBD} (1+i_{TBD})^{-t} + YB_{TBD} \left(\frac{(1+i_{TBD})^n - 1}{i_{TBD}} \right) - HD_{TBD} (1+i_{TBD})^{-n}}, n = 1, \dots, k \quad (4.86)$$

Bu yöntemde uzmanların parametrelere ait nötrosifik üyelik dereceleri değerlendirmeleri daha önceki yöntemlerde anlatıldığı gibi nötrosifik aritmetik yığışım operatörü kullanarak hesaplanacaktır. Sonraki adımda parametrelere ait nötrosifik eşdeğer maliyet, nötrosifik eşdeğer yıllık ödeme, nötrosifik eşdeğer büyük bakım, nötrosifik eşdeğer kazanç, nötrosifik eşdeğer hurda değeri, nötrosifik eşdeğer faiz oranı değerleri hesaplanır.

Önerilen bu eşitlikte TBD'lerin elde edilmesi, daha önceki yığıştırılmış nütrosifik eşdeğer analizi yöntemlerinde açıklanan adımlar bu eşitli içinde geçerlidir. Parametrelere ait TB'lerin elde edilmesine müteakip Eşitlik 4.85'te yerine koyularak NKMA hesaplanır. Hesaplanan NKMA değerinin 1'den büyük olması durumunda proje kârlı bir projedir, bu değer 1'den küçük olması durumunda proje kâr getirmeyen projedir. Birden fazla alternatifin kıyaslanmasında ise, alternatiflerin NKMA değerlerinin her ikisinin de 1'den büyük olması durumunda NKMA değeri daha büyük olan alternatif yatırım alternatifi olarak seçilir.

Örnek 10: Örnek 4'te verilen iki ayrı alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değerli nütrosifik üyelik fonksiyonu dereceleri bu örnekte de kullanılacaktır. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Alternatiflerin ekonomik ömrü bu problemde net değer olarak ele alınmış olup bu değer 5 yıldır. Nütrosifik eşdeğer kazanç maliyet analizi metodu yöntemine göre alternatifler değerlendirilecektir.

Alternatiflerin değerlendirilmesinde ilk olarak 3 farklı uzman olası değerlere atanmış olduğu üyelik dereceleri nütrosifik yığışım operatörü kullanarak tek bir değere yığıştırılır. Alternatif 1'in ilk maliyet parametresine (8.000 TL) ait yığıştırılmış tek değerli nütrosifik değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$SNWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left\langle 1 - \prod_{j=1}^n (1 - T_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - I_{A_j}(x))^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - F_{A_j}(x))^{w_j} \right\rangle$$

$$SVNWA(\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle, \langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle, \langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle) =$$

$$\left\langle 1 - ((1 - 0,5)^{0,4} \times (1 - 0,4)^{0,3} \times (1 - 0,4)^{0,3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0,6)^{0,4} \times (1 - 0,5)^{0,3} \times (1 - 0,5)^{0,3}), \right. \\ \left. 1 - ((1 - 0,4)^{0,4} \times (1 - 0,5)^{0,3} \times (1 - 0,2)^{0,3}) \right\rangle$$

$$= \langle 0,442; 0,543; 0,381 \rangle$$

Sonraki adımda parametrelere ait n trosodik eşdeğer maliyet, n trosodik eşdeğer yıllık ödeme, n trosodik eşdeğer büyük bakım, n trosodik eşdeğer kazanç, n trosodik eşdeğer hurda değeri, n trosodik eşdeğer faiz oranı değerleri hesaplanır. Bu adımdan sonraki hesaplamalar Alternatif 1 için gerçekleştirilecek olup, Alternatif 2 için sadece sonuçlar verilecektir.

Aşağıda Alternatif 1'e ait maliyet parametresinin n trosodik eşdeğer maliyet hesaplaması gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} (T_M', I_M', F_M')_{8,000} &= \left(\frac{M_1(T_1)}{2(I_1 + 1)}, \frac{M_1}{2(I_1 + 1)}, \frac{-M_1(F_1)}{2(I_1 + 1)} \right) \\ &= \left(\frac{8.000(0,442)}{2(0,543 + 1)}, \frac{8.000}{2(0,543 + 1)}, \frac{-8.000(0,381)}{2(0,543 + 1)} \right) \\ &= (1.146,56; 2.592,87; -987,19) \end{aligned}$$

Tüm parametrelere ait n trosodik eşdeğer değerlerin hesaplanmasından sonra, parametrelerin TBD'leri Eş. 4.65-Eş. 4.76 ile hesaplanır. Alternatif 1'e ait ilk maliyet TBD hesaplaması aşağıda gösterilmiş olup, Alternatif 1 ve Alternatif 2'ye ait tüm parametrelerin TBD hesaplamaları  izelge 25'te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} M_{TBD} &= \frac{1.146,56 + 2.8592,87 + (-987,19) + 1.108,20 + 2.735,95 + (-766,67) + 2.139,52 + 3.099,12 + (-602,27)}{\left(\frac{1+0,442-0,381}{2(0,543+1)} + \frac{1+0,405-0,280}{2(0,645+1)} + \frac{1+0,690-0,194}{2(0,613+1)} \right)} \\ &= 9.104,04 \text{ TL} \end{aligned}$$

Çizelge 4.25. Alternatiflere ait toplam beklenen değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Toplam beklenen değer	Toplam beklenen değer
M_{TBD}	9.104,04 TL	11.126,61 TL
YB_{TBD}	1.068,17 TL	1.687,65 TL
BB_{TBD}	2.196,62 TL	830,98 TL
HD_{TBD}	1.212,32 TL	3.117,13 TL
K_{TBDj1}	3.840,83 TL	4.593,82 TL
K_{TBDj2}	3.491,54 TL	4.130,98 TL
K_{TBDj3}	3.212,32 TL	4.251,38 TL
K_{TBDj4}	3.517,95 TL	5.099,58 TL
K_{TBDj5}	4.009,08 TL	5.140,33 TL
i_{TBD}	%12,96	%12,96
n_{TBD}	5 yıl	5 yıl

Son adımda hesaplanan net değerler, Eş. 4.85’te yerine koyularak nütrosifik eşdeğer kazanç maliyet analizi hesaplamaları tamamlanır.

Alternatif 1’ e ait nütrosifik kazanç maliyet analizi hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

$NKMA$

$$= \frac{\sum_{n=1}^n K_{TBDjt}(P/F, \%12,96; 5)}{M_{TBD} + BB_{TBD}(P/F, \%12,96; 3) + YB_{TBD}(P/A, \%12,96; 5) - HD_{TBD}(P/F, \%12,96; 5)}$$

$$NKMA = \frac{3.400,11 + 2.736,24 + 2.228,56 + 2.160,54 + 2.179,65}{9.104,04 + 63,18 + 1.523,91 - 659,11}$$

$$NKMA = 1,27$$

Alternatif 2’ ye ait nütrosifik şimdiki değer hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

$NKMA$

$$= \frac{\sum_{n=1}^n K_{TBDjt}(P/F, \%12,96; 5)}{M_{TBD} + BB_{TBD}(P/F, \%12,96; 3) + YB_{TBD}(P/A, \%12,96; 5) - HD_{TBD}(P/F, \%12,96; 5)}$$

$$NKMA = \frac{4.066,70 + 3.237,35 + 2.949,41 + 3.131,89 + 2.794,68}{11.126,61 + 99,82 + 576,49 - 1.694,71}$$

$$NKMA = 1,60$$

Alternatiflere ait NKMA değerleri incelendiğinde Alternatif 2'nin daha kârlı bir yatırım olduğu görülmektedir.

4.4. Aralık Değerli Nötrosifik Eşdeğer Yatırım Analiz Teknikleri

Çalışmanın bu kısmında parametrelere ait olası değerlerde ve nötrosifik üyelik derecelerinde uzmana daha çok esneklik tanıyan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin getirdiği iki farklı yenilik şu şekildedir; parametrelere ait olası değerlerde uzmanlar aralıklı değer kullanarak daha esnek bir olası değer tahmini yapabileceklerdir. Diğer getirilen yenilik ise uzmanların her biri ayrı ayrı olası değer tahmini ve nötrosifik üyelik derecesi tahmini yapmasıdır. Daha önce önerilen iki yöntemde de parametrelere ait olası değerler, bizim tarafımızdan uzmanlara önerilmekte ve uzmanlar bu olası değerlere üyelik derecesi ataması talep edilmiştir. Önerilen bu yöntem kapsamında ise uzmanlar hem parametrelere ait olası değerleri hem de nötrosifik üyelik derecelerini kendileri belirleyerek büyük bir esneklik sağlanmıştır.

Ayrıca bu çalışma kapsamında elde edilen tüm yatırım analizi eşitlikleri için hem en küçük hem de en büyük değerleri sonuçlar elde edilmiştir. Bu kapsamda alternatiflere ait sonuçlar değerlendirilirken, her iki sonuç içinde ayrı ayrı karar verme süreci uygulanabilmektedir. Bu çalışmada aralık değer matematiği kullanılacağı için öncelikle aralık değer matematiği ile ilgili genel bir bilgi verilecektir.

4.4.1. Aralık değerli sayılar ile aritmetik işlemler

X bir küme olarak tanımlansın ve IX X 'in alt kümesi olarak belirlensin. IX , X 'i oluşturan alt kümelerdir ve IX kapalı aralık değerlerden oluşuyor ise, X 'in her bir elemanı IX 'de elemanı olabilir. Aralık değer analizinde, alt kümeler aralık olarak tanımlanır ve $\mathbb{R}$ ile eşleştirilir ve eksene göre sıralanmış $\mathbb{R}^n$ kümeleri tanımlanır (Jaulin ve diğerleri, 2001; 98-118).

$a, b \in \mathbb{R}$ olsun ve $a \leq_{\mathbb{R}} b$ olarak kabul edilsin. A klasik aralık sayı $[a, b]$ olarak kapalı aralığında boş olmayan sınırlandırılmış gerçek sayı aralığı olarak tanımlanır ve şu şekilde gösterilir:

$$[a, b] = \{x \in \mathbb{R} | a \leq_{\mathbb{R}} x \leq_{\mathbb{R}} b\} \quad (4.87)$$

Burada $a = \text{enk}([a, b])$ ve $b = \text{enb}([a, b])$ değerleri tanımlanır ve bu değerler $[a, b]$ aralığının en küçük ve en büyük sınırı olarak isimlendirilir.

İki farklı boş küme olmayan $[a, b]$ ve $[c, d]$ olarak tanımlanan sayıların, aralık değer birleşimi aşağıdaki şekilde sağlanır:

$$\forall [a, b] \in \mathbb{IR}, \forall [c, d] \in \mathbb{IR} \quad [a, b] \cup [c, d] \in [\text{enk}\{a, c\}, \text{enb}\{b, d\}] \quad (4.88)$$

İki farklı boş küme olmayan $[a, b]$ ve $[c, d]$ olarak tanımlanan sayıların, aralık değer kesişimi ise aşağıdaki şekilde sağlanır:

$$[a, b] \cap [c, d] = [\text{enb}\{a, c\}, \text{enk}\{b, d\}] \text{ eğer } \text{enb}\{a, c\} \leq \text{enk}\{b, d\} \quad (4.89)$$

$$= \emptyset \text{ diğer durumlarda.} \quad (4.90)$$

Boş küme olmayan kapalı aralıklarda:

$$[a, b] + [c, d] = [a + c, b + d] \quad (4.91)$$

$$[a, b] - [c, d] = [a - d, b - c] \quad (4.92)$$

$$[a, b] \times [c, d] = [\text{enk}\{ac, ad, bc, bd\}, \text{enb}\{ac, ad, bc, bd\}] \quad (4.93)$$

İki farklı aralık değerli sayının sıralanması eşitlikler Ishibuchi ve Tanaka (1990) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$A = [a, b] = \{x: a \leq x \leq b, x \in \mathbb{R}\} \quad (4.94)$$

$$B = [c, d] = \{y: c \leq y \leq d, y \in \mathbb{R}\} \quad (4.95)$$

$$A \leq B \text{ eğer } a < c \text{ ve } b < d \quad (4.96)$$

$$A < B \text{ eğer } A \leq B \text{ ve } A \neq B \quad (4.97)$$

$$A \leq B \text{ eğer } a < c \text{ ve } b > d, \quad (4.98)$$

$$A < B \text{ eğer } A \leq B \text{ ve } A \neq B \quad (4.99)$$

Ishibuchi ve Tanaka (1990) sağ ve sol değerli eşitliklerin kullanılamadığı durumlar için başka bir yöntem önermişlerdir. Önerilen bu yöntemde, aralık değerli A sayısı $A = \langle m(A), w(A) \rangle$ şeklinde ifade edilir. $m(A)$ ve $w(A)$ değerleri sırasıyla A aralığının orta noktası ve yarı orta noktasını göstermektedir.

$$m(A) = \frac{1}{2}(a + b) \quad (4.100)$$

$$w(A) = \frac{1}{2}(b - a) \quad (4.101)$$

$$A \leq_{mw} B \text{ eğer } m(A) \leq m(B) \text{ ve } w(A) \geq w(B) \quad (4.102)$$

$$A <_{mw} B \text{ eğer } A \leq_{mw} B \text{ ve } A \neq B \quad (4.103)$$

4.4.2. Aralık değerli nütrosifik eşdeğer şimdiki değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde aralıklı nütrosifik şimdiki değer analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Aralık değerli olası değerler gösterilirken aralık değerlerin sol tarafı ifade edilirken L , sağ tarafı ifade edilirken R indis gösterimi yapılacaktır. Örnek olarak maliyet parametresinin aralık değerli gösterimi $[M_L, M_R]$ şeklinde olacaktır. Geliştirilen yöntem içerisinde ifade edilecek olan toplam beklenen değeri parametrelerdeki gösterimi TBD şeklinde olacaktır. Örnek olarak maliyet parametresine ait toplam beklenen değer M_{TBD} şeklinde ifade edilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$N\mathcal{S}D_{enk} = M_{TBD,L} + YB_{TBD,L}(P/A, i_{TBD,R}, n_{TBD,L}) + BB_{TBD,L}(P/F, i_{TBD,R}, t) - HD_{TBD,R}(P/F, i_{TBD,R}, n_{TBD,L}) \quad (4.104)$$

$$N\mathcal{S}D_{enk} = M_{TBD,L} + YB_{TBD,L}\left(\frac{(1+i_{TBD,R})^{n_{TBD,L}-1}}{i_{TBD,R}(1+i_{TBD,R})^{n_{TBD,L}}}\right) + BB_{TBD,L}(1+i_{TBD,R})^{-t} - HD_{TBD,R}(1+i_{TBD,R})^{-n_{TBD,L}} \quad (4.105)$$

$$N\mathcal{S}D_{enb} = M_{TBD,R} + YB_{TBD,R}(P/A, i_{TBD,L}, n_{TBD,R}) + BB_{TBD,R}(P/F, i_{TBD,L}, t) - HD_{TBD,L}(P/F, i_{TBD,L}, n_{TBD,R}) \quad (4.106)$$

$$N\mathcal{S}D_{enb} = M_{TBD,R} + YB_{TBD,R}\left(\frac{(1+i_{TBD,L})^{n_{TBD,R}-1}}{i_{TBD,L}(1+i_{TBD,L})^{n_{TBD,R}}}\right) + BB_{TBD,R}(1+i_{TBD,L})^{-t} - HD_{TBD,L}(1+i_{TBD,L})^{-n_{TBD,R}} \quad (4.107)$$

Bu eşitliklerde, aralık değerli yatırım parametreleri tek değerli nütrosifik kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: İlk maliyet ($\tilde{M}$), yıllık bakım ($\tilde{YB}$), büyük bakım ($\tilde{BB}$), hurda değeri ($\tilde{HD}$), faiz oranı ($\tilde{i}$), ekonomik ömür ($\tilde{n}$), büyük bakım zamanı (t). Büyük bakım, projenin ekonomik ömrü boyunca sadece bir kez gerçekleştirildiğinden büyük bakım zamanı (t) pozitif sayıyla temsil edilmiştir.

Önerilen NŞD eşitliğinde m adet uzman yatırım parametreleri üzerinde tahminde bulunabilecektir. Bu durumda parametrelerin matris formatındaki gösterimi şu şekildedir:

$$\tilde{\tilde{M}} = \left\{ \begin{array}{l} [M_{1L}, M_{1R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ [M_{2L}, M_{2R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ [M_{kL}, M_{kR}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.108)$$

$$\tilde{\tilde{YB}} = \left\{ \begin{array}{l} [YB_{1L}, YB_{1R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ [YB_{2L}, YB_{2R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ [YB_{kL}, YB_{kR}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.109)$$

$$\tilde{\tilde{BB}} = \left\{ \begin{array}{l} [BB_{1L}, BB_{1R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ [BB_{2L}, BB_{2R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ [BB_{kL}, BB_{kR}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.110)$$

$$\tilde{\tilde{HD}} = \left\{ \begin{array}{l} [HD_{1L}, HD_{1R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ [HD_{2L}, HD_{2R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ [HD_{kL}, HD_{kR}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.111)$$

$$\tilde{\tilde{I}} = \left\{ \begin{array}{l} [i_{1L}, i_{1R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ [i_{2L}, i_{2R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ [i_{kL}, i_{kR}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.112)$$

$$\tilde{\tilde{n}} = \left\{ \begin{array}{l} [n_{1L}, n_{1R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ [n_{2L}, n_{2R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ [n_{kL}, n_{kR}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.113)$$

Yukarıdaki parametreleri kullanarak NŞD şu şekilde hesaplanır:

m adet uzmanın değerlendirmesi Eşitlik 4.114-4.119’de gösterilen yığılma operatörleri ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülür.

$$\tilde{M} = \cup_{j=1}^k SVNUO \left([M_{1enk,L}, M_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \quad (4.114)$$

$$\tilde{YB} = \cup_{j=1}^k SVNUO \left([YB_{1enk,L}, YB_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \quad (4.115)$$

$$\tilde{BB} = \cup_{j=1}^k SVNUO \left([BB_{1enk,L}, BB_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \quad (4.116)$$

$$\tilde{HD} = \cup_{j=1}^k SVNUO \left([HD_{1enk,L}, HD_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \quad (4.117)$$

$$\tilde{i} = \cup_{j=1}^k SVNUO \left([i_{1enk,L}, i_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \quad (4.118)$$

$$\tilde{n} = \cup_{j=1}^k SVNUO \left([n_{1enk,L}, n_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \quad (4.119)$$

Bu adımdan sonra ikinci yöntemde olduğu gibi nütrosifik eşdeğer maliyet, nütrosifik eşdeğer yıllık ödeme, nütrosifik eşdeğer büyük bakım, nütrosifik eşdeğer hurda değeri, nütrosifik eşdeğer faiz oranı, nütrosifik eşdeğer ekonomik ömür eşitlikleri şu şekilde geliştirilmiştir:

$$\begin{aligned} \tilde{M} &= \cup_{j=1}^k SVNUO \left([M_{1enk,L}, M_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \\ &= [(T'_{ML}, I'_{ML}, F'_{ML}), (T'_{MR}, I'_{MR}, F'_{MR})], j = 1, \dots, k \end{aligned} \quad (4.120)$$

$$[(T'_{ML}, I'_{ML}, F'_{ML}), (T'_{MR}, I'_{MR}, F'_{MR})] =$$

$$\left[\left(\frac{M_{jenk}(T_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{M_{jenk}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-M_{jenk}(F_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)} \right), \left(\frac{M_{jenb}(T_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{M_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-M_{jenb}(F_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)} \right) \right] \quad (4.121)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{YB} &= \cup_{j=1}^k SVNUO \left([YB_{1enk,L}, YB_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \right. \\ &\quad \left. \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \\ &= [(T'_{YBL}, I'_{YBL}, F'_{YBL}), (T'_{YBR}, I'_{YBR}, F'_{YBR})], j = 1, \dots, k \end{aligned} \quad (4.122)$$

$$[(T'_{YBL}, I'_{YBL}, F'_{YBL}), (T'_{YBR}, I'_{YBR}, F'_{YBR})] =$$

$$\left[\left(\frac{YB_{jenk}(T_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{YB_{jenk}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-YB_{jenk}(F_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)} \right), \left(\frac{YB_{jenb}(T_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{YB_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-YB_{jenb}(F_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)} \right) \right] \quad (4.123)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{BB} &= \cup_{j=1}^k SVNUO \left([BB_{1enk,L}, BB_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \right. \\ &\quad \left. \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \\ &= [(T'_{BBL}, I'_{BBL}, F'_{BBL}), (T'_{BBR}, I'_{BBR}, F'_{BBR})], j = 1, \dots, k \end{aligned} \quad (4.124)$$

$$[(T'_{BBL}, I'_{BBL}, F'_{BBL}), (T'_{BBR}, I'_{BBR}, F'_{BBR})] =$$

$$\left[\left(\frac{BB_{jenk}(T_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{BB_{jenk}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-BB_{jenk}(F_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)} \right), \left(\frac{BB_{jenb}(T_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{BB_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-BB_{jenb}(F_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)} \right) \right] \quad (4.125)$$

$$\widetilde{HD} = \cup_{j=1}^k SVNUO \left([HD_{1enk,L}, HD_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \right. \\ \left. \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) =$$

$$[(T'_{HDL}, I'_{HDL}, F'_{HDL}), (T'_{HDR}, I'_{HDR}, F'_{HDR})], j = 1, \dots, k \quad (4.126)$$

$$[(T'_{HDL}, I'_{HDL}, F'_{HDL}), (T'_{HDR}, I'_{HDR}, F'_{HDR})] =$$

$$\left[\left(\frac{HD_{jenk}(T_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{HD_{jenk}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-HD_{jenk}(F_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)} \right), \left(\frac{HD_{jenb}(T_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{HD_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-HD_{jenb}(F_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)} \right) \right] \quad (4.127)$$

$$\begin{aligned} \tilde{i} &= \cup_{j=1}^k SVNUO \left([i_{1enk,L}, i_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \right. \\ &\quad \left. \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \\ &= [(T'_{iL}, I'_{iL}, F'_{iL}), (T'_{iR}, I'_{iR}, F'_{iR})], j = 1, \dots, k \end{aligned} \quad (4.128)$$

$$[(T'_{iL}, I'_{iL}, F'_{iL}), (T'_{iR}, I'_{iR}, F'_{iR})] =$$

$$\left[\left(\frac{i_{jenk}(T_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{i_{jenk}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-i_{jenk}(F_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)} \right), \left(\frac{i_{jenb}(T_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{i_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-i_{jenb}(F_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)} \right) \right] \quad (4.129)$$

$$\begin{aligned} \tilde{n} &= \cup_{j=1}^k SVNUO \left([n_{1enk,L}, n_{1enb,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enb}, F_{1enb} \rangle, \right. \\ &\quad \left. \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots, \langle T_{menk}, I_{menb}, F_{menb} \rangle \right) \\ &= [(T'_{nL}, I'_{nL}, F'_{nL}), (T'_{nR}, I'_{nR}, F'_{nR})], j = 1, \dots, k \end{aligned} \quad (4.130)$$

$$[(T'_{nL}, I'_{nL}, F'_{nL}), (T'_{nR}, I'_{nR}, F'_{nR})] =$$

$$\left[\left(\frac{n_{jenk}(T_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{n_{jenk}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-n_{jenk}(F_{jenb})}{2(I_{jenb}+1)} \right), \left(\frac{n_{jenb}(T_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{n_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-n_{jenb}(F_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)} \right) \right] \quad (4.131)$$

Sonraki adımda parametrelerin TBD aşağıda geliştirilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$M_{TBD} = \left[\sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jL}', I_{jL}', F_{jL}'])}{H_M} \right), \sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jR}', I_{jR}', F_{jR}'])}{H_M} \right) \right] \quad (4.132)$$

$$\text{Burada, } H_M = \sum_{j=1}^j \left(\frac{1+T_{jenk}-F_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)} \right) \quad (4.133)$$

$$Y_{B_{TBD}} = \left[\sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jL}', I_{jL}', F_{jL}'])}{H_{YB}} \right), \sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jR}', I_{jR}', F_{jR}'])}{H_{YB}} \right) \right] \quad (4.134)$$

$$\text{Burada, } H_{YB} = \sum_{j=1}^j \left(\frac{1+T_{jenk}-F_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)} \right) \quad (4.135)$$

$$BB_{TBD} = \left[\sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jL}, I_{jL}, F_{jL}])}{H_{BB}} \right), \sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jR}, I_{jR}, F_{jR}])}{H_{BB}} \right) \right] \quad (4.136)$$

$$\text{Burada, } H_{BB} = \sum_{j=1}^j \left(\frac{1+T_{jenk}-F_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)} \right) \quad (4.137)$$

$$HD_{TBD} = \left[\sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jL}, I_{jL}, F_{jL}])}{H_{HD}} \right), \sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jR}, I_{jR}, F_{jR}])}{H_{HD}} \right) \right] \quad (4.138)$$

$$\text{Burada, } H_{HD} = \sum_{j=1}^j \left(\frac{1+T_{jenk}-F_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)} \right) \quad (4.139)$$

$$i_{TBD} = \left[\sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jL}, I_{jL}, F_{jL}])}{H_i} \right), \sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jR}, I_{jR}, F_{jR}])}{H_i} \right) \right] \quad (4.140)$$

$$\text{Burada, } H_i = \sum_{j=1}^j \left(\frac{1+T_{jenk}-F_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)} \right) \quad (4.141)$$

$$n_{TBD} = \left[\sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jL}, I_{jL}, F_{jL}])}{H_n} \right), \sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jR}, I_{jR}, F_{jR}])}{H_n} \right) \right] \quad (4.142)$$

$$\text{Burada, } H_n = \sum_{j=1}^j \left(\frac{1+T_{jenk}-F_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)} \right) \quad (4.143)$$

Son adımda hesaplanan TBD'ler Eş. 4.104-4.107'de yerine koyularak aralık değerli nütrosifik eşdeğer şimdiki değer hesabı gerçekleştirilir.

Örnek 11: Çizelge 4.26-4.27'de iki ayrı alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değerli nütrosifik üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanlar tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Aralık değerli nütrosifik eşdeğer şimdiki değer analizi metodu yöntemine göre alternatifler değerlendirilecektir.

Çizelge 4.26. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri

	Alternatif 1					
	Olası değerler (Uzman 1)	Nütrosifik üyelik derecesi	Olası değerler (Uzman 2)	Nütrosifik üyelik derecesi	Olası değerler (Uzman 3)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 3)
$\tilde{M}$	[15.000,16.000] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[14.000;15.000] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$	[15.000,16.000] TL	$\langle 0,2; 0,8; 0,4 \rangle$
	[16.000,17.000] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[15.000,16.000] TL	$\langle 0,1; 0,4; 0,5 \rangle$	[16.000,17.000] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,7 \rangle$
	[17.000,18.000] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[16.000,17.000] TL	$\langle 0,2; 0,3; 0,6 \rangle$	[17.000,18.000] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,7 \rangle$
$\tilde{YB}$	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,8; 0,4; 0,6 \rangle$	[1.000,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,8 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,5 \rangle$
	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[1.100,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,8 \rangle$
	[1.200, 1.300] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,7; 0,8; 0,9 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,1 \rangle$
$\tilde{BB}$	[800,900] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$	[900,1.000] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
	[900,1.000] TL	$\langle 0,6; 0,2; 0,3 \rangle$	[1.000,1.200] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$
	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,8; 0,3; 0,4 \rangle$
$\tilde{HD}$	[1.000,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$
	[1.200,1.400] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,3 \rangle$
	[1.400,1.600] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,5 \rangle$	[1.150,1.250] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,6 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{i}$	% [11,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	% [10,11]	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	% [10;10,5]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	% [12,13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	% [10,5;11,5]	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	% [10,5;11]	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	% [12,5;13,5]	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	% [11,12]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	% [11;11,5]	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$
$\tilde{n}$	[5,6]	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	[5,5;6]	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	[5,6]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	[5,5;6,5]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[6;6,5]	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	[5,5;6,5]	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	[6,7]	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	[6,5;7]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	[6,7]	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$

Çizelge 4.27. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri

	Alternatif 2					
	Olası değerler (Uzman 1)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 1)	Olası değerler (Uzman 2)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 2)	Olası değerler (Uzman 3)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 3)
$\tilde{M}$	[18.000,19.000] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	[16.000,17.000]TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,8 \rangle$	[17.000,18.000] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,5 \rangle$
	[19.000,20.000] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	[17.000,18.000]TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	[18.000,19.000] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,8 \rangle$
	[20.000,21.000] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[18.000,19.000]TL	$\langle 0,7; 0,8; 0,9 \rangle$	[19.000,20.000] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,1 \rangle$
$\tilde{YB}$	[1.500,1.600] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	[1.800,1.900] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	[1.600,1.700] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	[1.900,2.000] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	[1.700,1.800] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	[2.300,2.400] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$
$\tilde{BB}$	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	[800,1.000] TL	$\langle 0,8; 0,5; 0,4 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	[1.000,1.200] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,3 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,1 \rangle$	[1.200,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,4 \rangle$	[1.400,1.500] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{HD}$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,3 \rangle$	[900,1.000] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$
	[1.400,1.500] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,4 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$
	[1.500,1.600] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,3 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,5 \rangle$	[1.400,1.500] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,3 \rangle$
$\tilde{i}$	% [11,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	% [10,11]	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	% [10;10,5]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	% [12,13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	% [10,5;11,5]	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	% [10,5;11]	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	% [12,5;13,5]	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	% [11,12]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	% [11;11,5]	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$
$\tilde{n}$	[5,6]	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	[5,5,6]	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	[5,6]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	[5,5;6,5]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[6;6,5]	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	[5,5;6,5]	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	[6,7]	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	[6,5;7]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	[6,7]	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$

m adet uzman değerlendirmesi Eş. 4.114-4.119 de geliştirilen yığışım operatörleri ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülür:

Örnek olarak, Alternatif 1'e ait ilk maliyete ait yığışım hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$\tilde{M} = \cup_{j=1}^3 SVNVO \left(\begin{array}{l} [14.000,16.000], \langle 0,2; 0,8; 0,7 \rangle \\ [15.000,17.000], \langle 0,1; 0,5; 0,7 \rangle \\ [16.000,18.000], \langle 0,2; 0,8; 0,7 \rangle \end{array} \right)$$

Diğer hesaplamalar Çizelge 4.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.28. Alternatiflere ait yığıştirilmiş olası değerler ve nôtrosifik üyelik dereceleri

	Alternatif 1		Alternatif 2	
Parametreler	Olası değerler	Nôtrosifik üyelik derecesi	Olası değerler	Nôtrosifik üyelik derecesi
$\tilde{M}$	[14.000,16.000] TL	$\langle 0,2; 0,8; 0,7 \rangle$	[16.000,19.000] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,8 \rangle$
	[15.000,17.000] TL	$\langle 0,1; 0,5; 0,7 \rangle$	[17.000,20.000] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,8 \rangle$
	[16.000,18.000] TL	$\langle 0,2; 0,8; 0,7 \rangle$	[18.000,21.000] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,9 \rangle$
$\tilde{YB}$	[1.000,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,8 \rangle$	[1.500,2.200] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	[1.100,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,8 \rangle$	[1.600,2.300] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	[1.200,1.400] TL	$\langle 0,4; 0,8; 0,9 \rangle$	[1.700,2.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$
$\tilde{BB}$	[800,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,6 \rangle$	[800,1.300] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,6 \rangle$
	[900,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,5 \rangle$	[1.000,1.400] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	[1.000,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[1.200,1.500] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{HD}$	[1.000,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	[900,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
	[1.100,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[1.100,1.500] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$
	[1.150,1.600] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,5 \rangle$	[1.200,1.600] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{i}$	% [10,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	% [10,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	% [10,5;13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	% [12,13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	% [11;13,5]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	% [11;13,5]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$
$\tilde{n}$	[5,6]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	[5,6]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	[5,5;6,5]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[5,5;6,5]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	[6,7]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	[6,7]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$

Bu adımdan sonra ikinci yöntemde olduğu gibi nütrosifik eşdeğer maliyet, nütrosifik eşdeğer yıllık ödeme, nütrosifik eşdeğer büyük bakım, nütrosifik eşdeğer hurda değeri, nütrosifik eşdeğer faiz oranı, nütrosifik eşdeğer ekonomik ömür eşitlikleri hesaplanmıştır.

Aşağıda Alternatif 1'e ait maliyet parametresinin nütrosifik eşdeğer maliyet hesaplaması gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 & ([T'_{14,000}, I'_{14,000}, F'_{14,000}], [T'_{16,000}, I'_{16,000}, F'_{16,000}]) \\
 &= \left[\left(\frac{14.000(0,2)}{2(0,8+1)}, \frac{14.000}{2(0,8+1)}, \frac{-14.000(0,7)}{2(0,8+1)} \right), \left(\frac{16.000(0,2)}{2(0,8+1)}, \frac{16.000}{2(0,8+1)}, \frac{-16.000(0,7)}{2(0,8+1)} \right) \right] \\
 & ([778; 3,889; -2.722], [889; 4.444; -3.111])
 \end{aligned}$$

Sonraki adımda Alternatif 1'e ait maliyet parametresinin toplam beklenen değeri bulunur.

$$M_{TBD} = \left[\left(\frac{778+3,889-2,722+500+5.000-3.500+889+4,444-3,111}{0,2+0,8+0,7+0,1+0,5+0,7+0,2+0,8+0,7} \right), \left(\frac{889+4,444-3,111+567+5,667-3,967+1.000+5.000-3.500}{0,2+0,8+0,7+0,1+0,5+0,7+0,2+0,8+0,7} \right) \right]$$

Çizelge 4.29'da alternatiflere ait toplam beklenen değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. Alternatiflere ait parametrelerin toplam beklenen değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Toplam beklenen değer	Toplam beklenen değer
M_{TBD}	[15.000,17.000] TL	[16.943,19.943] TL
YB_{TBD}	[1.089,1.289] TL	[1.581,2.281] TL
BB_{TBD}	[912,1.312] TL	[1.018,1.409] TL
HD_{TBD}	[1.090,1.413] TL	[1,076,1,504] TL
i_{TBD}	% [10,40;12,68]	% [10,40;12,68]
n_{TBD}	[5,40;6,40] yıl	[5,40;6,40] yıl

Elde edilen toplam beklenen değerleri Eş. 4.104-4.107’de yerine koyularak alternatiflere ait şimdiki değerler elde edilir.

Alternatif 1:

$$N\$D_{Enk} = 15.000 + 1.089(P/A, \%12,68; 5,40) + 912(P/F, \%12,68; 3) - 1.413(P/F, \%12,68; 5,40)$$

$$N\$D_{Enk} = 18.979,18 \text{ TL}$$

$$N\$D_{Enb} = 17.000 + 1,289(P/A, \%10,40; 6,40) + 1,312(P/F, \%10,40; 3) - 1,090(P/F, \%10,40; 6,40)$$

$$N\$D_{Enb} = 23.213,45 \text{ TL}$$

Alternatif 2:

$$N\$D_{Enk} = 16.943 + 1.581(P/A, \%12,68; 5,40) + 1.018(P/F, \%12,68; 3) - 1,504(P/F, \%12,68; 5,40)$$

$$N\$D_{Enk} = 22.793,30 \text{ TL}$$

$$N\$D_{Enb} = 19,943 + 2.281(P/A, \%10,40; 6,40) + 1.409(P/F, \%10,40; 3) - 1,076(P/F, \%10,40; 6,40)$$

$$N\$D_{Enb} = 30.712,60 \text{ TL}$$

$$N\$D_{Alternatif1} = [18.979,18; 23.213,45] \text{ TL}$$

$$N\$D_{Alternatif2} = [22.793,30; 30.712,60] \text{ TL}$$

Alternatiflere ait aralık değerli şimdiki değerler Eş. 4.94- 4.103'e göre kıyaslandığında, Alternatif 1 daha küçük şimdiki değere sahip olmasından dolayı, uzmanlar tarafından tercih edilen alternatif olacaktır.

4.4.2. Aralık değerli nütrosifik eşdeğer gelecek değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde aralık değerli nütrosifik gelecek değer analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$NGD_{enk} = M_{TBD,L}(F/P, i_{TBD,R}, n_{TBD,L}) + YB_{TBD,L}(F/A, i_{TBD,R}, n_{TBD,L}) + BB_{TBD,L}(P/F, i_{TBD,R}, t)(F/P, i_{TBD,R}, n_{TBD,L}) - HD_{TBD,R} \quad (4.144)$$

$$NGD_{enk} = M_{TBD,L}(1 + i_{TBD,R})^{n_{TBD,L}} + YB_{TBD,L}\left(\frac{(1+i_{TBD,R})^{n_{TBD,L}}-1}{i_{TBD,R}}\right) + BB_{TBD,L}(1 + i_{TBD,R})^{-t}(1 + i_{TBD,R})^{n_{TBD,L}} - HD_{TBD,R} \quad (4.145)$$

$$NGD_{enb} = M_{TBD,R}(F/P, i_{TBD,L}, n_{TBD,R}) + YB_{TBD,R}(F/A, i_{TBD,L}, n_{TBD,R}) + BB_{TBD,R}(P/F, i_{TBD,L}, t)(F/P, i_{TBD,L}, n_{TBD,R}) - HD_{TBD,L} \quad (4.146)$$

$$NGD_{enb} = M_{TBD,R}(1 + i_{TBD,L})^{n_{TBD,R}} + YB_{TBD,R}\left(\frac{(1+i_{TBD,L})^{n_{TBD,R}}-1}{i_{TBD,L}}\right) + BB_{TBD,R}(1 + i_{TBD,L})^{-t}(1 + i_{TBD,L})^{n_{TBD,R}} - HD_{TBD,L} \quad (4.147)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri tek değerli nütrosifik kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: İlk maliyet ($\tilde{M}$), yıllık bakım ($Y\tilde{B}$), büyük bakım ($B\tilde{B}$), hurda değeri ($H\tilde{D}$), faiz oranı ($\tilde{i}$), ekonomik ömür ($\tilde{n}$), büyük bakım zamanı (t). Büyük bakım, projenin ekonomik ömrü boyunca sadece bir kez gerçekleştirildiğinden büyük bakım zamanı (t) pozitif sayıyla temsil edilmiştir. Parametrelerin matris formunda gösterimi aralık değerli nütrosifik eşdeğer şimdiki değer analizi bölümde gösterildiği gibidir.

Aralık değerli n trosodik eşdeğer gelecek değer hesaplaması yapılırken, alternatiflerin aralık değerli n trosodik eşdeğer şimdiki değer hesaplamalarında kullanılan, parametrelere ait TBD'lerin hesaplamasına kadar olan kısım bu bölümde de kullanılır. Daha sonra hesaplanan parametrelerin TBD'ler Eş. 4.144-4.147'de yerine koyularak aralık değerli n trosodik gelecek değer hesaplamaları gerçekleştirilir.

 rnek 12: Çizelge 4.26-4.27'de alternatiflere ait veriler önerilen bu yöntem ile çözülecektir.

Alternatiflere ait hesaplanan TBD'ler aralıklı n trosodik şimdiki değer analizi yönteminde hesaplanan değerlerdir ve  izelge 4.29'da verilmiştir.

Alternatif 1'e ait aralık değerli n trosodik gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$NGD_{enk} = 15.000(F/P, \%12,68; 5,40) + 1.089(F/A, \%12,68; 5,40) \\ + 912(P/F, \%12,68; 3)(F/P, \%12,68; 5,40) - 1.413$$

$$NGD_{enk} = 36.185,12 \text{ TL}$$

$$NGD_{enb} = 17.000(F/P, \%10,40; 6,40) + 1.289(F/A, \%10,40; 6,40) \\ + 1.312(P/F, \%10,40; 3)(F/P, \%10,40; 6,40) - 1.090$$

$$NGD_{enb} = 45.937,18 \text{ TL}$$

Alternatif 2' ye ait aralık değerli n trosodik gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$NGD_{enk} = 16.943(F/P, \%12,68; 5,40) + 1.581(F/A, \%12,68; 5,40) \\ + 1.081(P/F, \%12,68; 3)(F/P, \%12,68; 5,40) - 1.504$$

$$NGD_{enk} = 43.456,21 \text{ TL}$$

$$NGD_{enb} = 19.943(F/P, \%10,40; 6,40) + 2.281(F/A, \%10,40; 6,40) \\ + 1.409(P/F, \%10,40; 3)(F/P, \%10,40; 6,40) - 1.076$$

$$NGD_{enb} = 60.044,24 \text{ TL}$$

$$NGD_{Alternatif1} = [36.185,12, 45.937,18] \text{ TL}$$

$$NGD_{Alternatif2} = [43.456,21, 60.044,24] \text{ TL}$$

Alternatiflere ait aralık değerli nütrosifik eşdeğer gelecek değerler Eş. 4.94- 4.103'e göre kıyaslandığında, Alternatif 1 daha küçük gelecek değere sahip olmasından dolayı, uzmanlar tarafından tercih edilen alternatif olacaktır.

4.4.3. Aralık değerli nütrosifik eşdeğer geri ödeme süresi analizi

Çalışmanın bu bölümünde aralık değerli nütrosifik eşdeğer geri ödeme süresi analizi eşitlikleri geliştirilmiştir.

$$\sum_{n=1}^{N_j} \left[K_{TBD,L,jn} (P/F, i_{TBD,R}, n), K_{TBD,R,jn} (P/F, i_{TBD,L}, n) \right] \geq [M_{TBD,L,j}, M_{TBD,R,j}] \quad (4.148)$$

$$\sum_{n=1}^{N_j} \left[K_{TBD,L,jn} (1 + i_{TBD,R})^{-n}, K_{TBD,L,jn} (1 + i_{TBD,L})^{-n} \right] \geq [M_{TBD,L,j}, M_{TBD,R,j}] \quad (4.149)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri aralık değerli nütrosifik kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir; Yatırıma ait ilk maliyet ($\tilde{M}$), $\tilde{K}_{TBD,jn}$ n dönemde elde edilen net kazancı ifade etmektedir. Paranın zaman değeri göz önüne alındığında Eş. 4.148'i sağlayan en küçük N_j değeri, j yatırımı için geri dönüş süresini vermektedir. Bu eşitlikte n süresi net değer olarak bilinmek durumundadır.

Önerilen bu eşitlikte yıllık kazanç parametresinin gösterimi Eş. 4.150'de gösterilmiş olup, diğer parametrelere ait matris formatında gösterimi Eş. 4.108- 4.113'te gösterilmiştir.

$$\tilde{K} = \left\{ \begin{array}{l} [K_{1L}, K_{1R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ [K_{2L}, K_{2R}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \\ \dots, \\ [K_{kL}, K_{kR}], \langle T_1, I_1, F_1 \rangle, \dots, \langle T_m, I_m, F_m \rangle, \end{array} \right\} \quad (4.150)$$

m adet uzmanın değerlendirmesi Eşitlik 4.151’de gösterilen yığışım operatörü ile kazanç parametresi tek bir değerlendirmeye dönüştürülür, diğer parametreler ise Eş. 4.114 ve Eş. 4.118 ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülmüştür.

$$\tilde{K} = \cup_{j=1}^k F_w \left([K_{1enk,L}, K_{1enk,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enk}, F_{1enk} \rangle, \dots, \langle T_{menk}, I_{menk}, F_{menk} \rangle \right) \quad (4.151)$$

Bu adımdan sonra nütrosifik eşdeğer kazanç değeri Eş. 4.152 ve Eş. 4.153 ile, nütrosifik eşdeğer ilk maliyet ve nütrosifik eşdeğer faiz oranı ise daha önce verilen Eş.120 ve Eş. 128 ile hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \tilde{K} &= \cup_{j=1}^k SVNUO \left([K_{1enk,L}, K_{1enk,R}], \langle T_{1enk}, I_{1enk}, F_{1enk} \rangle, \dots, \langle T_{menk}, I_{menk}, F_{menk} \rangle \right) \\ &= [(T'_{K,L}, I'_{K,L}, F'_{K,L}), (T'_{K,R}, I'_{K,R}, F'_{K,R})], j = 1, \dots, k \end{aligned} \quad (4.152)$$

$$[(T'_{K,L}, I'_{K,L}, F'_{K,L}), (T'_{K,R}, I'_{K,R}, F'_{K,R})] =$$

$$\left[\left(\frac{K_{jenk}(T_{jenk})}{2(I_{jenk}+1)}, \frac{K_{jenk}}{2(I_{jenk}+1)}, \frac{-K_{jenk}(F_{jenk})}{2(I_{jenk}+1)} \right), \left(\frac{K_{jenb}(T_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{K_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)}, \frac{-K_{jenb}(F_{jenk})}{2(I_{jenb}+1)} \right) \right] \quad (4.153)$$

Sonraki adımda kazanç parametresine ait TDB'ler Eş. 4.154 ve Eş. 4.155 ile, maliyet ve faiz oranı parametresine ait TDB'ler ise Eş. 4.132, Eş. 4.133, Eş. 4.140, Eş. 4.141 ile hesaplanmıştır.

$$K_{TBD} = \left[\sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jL}', I_{jL}', F_{jL}'])}{H_K} \right), \sum_{j=1}^j \left(\frac{([T_{jR}', I_{jR}', F_{jR}'])}{H_K} \right) \right] \quad (4.154)$$

$$\text{Burada } H_K = \sum_{j=1}^j \left(\frac{1+T_{jenk}-F_{jenb}}{2(I_{jenb}+1)} \right) \quad (4.155)$$

Son adımda hesaplanan TBD'ler Eş. 4.148 veya Eş. 4.149'da yerine koyularak geri ödeme süresi analizi gerçekleştirilir.

Örnek 13: Çizelge 4.30-4.31'de sunulan alternatiflere ait veriler önerilen bu yöntem ile çözülecektir.

Çizelge 4.30. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri

	Alternatif 1					
Para- metre- ler	Olası değerler (Uzman 1)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 1)	Olası değerler (Uzman 2)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 2)	Olası değerler (Uzman 3)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 3)
$\ddot{M}$	[5.000,5.500] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[5.200,5.600] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	[5.500,6.000] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$
	[5.500,6.000] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	[5.600,6.000] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[6.000,6.500] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	[6.500,7.000] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[6.000,6.400] TL	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	[6.500,7.000] TL	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$
$\ddot{K}_1$	[900,1.000] TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	[800,900] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	[900,950] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$
	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[950,1.000] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\ddot{K}_2$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,6; 0,1; 0,4 \rangle$
	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,2 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,1 \rangle$
	[1.400,1.500] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\ddot{K}_3$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	[1.000,1.200] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$
	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,3 \rangle$
	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,1 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,5 \rangle$
$\ddot{K}_4$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,6; 0,1; 0,4 \rangle$
	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,2 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,1 \rangle$
	[1.400,1.500] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\ddot{K}_5$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,6; 0,1; 0,4 \rangle$
	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,2 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,1 \rangle$
	[1.400,1.500] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\ddot{K}_6$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,6; 0,1; 0,4 \rangle$
	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,2 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,1 \rangle$
	[1.400,1.500] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[1.200,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[1.300,1.500] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\ddot{i}$	% [11,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	% [10,11]	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	% [10;10,5]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	% [12,13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	% [10,5;11,5]	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	% [10,5;11]	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	% [12,5;13,5]	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	% [11,12]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	% [11;11,5]	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$

Çizelge 4.31. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri

Para- metre- ler	Alternatif 2					
	Olası değerler (Uzman 1)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 1)	Olası değerler (Uzman 2)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 2)	Olası değerler (Uzman 3)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 3)
$\tilde{M}$	[12.000,12.200] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,4 \rangle$	[12.500,12.600] TL	$\langle 0,4; 0,4; 0,5 \rangle$	[10.000,11.000] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$
	[12.200,12.400] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	[12.600,12.700] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,1 \rangle$	[11.000,12.000] TL	$\langle 0,2; 0,7; 0,5 \rangle$
	[12.400,12.600] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$	[12.700,12.800] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$	[12.000,13.000] TL	$\langle 0,1; 0,4; 0,8 \rangle$
$\tilde{K}_1$	[2.000,2.200] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[1.500,1.600] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	[1.500,1.600] TL	$\langle 0,9; 0,2; 0,1 \rangle$
	[2.200,2.400] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,4 \rangle$	[1.600,1.700] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	[1.600,1.700] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,5 \rangle$
	[2.400,2.600] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,4 \rangle$	[1.700,1.800] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,1 \rangle$	[1.700,1.800] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
$\tilde{K}_2$	[1.800,2.000] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	[1.700,1.900] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$
	[2.000,2.200] TL	$\langle 0,6; 0,8; 0,1 \rangle$	[1.900,2.000] TL	$\langle 0,7; 0,1; 0,2 \rangle$	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,4 \rangle$
	[2.200,2.400] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,4 \rangle$	[2.000,2.200] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	[2.300,2.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_3$	[1.900,2.000] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,3 \rangle$	[1.900,2.100] TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,2 \rangle$	[1.900,2.100] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,4 \rangle$	[2.100,2.300] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$
	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	[2.200,2.400] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,7 \rangle$	[2.300,2.500] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_4$	[1.800,1.900] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	[1.900,2.100] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
	[1.900,2.000] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[2.100,2.300] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$
	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,4 \rangle$	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,5 \rangle$	[2.300,2.500] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_5$	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,2 \rangle$	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,7; 0,7; 0,2 \rangle$
	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,6; 0,6; 0,5 \rangle$	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_6$	[1.500,1.600] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,6 \rangle$	[1.500,1.700] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$	[1.600,1.700] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,6 \rangle$
	[1.600,1.700] TL	$\langle 0,8; 0,5; 0,1 \rangle$	[1.700,1.900] TL	$\langle 0,6; 0,6; 0,5 \rangle$	[1.700,1.800] TL	$\langle 0,8; 0,5; 0,2 \rangle$
	[1.700,1.800] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,6 \rangle$	[1.900,2.100] TL	$\langle 0,2; 0,4; 0,6 \rangle$	[1.800,1.900] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{i}$	% [11,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	% [10,11]	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	% [10;10,5]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	% [12,13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	% [10,5;11,5]	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	% [10,5;11]	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	% [12,5;13,5]	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	% [11,12]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	% [11;11,5]	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$

Sonraki adımda yığışım operatörleri ile parametrelere ait uzmanların nütrosifik değerlendirmeleri birleştirilir. Bundan sonraki adımlarda sadece Alternatif 1'e ait hesaplamalar verilecek olup, Alternatif 2'ye ait hesaplamalar verilmeyecektir. Alternatif 1'in ilk yatırım maliyetine ait uzmanların nütrosifik değerlendirmeleri aşağıda gösterildiği şekilde Eş.4.114 kullanılarak tek bir değere yığıştırılmıştır.

$$\tilde{M} = \cup_{j=1}^3 SVNUO \left(\begin{array}{l} [5.000,5.500], \langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle \\ [5.500,6.000], \langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle \\ [6.500,7.000], \langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle \end{array} \right)$$

Çizelge 4.32. Alternatiflere ait yığıştirılmış olası değerler ve nôtrosifik üyelik dereceleri

	Alternatif 1		Alternatif 2	
Parametreler	Olası değerler	Nôtrosifik üyelik derecesi	Olası değerler	Nôtrosifik üyelik derecesi
$\tilde{M}$	[5.000,6.000] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[10.000,12.600] TL	$\langle 0,2; 0,7; 0,5 \rangle$
	[5.500,6.500] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[11.000,12.700] TL	$\langle 0,2; 0,7; 0,5 \rangle$
	[6.000,7.000] TL	$\langle 0,3; 0,7; 0,7 \rangle$	[12.000,13.000] TL	$\langle 0,1; 0,5; 0,8 \rangle$
$\tilde{K}_1$	[800,1.200] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[1.500,2.200] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$
	[900,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	[1.600,2.400] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,5 \rangle$
	[950,1.400] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[1.700,2.600] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
$\tilde{K}_2$	[1.000,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,4 \rangle$	[1.700,2.200] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$
	[1.100,1.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[1.900,2.300] TL	$\langle 0,6; 0,8; 0,4 \rangle$
	[1.200,1.400] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[2.000,2.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_3$	[1.000,1.200] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,3 \rangle$	[1.900,2.100] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
	[1.100,1.300] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	[2.100,2.300] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$
	[1.200,1.400] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$	[2.200,2.500] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,7 \rangle$
$\tilde{K}_4$	[1.000,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,4 \rangle$	[1.800,2.100] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
	[1.100,1.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[1.900,2.300] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	[1.200,1.500] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[2.000,2.500] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_5$	[1.000,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,4 \rangle$	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$
	[1.100,1.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,5; 0,7; 0,4 \rangle$
	[1.200,1.500] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_6$	[1.000,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,4 \rangle$	[1.500,1.700] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
	[1.100,1.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[1.600,1.900] TL	$\langle 0,6; 0,6; 0,6 \rangle$
	[1.200,1.500] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[1.700,2.100] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,6 \rangle$
$\tilde{i}$	% [10,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	% [10,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	% [10,5;13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	% [10,5;13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	% [11;13,5]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	% [11;13,5]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$

Bu adımdan sonra parametrelere ait nôtrosifik eşdeğer kazanç nôtrosifik eşdeğer maliyet ve nôtrosifik eşdeğer faiz oranı değerleri hesaplanmıştır.

Aşağıda Alternatif 1'e ait maliyet parametresinin nôtrosifik eşdeğer maliyet hesaplaması gösterilmiştir.

$$([T'_{15.000}, I'_{15.000}, F'_{15.000}], [T'_{16.000}, I'_{16.000}, F'_{16.000}])$$

$$= \left[\left(\frac{5.000(0,5)}{2(0,8+1)}, \frac{5.000}{2(0,8+1)}, \frac{-5.000(0,5)}{2(0,8+1)} \right), \left(\frac{6.000(0,5)}{2(0,8+1)}, \frac{6.000}{2(0,8+1)}, \frac{-6.000(0,5)}{2(0,8+1)} \right) \right]$$

$$([694, 1.389, -694], [883, 1.667, -833])$$

Sonraki adımda Alternatif 1'e ait maliyet parametresinin toplam beklenen değeri bulunur.

$$M_{TBD} = \left[\left(\frac{694+1.389-6.94+764+1.528-7.64+529+1.765-1.235}{0,5+0,8+0,5+0,5+0,8+0,5+0,3+0,7+0,7} \right), \left(\frac{883+1.667-833+903+1.806-903+618+2.059-1.441}{0,5+0,8+0,5+0,5+0,8+0,5+0,3+0,7+0,7} \right) \right]$$

$$M_{TBD} = [5.431, 6.431] TL$$

Çizelge 4.33'te alternatiflere ait toplam beklenen değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.33. Alternatiflere ait parametrelerin toplam beklenen değerleri

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Toplam beklenen değer	Toplam beklenen değer
M_{TBD}	[5.431, 6.431] TL	[10.793, 12.718] TL
K_{1TBD}	[851, 1.258] TL	[1.614, 2.429] TL
K_{2TBD}	[1.071, 1.371] TL	[1.884, 2.310] TL
K_{3TBD}	[1.084, 1.284] TL	[2.048, 2.268] TL
K_{4TBD}	[1.071, 1.371] TL	[1.893, 2.268] TL
K_{5TBD}	[1.071, 1.371] TL	[2.080, 2.180] TL
K_{6TBD}	[1.071, 1.371] TL	[1.590, 1.879] TL
i_{TBD}	% [10,40; 12,68]	% [10,40; 12,68]

Elde edilen toplam beklenen değerleri Eş. 4.148 veya 4.149'da yerine koyularak alternatiflere ait geri ödeme süresi hesaplanır.

Alternatif 1:

$$\sum_{n=1}^{N_j} \left[K_{TBD,L,jn} \left(\frac{P}{F}, \%12,68; 6 \right), K_{TBD,R,jn} \left(\frac{P}{F}, \%10,40; 6 \right) \right] \geq [5.431,6.431]$$

Yukarıdaki eşitsizliğe göre paranın zaman değeri göz önüne alınarak hesaplanan geri ödeme süresi ile net kazançlar aşağıdaki Çizelge 4.34'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.34. Alternatif 1'e ait geri ödeme süresi çizelgesi

Yıllar	Net kazançlar	Net kazançların şimdiki değeri	Net kazançların kümülatif toplamı
0	[-5.431, 6.431] TL	[-5.431, 6.431] TL	[-5.431, 6.431] TL
1	+[851, 1.258] TL	+[755,1.139] TL	
2	+[1.071, 1.371] TL	+[844, 1.125] TL	+[1.599, 2.264] TL
3	+[1.084, 1.284] TL	+[758, 954] TL	+[2.357, 3.219] TL
4	+[1.071, 1.371] TL	+[655, 923] TL	+[3.021, 4.142] TL
5	+[1.071, 1.371] TL	+[590, 836] TL	+[3.611, 4.978] TL
6	+[1.071, 1.371] TL	+[523, 757] TL	+[4.134, 5.735] TL

Alternatif 1'e ait net kazançların kümülatif toplamının ilk maliyetten yüksek olduğu nokta, alternatifin geri ödeme süresini verecektir. Çizelge 4.34 incelendiğinde, 6'ncı döneme kadar olan hesaplamaların kümülatif toplam kazançların sol tarafı ve sağ tarafı, ilk maliyet parametresinin sol tarafından ve sağ tarafından küçük olmasından dolayı geri ödeme süresi bu noktaya kadar tamamlanamıştır.

Alternatif 1 için yapılan işlemler, Alternatif 2 içinde gerçekleştirilir. Çizelge 4.35'te Alternatif 2'ye ait net kazançlar gösterilmiştir.

Çizelge 4.35. Alternatif 2'ye ait geri ödeme süresi çizelgesi

Yıllar	Net kazançlar	Net kazançların şimdiki değeri	Net kazançların kümülatif toplamı
0	[-10.793, 12.718] TL	[-10.793, 12.718] TL	[-10.793, 12.718] TL
1	+[1.614, 2.429] TL	+[1.433, 2.200] TL	
2	+[1.884, 2.310] TL	+[1.484, 1.895] TL	+[2.916, 4.094] TL
3	+[2.048, 2.268] TL	+[1.431, 1.685] TL	+[4.348, 5.780] TL
4	+[1.893, 2.286] TL	+[1.174, 1.538] TL	+[5.522, 7.318] TL
5	+[2.080, 2.180] TL	+[1.145, 1.467] TL	+[6.667, 8.786] TL
6	+[1.590, 1.879] TL	+[875, 1.265] TL	+[7.542, 10.050] TL

Alternatif 2'ye ait net kazançların kümülatif toplamının ilk maliyetten yüksek olduğu nokta, alternatifin geri ödeme süresini verecektir. Çizelge 4.35 incelendiğinde, 6'ncı döneme kadar olan kısım incelendiğinde kümülatif toplam kazançların sol tarafı ve sağ tarafı, ilk maliyet parametresinin sol tarafında ve sağ tarafından küçük olmasından dolayı geri ödeme süresi bu noktaya kadar tamamlanamamıştır. Her iki alternatif için de geri ödeme süresi analizi, bu alternatifler için karar verme sürecinde kullanılamayacaktır. Bu sonucun nedeni uzmanların alternatifler üzerinde yaptıkları değerlendirmelerinde, 4, 5 ve 6'ncı dönemdeki kazançların yeteri kadar büyük olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu dönemlerdeki olası kazançların şimdiki değerlerin toplamı, kümülatif toplamda yeteri kadar pozitif etki sağlayamamaktadır.

4.4.5. Aralık değerli nütrosifik eşdeğer kazanç maliyet analizi

Çalışmanın bu bölümünde aralık değerli nütrosifik kazanç maliyet analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$NKMA_{enk} = \frac{\sum_{n=1}^k K_{TBD,L} j_n (P/F, i_{TBD,R}, n)}{M_{TBD,R} + BB_{TBD,R} (P/F, i_{TBD,R}, t) + YB_{TBD,R} (P/A, i_{TBD,R}, n) - HD_{TBD,R} (P/F, i_{TBD,R}, n)}, n = 1, \dots, k \quad (4.156)$$

$$NKMA_{enk} = \frac{\sum_{n=1}^k K_{TBD,L} j_n (1+i_{TBD,R})^{-n}}{M_{TBD,R} + BB_{TBD,R} (1+i_{TBD,R})^{-t} + YB_{TBD,R} \left(\frac{(1+i_{TBD,R})^{n-1}}{i_{TBD,R} (1+i_{TBD,R})^n} \right) - HD_{TBD,R} (1+i_{TBD,R})^{-n}}, n = 1, k \quad (4.157)$$

$$NKMA_{enb} = \frac{\sum_{n=1}^k K_{TBD,R} j_n (P/F, i_{TBD,L}, n)}{M_{TBD,L} + BB_{TBD,L} (P/F, i_{TBD,L}, t) + YB_{TBD,L} (P/A, i_{TBD,L}, n) - HD_{TBD,L} (P/F, i_{TBD,L}, n)}, n = 1, \dots, k \quad (4.158)$$

$$NKMA_{enb} = \frac{\sum_{n=1}^k K_{TBD,R} j_n (1+i_{TBD,L})^{-n}}{M_{TBD,L} + BB_{TBD,L} (1+i_{TBD,L})^{-t} + YB_{TBD,L} \left(\frac{(1+i_{TBD,L})^{n-1}}{i_{TBD,L} (1+i_{TBD,L})^n} \right) - HD_{TBD,L} (1+i_{TBD,L})^{-n}}, n = 1, \dots, k \quad (4.159)$$

Bu yöntemde uzmanların parametrelere ait nütrosolik üyelik dereceleri değerdendirmeleri daha önceki yöntemlerde anlatıldığı gibi nütrosolik aritmetik yığışım operatörü kullanarak yapılacaktır.

Sonraki adımda parametrelere ait nütrosolik eşdeğer maliyet, nütrosolik eşdeğer yıllık bakım, nütrosolik eşdeğer büyük bakım, nütrosolik eşdeğer kazanç, nütrosolik eşdeğer hurda değeri, nütrosolik eşdeğer faiz oranı değeri hesaplanır.

Önerilen bu eşitlikte TBD'lerin elde edilmesi için, yığıştırılmış nütrosolik eşdeğer analizi yöntemlerinde açıklanan adımlar bu eşitlikte de geçerlidir. Parametrelerin TBD'lerinin elde edilmesine müteakip Eş. 4.156-4.159'da yerine koyularak NKMA hesaplanır. Hesaplanan NKMA değeri aralık değeri bir sayı olması nedeniyle, aralık sayı sıralama eşitlikleri kullanarak büyük olan NKMA değeri sahip olan alternatif yatırım alternatifini olarak seçilecektir.

Örnek 14: Çizelge 4.36-4.37'de iki ayrı alternatifte ait aralık değeri parametreler, bu parametrelere ait olası değeri ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değeri nütrosolik üyelik fonksiyonu dereceleri kullanılacaktır. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Alternatiflerin ekonomik ömrü bu problemde net değeri olarak ele alınmış olup bu değeri 6 yıldır. Aralık değeri nütrosolik kazanç maliyet analizi metodu yöntemine göre alternatifler değeriendirilecektir.

Çizelge 4.36. Alternatif 1'e ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri

	Alternatif 1					
Para- metre- ler	Olası değerler (Uzman 1)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 1)	Olası değerler (Uzman 2)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 2)	Olası değerler (Uzman 3)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 3)
$\tilde{M}$	[5.000,5.500] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[5.200,5.600] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	[5.500,6.000] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$
	[5.500,6.000] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	[5.600,6.000] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[6.000,6.500] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
	[6.500,7.000] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[6.000,6.400] TL	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$	[6.500,7.000] TL	$\langle 0,4; 0,7; 0,6 \rangle$
$\tilde{YB}$	[300,400] TL	$\langle 0,8; 0,4; 0,6 \rangle$	[300,400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,8 \rangle$	[200,300] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,5 \rangle$
	[400,500] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[400,500] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	[300,400] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,8 \rangle$
	[500,600] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	[500,600] TL	$\langle 0,7; 0,8; 0,9 \rangle$	[400,500] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,1 \rangle$
$\tilde{BB}$	[800,900] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$	[900,1.000] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	[1.100,1.200] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
	[900,1.000] TL	$\langle 0,6; 0,2; 0,3 \rangle$	[1.000,1.200] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$
	[1.000,1.100] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[1.200,1.300] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[1.300,1.400] TL	$\langle 0,8; 0,3; 0,4 \rangle$
$\tilde{K}_1$	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,1 \rangle$	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[2.000,2.200] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,3 \rangle$	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	[2.200,2.400] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$
	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[2.400,2.600] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_2$	[2.400,2.600] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[2.500,2.700] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[3.000,3.100] TL	$\langle 0,6; 0,1; 0,4 \rangle$
	[2.600,2.700] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,2 \rangle$	[2.700,2.800] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[3.100,3.200] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,1 \rangle$
	[2.700,2.800] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[2.800,2.900] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[3.200,3.300] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_3$	[3.000,3.100] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	[3.300,3.400] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	[3.500,3.600] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$
	[3.100,3.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$	[3.400,3.500] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	[3.700,3.800] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,3 \rangle$
	[3.200,3.300] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$	[3.500,3.600] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,1 \rangle$	[3.800,3.900] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_4$	[4.000,4.100] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[4.100,4.200] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[4.500,4.600] TL	$\langle 0,6; 0,1; 0,4 \rangle$
	[4.100,4.200] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,2 \rangle$	[4.300,4.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[4.600,4.700] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,1 \rangle$
	[4.200,4.300] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[4.400,4.500] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[4.700,4.800] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_5$	[3.300,3.400] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[3.100,3.200] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[3.500,3.600] TL	$\langle 0,6; 0,1; 0,4 \rangle$
	[3.400,3.500] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,2 \rangle$	[3.200,3.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[3.600,3.700] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,1 \rangle$
	[3.500,3.600] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[3.400,3.500] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[3.700,3.800] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_6$	[3.000,3.300] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[3.500,3.700] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[3.500,3.600] TL	$\langle 0,6; 0,1; 0,4 \rangle$
	[3.300,3.600] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,2 \rangle$	[3.700,3.900] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[3.600,3.700] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,1 \rangle$
	[3.600,3.900] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[3.900,4.100] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[3.700,3.800] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\tilde{HD}$	[2.000,2.100] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[2.200,2.400] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,3 \rangle$	[2.500,2.600] TL	$\langle 0,6; 0,1; 0,4 \rangle$
	[2.100,2.200] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,2 \rangle$	[2.400,2.600] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[2.600,2.700] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,1 \rangle$
	[2.200,2.300] TL	$\langle 0,3; 0,4; 0,7 \rangle$	[2.600,2.700] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[2.700,2.800] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$
$\tilde{I}$	% [11,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	% [10,11]	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	% [10,10,5]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	% [12,13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	% [10,5,11,5]	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	% [10,5,11]	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	% [12,5,13,5]	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	% [11,12]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	% [11,11,5]	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$

Çizelge 4.37. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve nütrosifik üyelik dereceleri

	Alternatif 2					
Para- metre- ler	Olası değerler (Uzman 1)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 1)	Olası değerler (Uzman 2)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 2)	Olası değerler (Uzman 3)	Nütrosifik üyelik derecesi (Uzman 3)
$\tilde{M}$	[12.000,12.200] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,4 \rangle$	[12.500,12.600] TL	$\langle 0,4; 0,4; 0,5 \rangle$	[10.000,11.000] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$
	[12.200,12.400] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	[12.600,12.700] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,1 \rangle$	[11.000,12.000] TL	$\langle 0,2; 0,7; 0,5 \rangle$
	[12.400,12.600] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$	[12.700,12.800] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,4 \rangle$	[12.000,13.000] TL	$\langle 0,1; 0,4; 0,8 \rangle$
$\tilde{YB}$	[600,700] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	[700,800] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	[600,700] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	[700,800] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	[800,900] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[700,800] TL	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	[800,900] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	[900,1.000] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	[800,900] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$
$\tilde{BB}$	[700,800] TL	$\langle 0,8; 0,5; 0,6 \rangle$	[600,700] TL	$\langle 0,8; 0,5; 0,4 \rangle$	[700,800] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
	[800,900] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	[700,800] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,3 \rangle$	[800,900] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	[900,1.000] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,1 \rangle$	[800,900] TL	$\langle 0,5; 0,3; 0,4 \rangle$	[900,1.000] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_1$	[3.000,3.200] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[3.200,3.300] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$	[3.200,3.300] TL	$\langle 0,9; 0,2; 0,1 \rangle$
	[3.200,3.300] TL	$\langle 0,7; 0,4; 0,4 \rangle$	[3.300,3.400] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	[3.300,3.400] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,5 \rangle$
	[3.300,3.400] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,4 \rangle$	[3.400,3.500] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,1 \rangle$	[3.400,3.500] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
$\tilde{K}_2$	[3.200,3.300] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	[3.100,3.200] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	[3.200,3.400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$
	[3.300,3.400] TL	$\langle 0,6; 0,8; 0,1 \rangle$	[3.200,3.300] TL	$\langle 0,7; 0,1; 0,2 \rangle$	[3.400,3.600] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,4 \rangle$
	[3.400,3.500] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,4 \rangle$	[3.300,3.400] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$	[3.600,3.800] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_3$	[4.000,4.200] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,3 \rangle$	[4.200,4.400] TL	$\langle 0,9; 0,1; 0,2 \rangle$	[4.500,4.700] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
	[4.200,4.400] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[4.400,4.600] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,4 \rangle$	[4.700,4.900] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$
	[4.400,4.600] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	[4.600,4.800] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,7 \rangle$	[4.900,5.000] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_4$	[5.100,5.200] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	[5.500,5.600] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	[5.800,5.900] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
	[5.400,5.600] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	[5.600,5.700] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[5.690,6.000] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$
	[5.600,5.800] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,4 \rangle$	[5.700,5.800] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,5 \rangle$	[6.000,6.200] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_5$	[5.500,5.600] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,3 \rangle$	[5.500,5.600] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,2 \rangle$	[5.400,5.500] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$
	[5.600,5.700] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	[5.600,5.700] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,4 \rangle$	[5.500,5.600] TL	$\langle 0,7; 0,7; 0,2 \rangle$
	[5.700,5.800] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	[5.700,5.800] TL	$\langle 0,6; 0,6; 0,5 \rangle$	[5.600,5.800] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_6$	[5.000,5.200] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,6 \rangle$	[5.200,5.400] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$	[5.200,5.400] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,6 \rangle$
	[5.200,5.400] TL	$\langle 0,8; 0,5; 0,1 \rangle$	[5.400,5.600] TL	$\langle 0,6; 0,6; 0,5 \rangle$	[5.400,5.500] TL	$\langle 0,8; 0,5; 0,2 \rangle$
	[5.400,5.600] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,6 \rangle$	[5.600,5.700] TL	$\langle 0,2; 0,4; 0,6 \rangle$	[5.500,5.600] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{HD}$	[6.000,6.100] TL	$\langle 0,7; 0,5; 0,3 \rangle$	[6.500,6.600] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$	[6.000,6.500] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$
	[6.100,6.200] TL	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	[6.600,6.700] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,4 \rangle$	[6.500,7.000] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$
	[6.200,6.300] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,3 \rangle$	[6.700,6.800] TL	$\langle 0,7; 0,3; 0,5 \rangle$	[7.000,7.200] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,3 \rangle$
$\tilde{I}$	% [11,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,2 \rangle$	% [10,11]	$\langle 0,8; 0,1; 0,2 \rangle$	% [10;10,5]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	% [12,13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	% [10,5;11,5]	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$	% [10,5;11]	$\langle 0,5; 0,2; 0,2 \rangle$
	% [12,5;13,5]	$\langle 0,6; 0,4; 0,4 \rangle$	% [11,12]	$\langle 0,4; 0,4; 0,5 \rangle$	% [11;11,5]	$\langle 0,7; 0,4; 0,2 \rangle$

Sonraki adımda yığışım operatörleri kullanılarak parametrelere ait uzmanların nütrosifik değerlendirmeleri birleştirilir. Bundan sonraki adımlarda sadece Alternatif 1'e ait hesaplamalar verilecek olup, Alternatif 2'ye ait hesaplamalar verilmeyecektir. Alternatif 1'in ilk yatırım maliyetine ait uzmanların nütrosifik değerlendirmeleri aşağıda gösterildiği şekilde Eş. 4.116 kullanılarak tek bir değere yığıştırılmıştır.

$$\tilde{M} = \cup_{j=1}^3 SVNUO \left(\begin{array}{l} [5.000, 6.000], \langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle \\ [5.500, 6.500], \langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle \\ [6.000, 7.000], \langle 0,3; 0,7; 0,7 \rangle \end{array} \right)$$

Diğer hesaplamalar Çizelge 4.38'te gösterilmiştir.

Bu adımdan sonra parametrelere ait nütrosifik eşdeğer maliyet, nütrosifik eşdeğer yıllık bakım, nütrosifik eşdeğer büyük bakım, nütrosifik eşdeğer faiz oranı ve nütrosifik eşdeğer kazanç eşitlikleri hesaplanmıştır.

Aşağıda Alternatif 1'e ait maliyet parametresinin nütrosifik eşdeğer maliyet hesaplaması gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} & ([T'_{15.000}, I'_{15.000}, F'_{15.000}], [T'_{16.000}, I'_{16.000}, F'_{16.000}]) \\ &= \left[\left(\frac{5.000(0,5)}{2(0,8+1)}, \frac{5.000}{2(0,8+1)}, \frac{-5.000(0,5)}{2(0,8+1)} \right), \left(\frac{6.000(0,5)}{2(0,8+1)}, \frac{6.000}{2(0,8+1)}, \frac{-6.000(0,5)}{2(0,8+1)} \right) \right] \\ & ([694, 1.389, -694], [883, 1.667, -833]) \end{aligned}$$

Sonraki adımda Alternatif 1'e ait maliyet parametresinin toplam beklenen değeri bulunur.

$$M_{TBD} = \left[\left(\frac{694 + 1.389 - 6.94 + 764 + 1.528 - 7.64 + 529 + 1.765 - 1.235}{0,5 + 0,8 + 0,5 + 0,5 + 0,8 + 0,5 + 0,3 + 0,7 + 0,7} \right), \left(\frac{883 + 1.667 - 833 + 903 + 1.806 - 903 + 618 + 2.059 - 1.441}{0,5 + 0,8 + 0,5 + 0,5 + 0,8 + 0,5 + 0,3 + 0,7 + 0,7} \right) \right]$$

$$M_{TBD} = [5.431, 6.431] TL$$

Çizelge 4.38. Alternatiflere ait yığıştirılmış olası değerler ve nörtrosofik üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Nörtrosofik üyelik derecesi	Olası değerler	Nörtrosofik üyelik derecesi
$\tilde{M}$	[5.000,6.000] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[10.000,12.600] TL	$\langle 0,2; 0,7; 0,5 \rangle$
	[5.500,6.500] TL	$\langle 0,5; 0,8; 0,5 \rangle$	[11.000,12.700] TL	$\langle 0,2; 0,7; 0,5 \rangle$
	[6.000,7.000] TL	$\langle 0,3; 0,7; 0,7 \rangle$	[12.000,13.000] TL	$\langle 0,1; 0,5; 0,8 \rangle$
$\tilde{YB}$	[200,400] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,8 \rangle$	[600,800] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	[300,500] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,8 \rangle$	[700,900] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	[400,600] TL	$\langle 0,4; 0,8; 0,9 \rangle$	[800,1.000] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$
$\tilde{BB}$	[800,1.200] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,6 \rangle$	[600,800] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,6 \rangle$
	[900,1.300] TL	$\langle 0,6; 0,5; 0,5 \rangle$	[700,900] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	[1.000,1.400] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$	[800,1.000] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_1$	[2.000,2.200] TL	$\langle 0,8; 0,2; 0,2 \rangle$	[3.000,3.300] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$
	[2.100,2.400] TL	$\langle 0,6; 0,7; 0,4 \rangle$	[3.300,3.400] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,5 \rangle$
	[2.200,2.600] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[3.300,3.500] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
$\tilde{K}_2$	[2.400,3.100] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,4 \rangle$	[3.100,3.400] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,7 \rangle$
	[2.600,3.200] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[3.200,3.600] TL	$\langle 0,6; 0,8; 0,4 \rangle$
	[2.700,3.300] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[3.300,3.800] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_3$	[3.000,3.600] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,3 \rangle$	[4.000,4.700] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
	[3.100,3.800] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	[4.200,4.900] TL	$\langle 0,5; 0,5; 0,4 \rangle$
	[3.200,3.900] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$	[4.400,5.000] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,7 \rangle$
$\tilde{K}_4$	[4.000,4.600] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,4 \rangle$	[5.100,5.900] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,5 \rangle$
	[4.100,4.700] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[5.400,6.000] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	[4.200,4.800] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[5.600,6.200] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_5$	[3.000,3.600] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,4 \rangle$	[5.400,5.600] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,3 \rangle$
	[3.200,3.700] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[5.200,5.600] TL	$\langle 0,5; 0,7; 0,4 \rangle$
	[3.400,3.800] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[5.400,5.700] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$
$\tilde{K}_6$	[3.000,3.600] TL	$\langle 0,6; 0,3; 0,4 \rangle$	[5.000,5.400] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,7 \rangle$
	[3.200,3.700] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,2 \rangle$	[5.200,5.600] TL	$\langle 0,6; 0,6; 0,6 \rangle$
	[3.400,3.800] TL	$\langle 0,3; 0,8; 0,7 \rangle$	[5.400,5.700] TL	$\langle 0,2; 0,5; 0,6 \rangle$
$\tilde{HD}$	[2.000,2.600] TL	$\langle 0,5; 0,4; 0,3 \rangle$	[6.000,6.600] TL	$\langle 0,5; 0,6; 0,4 \rangle$
	[2.100,2.700] TL	$\langle 0,4; 0,5; 0,7 \rangle$	[6.100,7.000] TL	$\langle 0,7; 0,2; 0,5 \rangle$
	[2.200,2.800] TL	$\langle 0,4; 0,6; 0,5 \rangle$	[6.200,7.200] TL	$\langle 0,6; 0,4; 0,5 \rangle$
$\tilde{i}$	% [10,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$	% [10,12]	$\langle 0,7; 0,2; 0,3 \rangle$
	% [10,50;13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$	% [10,50;13]	$\langle 0,5; 0,4; 0,4 \rangle$
	% [11;13,5]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$	% [11;13,5]	$\langle 0,4; 0,5; 0,4 \rangle$

Çizelge 4.39’da alternatiflere ait toplam beklenen değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.39. Alternatiflere ait parametrelerin toplam beklenen değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Toplam beklenen değer	Toplam beklenen değer
M_{TBD}	[5.431, 6.431] TL	[10.793, 12.718] TL
YB_{TBD}	[289, 489] TL	[681, 881] TL
BB_{TBD}	[912, 1.312] TL	[709, 909] TL
K_{1TBD}	[2.058, 2.316] TL	[3.189, 3.414] TL
K_{2TBD}	[2.526, 3.171] TL	[3.210, 3.619] TL
K_{3TBD}	[3.084, 3.739] TL	[4.168, 4.848] TL
K_{4TBD}	[4.071, 4.671] TL	[5.353, 6.018] TL
K_{5TBD}	[3.143, 3.671] TL	[5.480, 5.680] TL
K_{6TBD}	[3.214, 3.843] TL	[5.179, 5.555] TL
HD_{TBD}	[2.084, 2.684] TL	[6.104, 6.952] TL
i_{TBD}	% [10,40; 12,68]	% [10,40; 12,68]

Elde edilen toplam beklenen değerleri Eş. 4.156-4.159’da yerine koyularak alternatiflere ait kazanç maliyet analizi değerler elde edilir.

Alternatif 1’e ait kazanç maliyet analizi:

$$NKMA_{enk} = \frac{2.058(P/F, 12,68,1) + 2.526(P/F, 12,68,2) + 3.084(P/F, 12,68,3) + 4.071(P/F, 12,68,4) + 3.143(P/F, 12,68,5) + 3.214(P/F, 12,68,6)}{6.431 + 1.312(P/F, 12,68,3) + 489(P/A, 12,68,6) - 2.684(P/F, 12,68,6)}$$

$$NKMA_{enk} = \frac{1.826 + 1.990 + 2.156 + 2.525 + 1.730 + 1.570}{6.431 + 3.583 + 916 - 1.311}$$

$$NKMA_{enk} = 1,23$$

$$NKMA_{enb} = \frac{2.316(P/F, 10,40,1) + 3.171(P/F, 10,40,2) + 3.739(P/F, 10,40,3) + 4.671(P/F, 10,40,4) + 3.671(P/F, 10,40,5) + 3.843(P/F, 10,40,6)}{5.431 + 912(P/F, 10,40,3) + 289(P/A, 10,40,6) - 2.684(P/F, 10,40,6)}$$

$$NKMA_{enb} = \frac{2.097 + 2.602 + 2.778 + 3.144 + 2.238 + 2.122}{5.431 + 2.041 + 677 - 1.151}$$

$$NKMA_{enb} = 2,14$$

$$NKMA = [1,23; 2,14]$$

Alternatif 2'ye ait kazanç maliyet analizi:

$$NKMA_{enk} = \frac{3.189(P/F, \%12,68,1) + 3.210(P/F, \%12,68,2) + 4.168(P/F, \%12,68,3) + 5.353(P/F, \%12,68,4) + 5.480(P/F, \%12,68,5) + 5.179(P/F, \%12,68,6)}{12.718 + 909(P/F, 12,68,3) + 881(P/A, 12,68,6) - 6.952(P/F, 12,68,6)}$$

$$NKMA_{enk} = \frac{2.830 + 2.528 + 2.913 + 3.320 + 3.017 + 2.530}{12.718 + 881 + 909 - 3.396}$$

$$NKMA_{enk} = 1,04$$

$$NKMA_{enb} = \frac{3.414(P/F, \%10,40,1) + 3.619(P/F, \%10,40,2) + 4.848(P/F, \%10,40,3) + 6.018(P/F, \%10,40,4) + 5.680(P/F, \%10,40,5) + 5.555(P/F, \%10,40,6)}{10.793 + 709(P/F, 10,40,3) + 681(P/A, 10,40,6) - 6.104(P/F, 10,40,6)}$$

$$NKMA_{enb} = \frac{3.093 + 2.969 + 3.602 + 4.050 + 3.463 + 3.067}{5.431 + 2.041 + 677 - 3.3370}$$

$$NKMA_{enb} = 1,59$$

$$NKMA = [1,04; 1,59]$$

Alternatiflere ait kazanç maliyet analizi değerleri aralık değerli sayıların sıralanması eşitliklerine göre kıyaslandığında, Alternatif 1 daha büyük kazanç maliyet değerine sahip olmasından dolayı yatırım alternatifi olarak seçilecektir.

4.5. Yığıştirılmış Pisagor Yatırım Analiz Teknikleri

4.5.1. Yığıştirılmış Pisagor şimdiki değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirılmış Pisagor şimdiki değer analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler PŞD olarak gösterilmiştir ve şu şekildedir:

$$P\text{ŞD} = M + YB(P/A, i, n) + BB(P/F, i, t) - HD(P/F, i, n) \quad (4.160)$$

$$P\text{ŞD} = M + YB\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right) + BB(1+i)^{-t} - HD(1+i)^{-n} \quad (4.161)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri Pisagor sayılar ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: İlk maliyet ($\tilde{M}$), yıllık bakım ($\tilde{YB}$), büyük bakım ($\tilde{BB}$), hurda değeri ($\tilde{HD}$), faiz oranı ($\tilde{i}$), ekonomik ömür ($\tilde{n}$), büyük bakım zamanı (t). Büyük bakım, projenin ekonomik ömrü boyunca sadece bir kez gerçekleştirildiğinden büyük bakım zamanı (t) pozitif sayıyla temsil edilmiştir.

Önerilen PŞD eşitliğinde m adet uzman yatırım parametreleri üzerinde tahminde bulunabilecektir. Bu durumda parametrelerin matris formatındaki gösterimi şu şekildedir:

$$\tilde{M} = \left\{ \begin{array}{l} (M_1, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m)), \\ (M_2, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m)), \\ \dots, \\ (M_k, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m)), \end{array} \right\} \quad (4.162)$$

$$\tilde{YB} = \left\{ \begin{array}{l} (YB_1, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m)), \\ (YB_2, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m)), \\ \dots, \\ (YB_k, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m)), \end{array} \right\} \quad (4.163)$$

$$\widetilde{BB} = \left\{ \begin{array}{l} BB_1, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ BB_2, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ BB_k, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.164)$$

$$\widetilde{HD} = \left\{ \begin{array}{l} HM_1, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ HM_2, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ HM_k, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.165)$$

$$\tilde{i} = \left\{ \begin{array}{l} i_1, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ i_2, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ i_k, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.166)$$

$$\tilde{n} = \left\{ \begin{array}{l} n_1, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ n_2, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ n_k, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.167)$$

m adet uzmanın değerlendirmesi Pisagor ağırlıklı aritmetik ortalama yığılma operatörü ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülür:

$$\tilde{M} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\begin{array}{l} M_j, (\mu_1, v_1), \\ \dots, (\mu_m, v_m) \end{array} \right) \quad (4.168)$$

$$\widetilde{BB} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\begin{array}{l} BB_j, (\mu_1, v_1), \\ \dots, (\mu_m, v_m) \end{array} \right) \quad (4.169)$$

$$\widetilde{YB} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\begin{array}{l} YB_j, (\mu_1, v_1), \\ \dots, (\mu_m, v_m) \end{array} \right) \quad (4.170)$$

$$\widetilde{HD} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\begin{array}{l} HD_j, (\mu_1, v_1), \\ \dots, (\mu_m, v_m) \end{array} \right) \quad (4.171)$$

$$\tilde{t} = \cup_{j=1}^k F_w \left(i_j, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m) \right) \quad (4.172)$$

$$\tilde{n} = \cup_{j=1}^k F_w \left(n_j, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m) \right) \quad (4.173)$$

Durulaştırma operatörü kullanarak, Pisagor üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına aşağıdaki eşitliklerle dönüştürülür:

$$\tilde{M} \cup_{j=1}^k \left(M_j, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m) \right) = \mu_{M_j} \quad (4.174)$$

$$(\mu_{M_{j\mu}}, \mu_{M_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$\widetilde{BB} \cup_{j=1}^k \left(BB_j, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m) \right) = \mu_{BB_j} \quad (4.175)$$

$$(\mu_{BB_{j\mu}}, \mu_{BB_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$\widetilde{YB} \cup_{j=1}^k \left(YB_j, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m) \right) = \mu_{YB_j} \quad (4.176)$$

$$(\mu_{YB_{j\mu}}, \mu_{YB_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$\widetilde{HD} \cup_{j=1}^k \left(HD_j, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m) \right) = \mu_{HD_j} \quad (4.177)$$

$$(\mu_{HD_{j\mu}}, \mu_{HD_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$\tilde{i} \cup_{j=1}^k \left(i_j, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m) \right) = \mu_{i_j} \quad (4.178)$$

$$(\mu_{i_{j\mu}}, \mu_{i_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$\tilde{n} \cup_{j=1}^k \left(n_j, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m) \right) = \mu_{n_j} \quad (4.179)$$

$$(\mu_{n_{j\mu}}, \mu_{n_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$(\mu_{M_{j\mu}}, \mu_{M_{jv}}), (\mu_{BB_{j\mu}}, \mu_{BB_{jv}}), (\mu_{YB_{j\mu}}, \mu_{YB_{jv}}), (\mu_{HD_{j\mu}}, \mu_{HD_{jv}}), (\mu_{i_{j\mu}}, \mu_{i_{jv}}), (\mu_{n_{j\mu}}, \mu_{n_{jv}})$$

değerlerine ait durulaştırılmış değerler aşağıdaki Nayagam ve Sivaraman (2011) tarafından geliştirilmiş eşitlikle hesaplanır.

$$D_{(\mu_X)} = \frac{\mu_{X\mu}^2(1-\gamma) + \gamma(1-\mu_{Xv}^2)}{2} \quad (4.180)$$

Bu eşitlikte γ değeri uzmanlar tarafından atanan ağırlık olarak tanımlanmıştır. Bu değer yatırım analizi tekniklerinde 0,5 olarak kullanılacaktır.

Yukarıdaki eşitliklerin uygulanması sonucunda parametrelere ait olası değerler ve bunlara ait durulaştırılmış üyelik dereceleri elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra, Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak parametrelere ait net değerler elde edilir.

Bütün parametrelere ait net değerler bulunmasından sonra, bu net değerler yığıştırılmış Pisagor şimdiki değer analizi eşitliğinde (Eş. 4.160 veya Eş. 4.161) yerine koyularak şimdiki değer analizi gerçekleştirilir.

Örnek 15: Çizelge 4.40 ve Çizelge 4.41’de iki ayrı alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan Pisagor üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Yığıştirilmiş Pisagor şimdiki değer analizi metodu yöntemine göre alternatifleri değerlendiriniz.

Çizelge 4.40. Alternatif 1’ e ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri

	Alternatif 1			
Parametreler	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	12.000 TL	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,4; 0,2)
	14.000 TL	(0,4; 0,2)	(0,3; 0,1)	(0,5; 0,5)
	16.000 TL	(0,7; 0,1)	(0,5; 0,2)	(0,8; 0,3)
$\tilde{YB}$	1.000 TL	(0,9; 0,1)	(0,8; 0,2)	(0,8; 0,2)
	1.100 TL	(0,6; 0,2)	(0,5; 0,2)	(0,4; 0,2)
	1.200 TL	(0,2; 0,7)	(0,3; 0,4)	(0,5; 0,7)
$\tilde{BB}$	2.000 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,4)	(0,5; 0,5)
	2.200 TL	(0,9; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,3)
	2.400 TL	(0,5; 0,3)	(0,5; 0,6)	(0,4; 0,4)
$\tilde{HD}$	1.100 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)
	1.200 TL	(0,5; 0,5)	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,6)
	1.300 TL	(0,6; 0,4)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,3)
$\tilde{i}$	%12	(0,3; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,5; 0,7)
	%13	(0,8; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,4)
	%14	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,8)	(0,6; 0,8)
$\tilde{n}$	5 yıl	(0,4; 0,8)	(0,4; 0,7)	(0,5; 0,7)
	6 yıl	(0,7; 0,5)	(0,8; 0,4)	(0,7; 0,2)
	7 yıl	(0,4; 0,7)	(0,2; 0,6)	(0,4; 0,7)

Çizelge 4.41. Alternatif 2’ye ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri

	Alternatif 2			
Parametreler	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	15.000 TL	(0,5; 0,5)	(0,2; 0,8)	(0,5; 0,2)
	17.000 TL	(0,4; 0,6)	(0,5; 0,1)	(0,4; 0,5)
	19.000 TL	(0,7; 0,3)	(0,5; 0,8)	(0,5; 0,3)
$\tilde{YB}$	1.500 TL	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,7)	(0,6; 0,2)
	1.700 TL	(0,7; 0,4)	(0,4; 0,7)	(0,5; 0,2)
	1.900 TL	(0,2; 0,7)	(0,3; 0,4)	(0,5; 0,7)
$\tilde{BB}$	700 TL	(0,2; 0,8)	(0,2; 0,7)	(0,4; 0,5)
	800 TL	(0,6; 0,4)	(0,6; 0,5)	(0,7; 0,3)
	900 TL	(0,8; 0,2)	(0,4; 0,4)	(0,6; 0,4)
$\tilde{HD}$	3.000 TL	(0,5; 0,5)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,5)
	3.100 TL	(0,2; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,6)
	3.200 TL	(0,7; 0,1)	(0,4; 0,6)	(0,5; 0,3)
$\tilde{i}$	%12	(0,3; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,5; 0,7)
	%13	(0,8; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,4)
	%14	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,8)	(0,6; 0,8)
$\tilde{n}$	5 yıl	(0,4; 0,8)	(0,4; 0,7)	(0,5; 0,7)
	6 yıl	(0,7; 0,5)	(0,8; 0,4)	(0,7; 0,2)
	7 yıl	(0,4; 0,7)	(0,2; 0,6)	(0,4; 0,7)

Alternatiflerin değerlendirilmesinde ilk olarak 3 farklı uzmanın olası değerlere atanmış olduğu üyelik dereceleri Pisagor yığılma operatörü kullanılarak tek bir değere yığılıtırılır. Alternatif 1'in ilk maliyet parametresine (12.000 TL) ait yığılıtırılmış Pisagor değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$PFWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left(\sum_{i=1}^n w_i \mu_{\hat{A}_i}(x), \sum_{i=1}^n w_i v_{\hat{A}_i}(x) \right)$$

$$\begin{aligned} PFWA((0,5; 0,4), (0,4; 0,5), (0,4; 0,2)) &= \\ ((0,4 \times 0,5 + 0,3 \times 0,4 + 0,3 \times 0,4), (0,4 \times 0,4 + 0,3 \times 0,5 + 0,3 \times 0,2)) &= \\ = (0,44; 0,37) \end{aligned}$$

Çizelge 4.42'de Alternatif 1 ve Alternatif 2'ye ait yığılıtırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.42. Parametrelere ait olası değerler ve yığılıtırılmış üyelik dereceleri

	Alternatif 1		Alternatif 2	
Parametreler	Olası değerler	Yığılıtırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Yığılıtırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	(0,44; 0,37)	15.000 TL	(0,41; 0,50)
	14.000 TL	(0,40; 0,26)	17.000 TL	(0,43; 0,42)
	16.000 TL	(0,67; 0,19)	19.000 TL	(0,58; 0,45)
$\tilde{YB}$	1.000 TL	(0,84; 0,16)	1.500 TL	(0,50; 0,43)
	1.100 TL	(0,51; 0,20)	1.700 TL	(0,55; 0,43)
	1.200 TL	(0,32; 0,61)	1.900 TL	(0,32; 0,61)
$\tilde{BB}$	2.000 TL	(0,54; 0,43)	700 TL	(0,26; 0,68)
	2.200 TL	(0,78; 0,30)	800 TL	(0,63; 0,40)
	2.400 TL	(0,47; 0,42)	900 TL	(0,62; 0,32)
$\tilde{HD}$	1.100 TL	(0,54; 0,46)	3.000 TL	(0,62; 0,44)
	1.200 TL	(0,44; 0,56)	3.100 TL	(0,38; 0,53)
	1.300 TL	(0,66; 0,34)	3.200 TL	(0,55; 0,31)
$\tilde{i}$	%12	(0,39; 0,52)	%12	(0,39; 0,55)
	%13	(0,74; 0,33)	%13	(0,80; 0,27)
	%14	(0,46; 0,72)	%14	(0,37; 0,75)
$\tilde{n}$	5 yıl	(0,43; 0,74)	5 yıl	(0,40; 0,74)
	6 yıl	(0,73; 0,38)	6 yıl	(0,76; 0,29)
	7 yıl	(0,34; 0,67)	7 yıl	(0,31; 0,76)

Durulaştırma operatörü kullanarak, Pisagor üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmesi ilk maliyet parametresi için şu şekilde hesaplanmıştır:

$$D_{\tilde{M}_{12,000}} = \frac{0,44^2(1 - 0,5) + 0,5(1 - 0,37^2)}{2} = 0,528$$

Çizelge 4.43'te parametreler ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.43. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış edilmiş üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	0,528	15.000 TL	0,459
	14.000 TL	0,546	17.000 TL	0,504
	16.000 TL	0,706	19.000 TL	0,567
$\tilde{YB}$	1.000 TL	0,840	1.500 TL	0,533
	1.100 TL	0,610	1.700 TL	0,559
	1.200 TL	0,365	1.900 TL	0,365
$\tilde{BB}$	2.000 TL	0,553	700 TL	0,303
	2.200 TL	0,759	800 TL	0,618
	2.400 TL	0,522	900 TL	0,641
$\tilde{HD}$	1.100 TL	0,540	3.000 TL	0,595
	1.200 TL	0,440	3.100 TL	0,432
	1.300 TL	0,660	3.200 TL	0,603
$\tilde{i}$	%12	0,441	%12	0,441
	%13	0,719	%13	0,719
	%14	0,347	%14	0,347
$\tilde{n}$	5 yıl	0,319	5 yıl	0,319
	6 yıl	0,694	6 yıl	0,694
	7 yıl	0,333	7 yıl	0,333

Parametrelere ait net değerlerin bulunması amacıyla Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak gerekli hesaplamalar yapılır. İlk maliyet parametresine ait net değer aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$COG_{\tilde{M}} = \frac{(12.000 \times 0,528) + (14.000 \times 0,546) + (16.000 \times 0,706)}{0,528 + 0,546 + 0,464}$$

$$COG_{\tilde{M}} = 14.199,95 \text{ TL}$$

Çizelge 4.44'te alternatiflere ait net değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.44. Alternatiflere ait net değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Net değerler	Net değerler
<i>M</i>	14.199,95 TL	17.141,02 TL
<i>YB</i>	1.073,84 TL	1.677,01 TL
<i>BB</i>	2.196,61 TL	821,66 TL
<i>HD</i>	1.207,32 TL	3.100,48 TL
<i>i</i>	%12,93	%12,93
<i>n</i>	6,01 yıl	6,01 yıl

Son adımda hesaplanan net değerler, Eş. 4.160 veya Eş. 4.161'de yerine koyularak yığıştirilmiş Pisagor şimdiki değer hesaplamaları tamamlanır.

Alternatife 1'e ait yığıştirilmiş Pisagor şimdiki değer hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

$$P\dot{S}D = 14.199,95 + 1.073,84\%(P/A, 12,93; 6,01) + 2.196,61(P/F, \%12,93; 3) - 1.207,32(P/F, \%12,93; 6,01)$$

$$P\dot{S}D = 19.449,32 \text{ TL}$$

Alternatife 2'ye ait Pisagor şimdiki değer hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

$$P\dot{S}D = 17.141,02 + 1.677,01(P/A, \%12,93; 6,01) + 821,66(P/F, \%12,93; 3) - 3.100,48(P/F, \%12,93; 6,01)$$

$$P\dot{S}D = 22.943,17 \text{ TL}$$

Alternatifler hesaplanan Pisagor şimdiki değer hesaplama sonuçlarına göre karşılaştırıldığında, Alternatif 1'e ait Pisagor şimdiki değer daha küçük olması nedeniyle yatırım alternatifi olarak seçilecektir.

4.5.2. Yığıştirılmış Pisagor gelecek değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirılmış Pisagor gelecek değer analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$PGD = M(F/P, i, n) + YB(F/A, i, n) + BB(P/F, i, t)(F/P, i, n) - HD \quad (4.181)$$

$$PGD = M(1 + i)^n + YB\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right) + BB(1 + i)^{-t}(1 + i)^n - HD \quad (4.182)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri Pisagor kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: İlk maliyet ($\tilde{M}$), yıllık bakım $\tilde{YB}$, büyük bakım ($\tilde{BB}$, hurda değeri $\tilde{HD}$, faiz oranı $\tilde{i}$, ekonomik ömür $\tilde{n}$, büyük bakım zamanı (t). Büyük bakım, projenin ekonomik ömrü boyunca sadece bir kez gerçekleştirildiğinden büyük bakım zamanı (t) pozitif sayıyla temsil edilmiştir.

Pisagor gelecek değer hesaplaması yapılırken, alternatiflerin Pisagor şimdiki değer hesaplamalarında kullanılan net değer hesaplamasına kadar olan kısım bu bölümde de kullanılacaktır. Daha sonra hesaplanan net değerler Eş. 4.181 veya 4.182’de yerine koyularak Pisagor gelecek değer hesaplamaları gerçekleştirilir.

Örnek 16: Örnek 15’teki verileri kullanarak alternatiflere ait yığıştirılmış Pisagor gelecek değerlerini hesaplanarak, alternatifler değerlendirilecektir.

Alternatif 1’e ait Pisagor gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$PGD = 14.199,95(F/P, \%12,93; 6,01) + 1.073,84(F/A, \%12,93; 6,01) + 2.196,61(P/F, \%12,93; 3)(F/P, \%12,93; 6,01) - 1.207,32$$

$$PGD = 40.411,89 TL$$

Alternatif 2'ye ait Pisagor gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$PGD = 17.141,02(F/P, \%12,93; 6,01) + 1.677,01(F/A, \%12,93; 6,01) \\ + 821,66(P/F, \%12,93; 3)(F/P, \%12,93; 6,01) - 3.100,48$$

$$PGD = 47.671,43 TL$$

Alternatif 1'e ait gelecek değer daha küçük bir değer olması nedeniyle Alternatif 1 yatırım alternatifi olarak seçilen alternatif olacaktır.

4.6.3. Yığıştirılmış Pisagor geri ödeme süresi analizi

Çalışmanın bu bölümünde Pisagor geri ödeme süresi analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$\sum_{t=1}^{T_j} K_{jt} \left(\frac{P}{F}, i, n \right) \geq M_j \quad (4.183)$$

$$\sum_{t=1}^{T_j} K_{jt} (1 + i)^{-t} \geq M_j \quad (4.184)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri Pisagor kümeler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: Yatırıma ait ilk maliyet $\tilde{M}$, $\tilde{K}_{jt}$ n dönemde elde edilen net kazancı ifade etmektedir. Paranın zaman değeri göz önüne alındığında Eş. 4.183'i sağlayan en küçük T_j değeri, j yatırımı için geri dönüş süresini vermektedir. Bu eşitlikte n süresi net değer olarak bilinmek durumundadır.

Önerilen Pisagor geri ödeme süresi eşitliğinde m adet uzman yatırım parametreleri üzerinde tahminde bulunabilecektir. Bu durumda parametlerin matris formatındaki gösterimi yığıştirılmış Pisagor şimdiki değer analizinde olduğu gibidir, yıllık kazanç parametresine ait gösterim ise şu şekildedir:

$$\tilde{K} = \left\{ \begin{array}{l} K_1, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ K_2, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ K_k, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.185)$$

Parametreleri kullanarak Pisagor geri ödeme analizi şu şekilde hesaplanır:

m adet uzmanın değerlendirmesi Pisagor ağırlıklı aritmetik ortalama yığılma operatörü ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülür. Yıllık kazanç parametresine ait eşitlik şu şekilde geliştirilmiştir:

$$\tilde{K} \cup_{j=1}^k \left(K_j, (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m) \right) = \mu_{k_j} \quad (4.186)$$

$$(\mu_{K_{j\mu}}, \mu_{K_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$(\mu_{M_{j\mu}}, \mu_{M_{jv}}), (\mu_{K_{j\mu}}, \mu_{K_{jv}}), (\mu_{i_{j\mu}}, \mu_{i_{jv}})$ değerlerine ait durulaştırılmış değerler aşağıdaki Nayagam ve Sivaraman (2011) tarafından geliştirilmiş eşitlikle hesaplanır.

Bu işlemten sonra Bai ve Wang (2006) tarafından önerilen ağırlık merkezi yöntemi kullanarak parametrelere ait net değerler elde edilir ve net değerler Eş. 4.183'te yerine koyularak geri ödeme analizi gerçekleştirilir.

Örnek 17: Çizelge 4.45 ve Çizelge 4.46'da iki ayrı alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan Pisagor üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanın tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Alternatiflerin ekonomik ömrü bu problemde net değer olarak ele alınmış olup 5 yıldır. Yığılştırılmış Pisagor geri ödeme analizi metodu yöntemine göre alternatifler değerlendirilecektir.

Çizelge 4.45. Alternatif 1'e ait olası değerler ve Pisagor üyelik derecesi değerleri

	Alternatif 1			
Parametreler	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	12.000 TL	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,4; 0,2)
	14.000 TL	(0,4; 0,2)	(0,3; 0,1)	(0,5; 0,5)
	16.000 TL	(0,7; 0,1)	(0,5; 0,2)	(0,8; 0,3)
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	(0,9; 0,1)	(0,8; 0,2)	(0,8; 0,2)
	4.000 TL	(0,6; 0,2)	(0,5; 0,2)	(0,4; 0,2)
	4.500 TL	(0,2; 0,7)	(0,3; 0,4)	(0,5; 0,7)
$\tilde{K}_{j2}$	5.000 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,4)	(0,5; 0,5)
	6.000 TL	(0,9; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,3)
	7.000 TL	(0,5; 0,3)	(0,5; 0,6)	(0,4; 0,4)
$\tilde{K}_{j3}$	5.000 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)
	6.000 TL	(0,5; 0,5)	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,6)
	7.000 TL	(0,6; 0,4)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,3)
$\tilde{K}_{j4}$	5.500 TL	(0,3; 0,6)	(0,6; 0,2)	(0,5; 0,8)
	6.500 TL	(0,4; 0,2)	(0,6; 0,4)	(0,7; 0,2)
	7.000 TL	(0,4; 0,3)	(0,9; 0,4)	(0,6; 0,3)
$\tilde{K}_{j5}$	7000 TL	(0,5; 0,4)	(0,6; 0,4)	(0,8; 0,2)
	8.000 TL	(0,8; 0,6)	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,4)
	9.000 TL	(0,7; 0,4)	(0,8; 0,3)	(0,8; 0,2)
$\tilde{t}$	%12	(0,3; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,5; 0,7)
	%13	(0,8; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,4)
	%14	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,8)	(0,6; 0,8)

Çizelge 4.46. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve Pisagor üyelik derecesi değerleri

	Alternatif 2			
Parametreler	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	15.000 TL	(0,5; 0,5)	(0,2; 0,8)	(0,5; 0,2)
	17.000 TL	(0,4; 0,6)	(0,5; 0,1)	(0,4; 0,5)
	19.000 TL	(0,7; 0,3)	(0,5; 0,8)	(0,5; 0,3)
$\tilde{K}_{j1}$	5.000 TL	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,7)	(0,6; 0,2)
	6.000 TL	(0,7; 0,4)	(0,4; 0,7)	(0,5; 0,2)
	7.000 TL	(0,2; 0,7)	(0,3; 0,4)	(0,5; 0,7)
$\tilde{K}_{j2}$	5.000 TL	(0,2; 0,8)	(0,2; 0,7)	(0,4; 0,5)
	6.000 TL	(0,6; 0,4)	(0,6; 0,5)	(0,7; 0,3)
	7.000 TL	(0,8; 0,2)	(0,4; 0,4)	(0,6; 0,4)
$\tilde{K}_{j3}$	4.000 TL	(0,5; 0,5)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,5)
	5.000 TL	(0,2; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,6)
	6.000 TL	(0,7; 0,1)	(0,4; 0,6)	(0,5; 0,3)
$\tilde{K}_{j4}$	8.000 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,6)	(0,7; 0,6)
	9.000 TL	(0,3; 0,7)	(0,6; 0,6)	(0,4; 0,5)
	10.000 TL	(0,5; 0,7)	(0,5; 0,4)	(0,6; 0,2)
$\tilde{K}_{j5}$	8.500 TL	(0,9; 0,4)	(0,5; 0,6)	(0,5; 0,4)
	9.000 TL	(0,5; 0,3)	(0,4; 0,1)	(0,6; 0,6)
	9.500 TL	(0,2; 0,6)	(0,4; 0,8)	(0,6; 0,5)
$\tilde{t}$	%12	(0,3; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,5; 0,7)
	%13	(0,8; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,4)
	%14	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,8)	(0,6; 0,8)

Alternatiflerin değerlendirilmesinde ilk olarak 3 farklı uzmanın olası değerlere atanmış olduğu üyelik dereceleri Pisagor yığılma operatörü kullanarak tek bir değere yığılıtırılır. Alternatif 1'in ilk dönem elde edilen net kazancı parametresine (3.500 TL) ait yığılıtırılmış tek değerli Pisagor değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$PFWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left(\sum_{i=1}^n w_i \mu_{\hat{A}_i}(x), \sum_{i=1}^n w_i \nu_{\hat{A}_i}(x) \right)$$

$$PFWA((0,9; 0,1), (0,8; 0,2), (0,8; 0,2))=$$

$$((0,4 \times 0,9 + 0,3 \times 0,8 + 0,3 \times 0,8), (0,4 \times 0,1 + 0,3 \times 0,2 + 0,3 \times 0,2))$$

$$= (0,84; 0,16)$$

Çizelge 4.47'de alternatiflere ait yığılıtırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.47. Parametrelere ait olası değerler ve yığılıtırılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Yığılıtırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Yığılıtırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	(0,44; 0,37)	15.000 TL	(0,41; 0,50)
	14.000 TL	(0,40; 0,26)	17.000 TL	(0,43; 0,42)
	16.000 TL	(0,67; 0,19)	19.000 TL	(0,58; 0,45)
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	(0,84; 0,16)	5.000 TL	(0,50; 0,43)
	4.000 TL	(0,51; 0,20)	6.000 TL	(0,55; 0,43)
	4.500 TL	(0,32; 0,61)	7.000 TL	(0,32; 0,61)
$\tilde{K}_{j2}$	5.000 TL	(0,54; 0,43)	5.000 TL	(0,26; 0,68)
	6.000 TL	(0,78; 0,30)	6.000 TL	(0,63; 0,40)
	7.000 TL	(0,47; 0,42)	7.000 TL	(0,62; 0,32)
$\tilde{K}_{j3}$	5.000 TL	(0,54; 0,46)	4.000 TL	(0,53; 0,50)
	6.000 TL	(0,44; 0,56)	5.000 TL	(0,35; 0,56)
	7.000 TL	(0,66; 0,34)	6.000 TL	(0,67; 0,22)
$\tilde{K}_{j4}$	5.500 TL	(0,45; 0,54)	8.000 TL	(0,60; 0,52)
	6.500 TL	(0,55; 0,26)	9.000 TL	(0,42; 0,61)
	7.000 TL	(0,61; 0,34)	10.000 TL	(0,53; 0,46)
$\tilde{K}_{j5}$	7.000 TL	(0,62; 0,34)	8.500 TL	(0,66; 0,46)
	8.000 TL	(0,59; 0,48)	9.000 TL	(0,50; 0,33)
	9.000 TL	(0,76; 0,31)	9.500 TL	(0,38; 0,63)
$\tilde{i}$	%12	(0,39; 0,52)	%12	(0,39; 0,52)
	%13	(0,74; 0,33)	%13	(0,74; 0,33)
	%14	(0,46; 0,72)	%14	(0,46; 0,72)

Durulaştırma operatörü kullanarak, Pisagor üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürölmesi ilk dönem elde edilen net kazancı parametresine parametresi şu şekilde hesaplanmıştır.

$$D_{\tilde{K}_{13.500}} = \frac{0,84^2(1 - 0,5) + 0,5(1 - 0,16^2)}{2} = 0,528$$

$$D_{\tilde{K}_{13.500}} = 0,840$$

Çizelge 4.48’de parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.48. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	0,528	15.000 TL	0,459
	14.000 TL	0,546	17.000 TL	0,504
	16.000 TL	0,706	19.000 TL	0,567
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	0,840	5.000 TL	0,533
	4.000 TL	0,610	6.000 TL	0,559
	4.500 TL	0,365	7.000 TL	0,365
$\tilde{K}_{j2}$	5.000 TL	0,553	5.000 TL	0,303
	6.000 TL	0,759	6.000 TL	0,618
	7.000 TL	0,522	7.000 TL	0,641
$\tilde{K}_{j3}$	5.000 TL	0,540	4.000 TL	0,515
	6.000 TL	0,440	5.000 TL	0,404
	7.000 TL	0,660	6.000 TL	0,700
$\tilde{K}_{j4}$	5.500 TL	0,455	8.000 TL	0,545
	6.500 TL	0,617	9.000 TL	0,402
	7.000 TL	0,632	10.000 TL	0,535
$\tilde{K}_{j5}$	7.000 TL	0,634	8.500 TL	0,612
	8.000 TL	0,559	9.000 TL	0,571
	9.000 TL	0,741	9.500 TL	0,374
$\tilde{t}$	%12	0,441	%12	0,441
	%13	0,719	%13	0,719
	%14	0,347	%14	0,347

Parametrelere ait net değerlerin bulunması amacıyla Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak gerekli hesaplamalar yapılır. Alternatif 1’in ilk dönem elde edilen net kazancı parametresine ait net değer aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$COG_{\tilde{K}_1} = \frac{(3.500 \times 0,840) + (4.000 \times 0,610) + (4.500 \times 0,365)}{0,840 + 0,610 + 0,365}$$

$$COG_{\tilde{K}_1} = 3.869,20 \text{ TL}$$

Çizelge 4.49’da alternatiflere ait net değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.49. Alternatiflere ait net değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Net değerler	Net değerler
M	14.199,95 TL	17.141,02 TL
K_{j1}	3.869,20 TL	5.885,07 TL
K_{j2}	5.983,05 TL	6.216,64 TL
K_{j3}	6.073,17 TL	5.114,06 TL
K_{j4}	6.418,07 TL	4.993,15 TL
K_{j5}	8.054,99 TL	8.923,46 TL
i	%12,93	%12,93

Son adımda hesaplanan net değerler Eş. 4.183’te de yerine koyularak bu denklemi sağlayan en küçük T_j değeri, j yatırımı için geri dönüş süresini vermektedir. Alternatif 1 için Eş. 4.183 şu şekildedir:

$$\sum_{t=1}^{T_j} \tilde{K}_{jt} \left(\frac{P}{F}, 12,93, t \right) \geq 14.199,95$$

Yukarıdaki eşitliğe göre paranın zaman değeri göz önüne alınarak hesaplanan geri ödeme süresi Çizelge 4.50’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.50. Alternatif 1’e ait geri ödeme süresi çizelgesi

Yıllar	Net kazançlar	Net kazançların şimdiki değeri	Net kazançların kümülatif toplamı
0	- 14.199,95 TL	- 14.199,95 TL	- 14.199,95 TL
1	+ 3.869,20 TL	+ 3.425,97 TL	- 10.773,96 TL
2	+ 5.983,05 TL	+ 4.690,80 TL	- 6.083,12 TL
3	+ 6.073,17 TL	+ 4.216,01 TL	-1.867,17 TL
4	+ 6.418,07 TL	+ 3.945,05 TL	+2.077,88 TL
5	+ 8.054,99 TL	+ 4.384,05 TL	+6.461,92 TL

Çizelge 4.50 incelendiğinde Alternatif 1'e ait net kazançların kümülatif toplamı, kullanım ömrü olan 5 yıl içerisinde 4'üncü yılda pozitif değere geçmiştir. Alternatif 2'ye ait geri ödeme süresi aşağıdaki Çizelge 4.51'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.51. Alternatif 2'ye ait geri ödeme süresi çizelgesi

Yıllar	Net kazançlar	Net kazançların şimdiki değeri	Net kazançların kümülatif toplamı
0	- 17.141,02 TL	- 17.141,02 TL	- 17.141,02 TL
1	+ 5.885,07 TL	+ 5.210,91 TL	- 11.930,11 TL
2	+ 6.216,64 TL	+ 4.873,93 TL	-7.056,18 TL
3	+ 5.114,06 TL	+ 3.550,19 TL	- 3.505,99 TL
4	+ 4.993,715 TL	+ 3.069,18 TL	- 436,80 TL
5	+ 8.923,46 TL	+ 4.856,72 TL	+4.419,92 TL

Çizelge 4.51 incelendiğinde Alternatif 2'ye ait net kazançların kümülatif toplamı, kullanım ömrü olan 5 yıl içerisinde 5'inci yıl pozitif değere geçebilmiştir. Bu nedenle ilk yatırım daha kârlı bir yatırım olarak ön plana çıkmaktadır.

4.5.4. Yığıştirilmiş Pisagor kazanç maliyet analizi

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirilmiş Pisagor kazanç maliyet analizi (PKMA) eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$PKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{jn}(P/F, i, n)}{M + BB(P/F, i, t) + YB(P/A, i, n) - HD(P/F, i, n)} \quad n=1, \dots, k \quad (4.187)$$

$$PKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{jn}(1+i)^{-n}}{M + BB(1+i)^{-t} + YB\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right) - HD(1+i)^{-n}} \quad n=1, \dots, k \quad (4.188)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri Pisagor kümeler ile temsil edilmiştir ve daha önceki eşitliklerde kullanılan parametreler kullanılmıştır.

Önerilen bu eşitlikte net değerlerin elde edilmesi, daha önceki Pisagor şimdiki değer analizi ve Pisagor geri ödeme süresi analizindeki açıklanan adımlar bu eşitlikte de geçerlidir. Parametrelerin net değerlerin elde edilmesine müteakip Eş. 4.187'de yerine koyularak PKMA hesaplanır. Hesaplanan PKMA değerinin 1'den büyük olması durumunda proje kârlı bir projedir, bu değer 1'den büyük olması durumunda proje kâr getirmeyen projedir.

Birden fazla alternatifin kıyaslanmasında ise, alternatiflerin PKMA değerlerinin her ikisinin de 1'den büyük olması durumunda PKMA değeri daha büyük olan alternatif yatırım alternatifi olarak seçilir.

Örnek 18: Çizelge 4.52 ve Çizelge 4.53'te iki ayrı alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan Pisagor üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir; 0,4; 0,3; 0,3. Alternatiflerin ekonomik ömrü bu problemde net değer olarak ele alınmış olup bu değer 5 yıldır. Pisagor kazanç maliyet analizi metodu yöntemine göre alternatifler değerlendirilecektir.

Çizelge 4.52. Alternatif 1'e ait olası değerler ve Pisagor üyelik derecesi değerleri

	Alternatif 1			
Parametreler	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	8.000 TL	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,5; 0,4)
	9.000 TL	(0,4; 0,2)	(0,3; 0,1)	(0,4; 0,2)
	10.000 TL	(0,7; 0,1)	(0,5; 0,2)	(0,7; 0,1)
$\tilde{YB}$	1.000 TL	(0,9; 0,1)	(0,8; 0,2)	(0,9; 0,1)
	1.100 TL	(0,6; 0,2)	(0,5; 0,2)	(0,6; 0,2)
	1.200 TL	(0,2; 0,7)	(0,3; 0,4)	(0,2; 0,7)
$\tilde{BB}$	2.000 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,4)	(0,6; 0,4)
	2.200 TL	(0,9; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,9; 0,3)
	2.400 TL	(0,5; 0,3)	(0,5; 0,6)	(0,5; 0,3)
$\tilde{HD}$	1.100 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,5)	(0,6; 0,4)
	1.200 TL	(0,5; 0,5)	(0,4; 0,6)	(0,5; 0,5)
	1.300 TL	(0,6; 0,4)	(0,7; 0,3)	(0,6; 0,4)
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	(0,9; 0,1)	(0,8; 0,2)	(0,8; 0,2)
	4.000 TL	(0,6; 0,2)	(0,5; 0,2)	(0,4; 0,2)
	4.500 TL	(0,2; 0,7)	(0,3; 0,4)	(0,5; 0,7)
$\tilde{K}_{j2}$	3.000 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,4)	(0,5; 0,5)
	3.500 TL	(0,9; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,3)
	4.000 TL	(0,5; 0,3)	(0,5; 0,6)	(0,4; 0,4)
$\tilde{K}_{j3}$	3.100 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)
	3.200 TL	(0,5; 0,5)	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,6)
	3.300 TL	(0,6; 0,4)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,3)
$\tilde{K}_{j4}$	3.400 TL	(0,3; 0,6)	(0,6; 0,2)	(0,5; 0,8)
	3.500 TL	(0,4; 0,2)	(0,6; 0,4)	(0,7; 0,2)
	3.600 TL	(0,4; 0,3)	(0,9; 0,4)	(0,6; 0,3)
$\tilde{K}_{j5}$	3.900 TL	(0,5; 0,4)	(0,6; 0,4)	(0,8; 0,2)
	4.000 TL	(0,8; 0,6)	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,4)
	4.100 TL	(0,7; 0,4)	(0,8; 0,3)	(0,8; 0,2)
$\tilde{t}$	%12	(0,3; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,5; 0,7)
	%13	(0,8; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,4)
	%14	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,8)	(0,6; 0,8)
n	5 yıl			

Çizelge 4.53. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve Pisagor üyelik derecesi değerleri

Parametreler	Alternatif 2			
	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	10.000 TL	(0,5; 0,5)	(0,2; 0,8)	(0,5; 0,2)
	11.000 TL	(0,4; 0,6)	(0,5; 0,1)	(0,4; 0,5)
	12.000 TL	(0,7; 0,3)	(0,5; 0,8)	(0,5; 0,3)
$\tilde{YB}$	1.500 TL	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,7)	(0,6; 0,2)
	1.700 TL	(0,7; 0,4)	(0,4; 0,7)	(0,5; 0,2)
	1.900 TL	(0,2; 0,7)	(0,3; 0,4)	(0,5; 0,7)
$\tilde{BB}$	700 TL	(0,2; 0,8)	(0,2; 0,7)	(0,4; 0,5)
	800 TL	(0,6; 0,4)	(0,6; 0,5)	(0,7; 0,3)
	900 TL	(0,8; 0,2)	(0,4; 0,4)	(0,6; 0,4)
$\tilde{HD}$	3.000 TL	(0,5; 0,5)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,5)
	3.100 TL	(0,2; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,6)
	3.200 TL	(0,7; 0,1)	(0,4; 0,6)	(0,5; 0,3)
$\tilde{K}_{j1}$	4.500 TL	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,7)	(0,6; 0,2)
	4.600 TL	(0,7; 0,4)	(0,4; 0,7)	(0,5; 0,2)
	4.700 TL	(0,2; 0,7)	(0,3; 0,4)	(0,5; 0,7)
$\tilde{K}_{j2}$	4.000 TL	(0,2; 0,8)	(0,2; 0,7)	(0,4; 0,5)
	4.100 TL	(0,6; 0,4)	(0,6; 0,5)	(0,7; 0,3)
	4.200 TL	(0,8; 0,2)	(0,4; 0,4)	(0,6; 0,4)
$\tilde{K}_{j3}$	3.900 TL	(0,5; 0,5)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,5)
	4.200 TL	(0,2; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,6)
	4.500 TL	(0,7; 0,1)	(0,4; 0,6)	(0,5; 0,3)
$\tilde{K}_{j4}$	5.000 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,6)	(0,7; 0,6)
	5.100 TL	(0,3; 0,7)	(0,6; 0,6)	(0,4; 0,5)
	5.200 TL	(0,5; 0,7)	(0,5; 0,4)	(0,6; 0,2)
$\tilde{K}_{j5}$	5.050 TL	(0,9; 0,4)	(0,5; 0,6)	(0,5; 0,4)
	5.150 TL	(0,5; 0,3)	(0,4; 0,1)	(0,6; 0,6)
	5.250 TL	(0,2; 0,6)	(0,4; 0,8)	(0,6; 0,5)
$\tilde{i}$	%12	(0,3; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,5; 0,7)
	%13	(0,8; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,4)
	%14	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,8)	(0,6; 0,8)
n	5 yıl			

Alternatiflerin değerlendirilmesinde ilk olarak 3 farklı uzmanın olası değerlere atanmış olduğu üyelik dereceleri Pisagor yığılma operatörü kullanarak tek bir değere yığıştırılır. Alternatif 1'in ilk maliyet parametresine (8.000 TL) ait yığıştırılmış Pisagor değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$PFWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left(\sum_{i=1}^n w_i \mu_{\hat{A}_i}(x), \sum_{i=1}^n w_i v_{\hat{A}_i}(x) \right)$$

$$PFWA((0,5; 0,4), (0,4; 0,5), (0,5; 0,4)) =$$

$$((0,4 \times 0,5 + 0,3 \times 0,4 + 0,3 \times 0,5), (0,4 \times 0,1 + 0,3 \times 0,5 + 0,3 \times 0,4))$$

$$= (0,44; 0,37)$$

Çizelge 4.54'te alternatiflere ait yığıştirılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.54. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştirılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Yığıştirılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Yığıştirılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	8.000 TL	(0,44; 0,37)	10.000 TL	(0,41; 0,50)
	9.000 TL	(0,40; 0,26)	11.000 TL	(0,43; 0,42)
	10.000 TL	(0,67; 0,19)	12.000 TL	(0,58; 0,45)
$\tilde{YB}$	1.000 TL	(0,84; 0,16)	1.500 TL	(0,50; 0,43)
	1.100 TL	(0,51; 0,20)	1.700 TL	(0,55; 0,43)
	1.200 TL	(0,32; 0,61)	1.900 TL	(0,32; 0,61)
$\tilde{BB}$	2.000 TL	(0,54; 0,43)	700 TL	(0,26; 0,68)
	2.200 TL	(0,78; 0,30)	800 TL	(0,63; 0,40)
	2.400 TL	(0,47; 0,42)	900 TL	(0,62; 0,32)
$\tilde{HD}$	1.100 TL	(0,54; 0,46)	3.000 TL	(0,62; 0,44)
	1.200 TL	(0,44; 0,56)	3.100 TL	(0,38; 0,53)
	1.300 TL	(0,66; 0,34)	3.200 TL	(0,55; 0,31)
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	(0,84; 0,16)	4.500 TL	(0,50; 0,43)
	4.000 TL	(0,51; 0,20)	4.600 TL	(0,55; 0,43)
	4.500 TL	(0,32; 0,61)	4.700 TL	(0,32; 0,61)
$\tilde{K}_{j2}$	3.000 TL	(0,54; 0,43)	4.000 TL	(0,26; 0,68)
	3.500 TL	(0,78; 0,30)	4.100 TL	(0,63; 0,40)
	4.000 TL	(0,47; 0,42)	4.200 TL	(0,62; 0,32)
$\tilde{K}_{j3}$	3.100 TL	(0,54; 0,46)	3.900 TL	(0,53; 0,50)
	3.200 TL	(0,44; 0,56)	4.200 TL	(0,35; 0,56)
	3.300 TL	(0,66; 0,34)	4.500 TL	(0,67; 0,22)
$\tilde{K}_{j4}$	3.400 TL	(0,45; 0,54)	5.000 TL	(0,60; 0,52)
	3.500 TL	(0,55; 0,26)	5.100 TL	(0,42; 0,61)
	3.600 TL	(0,61; 0,34)	5.200 TL	(0,53; 0,46)
$\tilde{K}_{j5}$	3.400 TL	(0,62; 0,34)	5.050 TL	(0,66; 0,46)
	3.500 TL	(0,59; 0,48)	5.150 TL	(0,50; 0,33)
	3.600 TL	(0,76; 0,31)	3.200 TL	(0,38; 0,63)
$\tilde{t}$	%12	(0,39; 0,52)	%12	(0,39; 0,52)
	%13	(0,74; 0,33)	%13	(0,74; 0,33)
	%14	(0,46; 0,72)	%14	(0,46; 0,72)

Durulaştırma operatörü kullanarak, Pisagor üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmesi ilk maliyet parametresi için şu şekilde hesaplanmıştır:

$$D_{\tilde{M}_{8,000}} = \frac{0,44^2(1 - 0,5) + 0,5(1 - 0,37^2)}{2} = 0,528$$

Çizelge 4.55'te parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.55. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış edilmiş üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	8.000 TL	0,528	10.000 TL	0,459
	9.000 TL	0,546	11.000 TL	0,504
	10.000 TL	0,706	12.000 TL	0,567
$\tilde{YB}$	1,000 TL	0,840	1.500 TL	0,533
	1.100 TL	0,610	1.700 TL	0,559
	1.200 TL	0,365	1.900 TL	0,365
$\tilde{BB}$	2.000 TL	0,553	700 TL	0,303
	2.200 TL	0,759	800 TL	0,618
	2.400 TL	0,522	900 TL	0,641
$\tilde{HD}$	1.100 TL	0,540	3.000 TL	0,595
	1.200 TL	0,440	3.100 TL	0,432
	1.300 TL	0,660	3.200 TL	0,603
$\tilde{K}_{j1}$	3.500 TL	0,840	4.500 TL	0,533
	4.000 TL	0,610	4.600 TL	0,559
	4.500 TL	0,365	4.700 TL	0,365
$\tilde{K}_{j2}$	3.000 TL	0,553	4.000 TL	0,303
	3.500 TL	0,759	4.100 TL	0,618
	4.000 TL	0,522	4.200 TL	0,641
$\tilde{K}_{j3}$	3.100 TL	0,540	3.900 TL	0,515
	3.200 TL	0,440	4.200 TL	0,404
	3.300 TL	0,660	4.500 TL	0,700
$\tilde{K}_{j4}$	3.400 TL	0,455	5.000 TL	0,545
	3.500 TL	0,617	5.100 TL	0,402
	3.600 TL	0,632	5.200 TL	0,535
$\tilde{K}_{j5}$	3.400 TL	0,634	5.050 TL	0,612
	3.500 TL	0,559	5.150 TL	0,571
	3.600 TL	0,741	3.200 TL	0,374
$\tilde{i}$	%12	0,441	%12	0,441
	%13	0,719	%13	0,719
	%14	0,347	%14	0,347

Parametrelere ait net değerlerin bulunması amacıyla Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak gerekli hesaplamalar yapılır. İlk maliyet parametresine ait net değer aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$COG_{\tilde{R}_1} = \frac{(8.000 \times 0,528) + (9.000 \times 0,546) + (10.000 \times 0,706)}{0,528 + 0,546 + 0,706}$$

$$COG_{\tilde{R}_1} = 9.099,97 \text{ TL}$$

Çizelge 4.56’da alternatiflere ait net değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.56. Alternatiflere ait net değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Net değerler	Net değerler
M	9.099,97 TL	11.070,51 TL
YB	1.073,84 TL	1.677,01 TL
BB	2.196,61 TL	821,66 TL
HD	1.207,32 TL	3.111,41 TL
K_{j1}	3.840,83 TL	4.588,51 TL
K_{j2}	3.869,20 TL	4.121,66 TL
K_{j3}	3.491,52 TL	4.234,22 TL
K_{j4}	3.207,32 TL	5.099,31 TL
K_{j5}	4.005,50 TL	5.138,23 TL
i	%12,93	%12,93
n	5 yıl	5 yıl

Son adımda hesaplanan net değerler, Eş. 4.187’de yerine koyularak yığılmış Pisagor kazanç maliyet analizi hesaplamaları tamamlanır.

Alternatif 1’e ait Pisagor kazanç maliyet analizi hesaplamaları aşağıda gösterilmiştir.

$$PKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{jn}(P/F, \%12,93; 5)}{M + BB(P/F, \%12,93; 3) + YB(P/A, \%12,93; 5) - HD(P/F, \%12,93; 5)}$$

$$PKMA = \frac{3.425,97 + 2.737,41 + 2.226,53 + 2.157,73 + 2.180,05}{9.099,97 + 63,31 + 1.524,89 - 657,10}$$

$$PKMA = 1,27$$

Alternatif 2’ye ait Pisagor kazanç maliyet analizi hesaplamaları aşağıda gösterilmiştir.

$$PKMA = \frac{\sum_{n=1}^k K_{jn}(P/F, \%12,93; 5)}{M + BB(P/F, \%12,93; 3) + YB(P/A, \%12,93; 5) - HD(P/F, \%12,93; 5)}$$

$$PKMA = \frac{4.062,87 + 3.231,44 + 2.939,40 + 3.131,44 + 2.796,56}{11.070,51 + 98,88 + 570,40 - 1.693,43}$$

$$NKMA = 1,60$$

Alternatiflere ait NKMA değerleri incelendiğinde Alternatif 2'nin daha kârlı bir yatırım olduğu görülmektedir.

4.5.5. Yığıştirilmiş Pisagor iç verim oranı analizi

1'inci Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde yığıştirilmiş Pisagor iç verim oranı analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$M = (K - YB) \left(\frac{P}{A}, i, n \right) + HD \left(\frac{P}{F}, i, n \right) \quad (4.189)$$

$$M = (K - YB) \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) + HD(1 + i)^{-n} \quad (4.190)$$

Yukarıda eşitlikleri sağlayan en küçük i değeri yatırıma ait iç verim oranıdır.

Yığıştirilmiş Pisagor iç verim oranı hesaplaması yapılırken, alternatiflerin Pisagor diğer analiz hesaplamalarında kullanılan net değer hesaplamasına kadar olan kısım bu bölümde de kullanılır. Daha sonra hesaplanan net değerler Eş. 4.189'de yerine koyularak yığıştirilmiş Pisagor iç verim oranı analizi hesaplamaları gerçekleştirilir.

Örnek 19: Çizelge 4.57'de alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değerli Pisagor üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Bu yatırımın yığıştirilmiş Pisagor iç verim oranı önerilen modele göre hesaplanacaktır.

Çizelge 4.57. Parametrelere ait olası değerler ve Pisagor üyelik derecesi değerleri

Parametreler	Alternatif			
	Olası değerler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$\tilde{M}$	12.000 TL	(0,5; 0,4)	(0,4; 0,5)	(0,4; 0,2)
	14.000 TL	(0,4; 0,2)	(0,3; 0,1)	(0,5; 0,5)
	16.000 TL	(0,7; 0,1)	(0,5; 0,2)	(0,8; 0,3)
$\tilde{K}$	5.000 TL	(0,9; 0,1)	(0,8; 0,2)	(0,8; 0,2)
	5.500 TL	(0,6; 0,2)	(0,5; 0,2)	(0,4; 0,2)
	6.000 TL	(0,2; 0,7)	(0,3; 0,4)	(0,5; 0,7)
$\tilde{YB}$	500 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,4)	(0,5; 0,5)
	750 TL	(0,9; 0,3)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,3)
	800 TL	(0,5; 0,3)	(0,5; 0,6)	(0,4; 0,4)
$\tilde{HD}$	1.100 TL	(0,6; 0,4)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)
	1.200 TL	(0,5; 0,5)	(0,4; 0,6)	(0,4; 0,6)
	1.300 TL	(0,6; 0,4)	(0,7; 0,3)	(0,7; 0,3)
$\tilde{n}$	5 yıl	(0,4; 0,8)	(0,4; 0,7)	(0,5; 0,7)
	6 yıl	(0,7; 0,5)	(0,8; 0,4)	(0,7; 0,2)
	7 yıl	(0,4; 0,7)	(0,2; 0,6)	(0,4; 0,7)

Alternatifin yığıştirilmiş Pisagor iç verim oranı hesaplamasında ilk olarak 3 farklı uzmanın olası değerlere atanmış olduğu üyelik dereceleri Pisagor yığışım operatörü kullanarak tek bir değere yığıştirılır. Alternatifin ilk maliyet parametresine (12.000 TL) ait yığıştirilmiş Pisagor değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$PFWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left(\sum_{i=1}^n w_i \mu_{\hat{A}_i}(x), \sum_{i=1}^n w_i v_{\hat{A}_i}(x) \right)$$

$$PFWA((0,5; 0,4), (0,4; 0,5), (0,5; 0,4)) =$$

$$((0,4 \times 0,5 + 0,3 \times 0,4 + 0,3 \times 0,5), (0,4 \times 0,1 + 0,3 \times 0,5 + 0,3 \times 0,4))$$

$$= (0,44; 0,37)$$

Alternatiflere ait yığıştirilmiş Pisagor değerleri Çizelge 4.58’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.58. Parametrelere ait olası değerler ve yığıştirılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif	
	Olası değerler	Yığıştirılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12.000 TL	(0,44; 0,37)
	14.000 TL	(0,40; 0,26)
	16.000 TL	(0,67; 0,19)
$\tilde{K}$	5.000 TL	(0,84; 0,16)
	5.500 TL	(0,51; 0,20)
	6.000 TL	(0,32; 0,61)
$\tilde{YB}$	500 TL	(0,54; 0,43)
	750 TL	(0,78; 0,30)
	800 TL	(0,47; 0,42)
$\tilde{HD}$	1.100 TL	(0,54; 0,46)
	1.200 TL	(0,44; 0,56)
	1.300 TL	(0,66; 0,34)
$\tilde{n}$	5 yıl	(0,43; 0,74)
	6 yıl	(0,73; 0,38)
	7 yıl	(0,34; 0,67)

Durulaştırma operatörü kullanarak, Pisagor üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmesi ilk maliyet parametresi için şu şekilde hesaplanmıştır:

$$D_{\tilde{M}_{12,000}} = \frac{0,44^2(1 - 0,5) + 0,5(1 - 0,37^2)}{2} = 0,528$$

Çizelge 4.59’da parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.59. Parametrelere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri

Parametreler	Alternatif	
	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	12,000 TL	0,528
	14,000 TL	0,546
	16,000 TL	0,706
$\tilde{K}$	5,000 TL	0,804
	5,500 TL	0,610
	6,000 TL	0,365
$\tilde{YB}$	500 TL	0,553
	750 TL	0,759
	800 TL	0,522
$\tilde{HD}$	1,100 TL	0,540
	1,200 TL	0,440
	1,300 TL	0,660
$\tilde{n}$	5 yıl	0,319
	6 yıl	0,694
	7 yıl	0,333

Parametrelere ait net değerlerin bulunması amacıyla Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak gerekli hesaplamalar yapılır. İlk maliyet parametresine ait net değer aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$COG_{\tilde{M}} = \frac{(12.000 \times 0,528) + (14.000 \times 0,546) + (16.000 \times 0,706)}{0,528 + 0,546 + 0,706}$$

$$COG_{\tilde{M}} = 14.199,95 \text{ TL}$$

Çizelge 4.60'ta alternatifte ait net değer hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.60. Alternatife ait net değerler

	Alternatif
Parametreler	Net değerler
<i>M</i>	14.199,95 TL
<i>K</i>	5.369,20 TL
<i>YB</i>	688,84 TL
<i>HD</i>	1.207,32 TL
<i>n</i>	6,01 yıl

Son adımda hesaplanan net değerler, Eş. 4.189'da yerine koyularak Pisagor iç verim oranı hesaplanır.

$$14.199,95 = (5.369,20 - 688,84)(P/A, i, 6,01) + 1.207,32(P/A, i, 6,01)$$

Bu eşitlikte denklemi sağlayan en küçük *i* değeri 0,248 olarak hesaplanır.

2'nci Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde Pisagor iç verim oranı analizi için en büyük iç verim oranı, en küçük verim oranı ve en olası iç verim oranı eşitlikleri geliştirilmiştir. Bu eşitlikler aşağıda gösterilmiştir.

$$M_{enk} = (K_{enb} - YB_{enk})(P/A, i_{enb}, n_{enb}) + HD_{enb}(P/F, i_{enb}, n_{enb}) \quad (4.190)$$

$$M_{enk} = (K_{enb} - YB_{enk}) \left(\frac{(1+i_{enb})^{n_{enb}} - 1}{i_{enb}(1+i_{enb})^{n_{enb}}} \right) + HD_{enb}(1 + i_{enb})^{-n_{enb}} \quad (4.191)$$

$$M_{enb} = (K_{enk} - YB_{enk})(P/A, i_{enk}, n_{enk}) + HD_{enk}(P/F, i_{enk}, n_{enk}) \quad (4.192)$$

$$M_{enb} = (K_{enk} - YB_{enb}) \left(\frac{(1+i_{enk})^{n_{enk}} - 1}{i_{enk}(1+i_{enk})^{n_{enk}}} \right) + HD_{enb}(1 + i_{enk})^{-n_{enk}} \quad (4.193)$$

$$M_{ort} = (K_{ort} - YB_{ort})(P/A, i_{ort}, n_{ort}) + HD_{ort}(P/F, i_{ort}, n_{ort}) \quad (4.194)$$

$$M_{ort} = (K_{ort} - YB_{ort}) \left(\frac{(1+i_{ort})^{n_{ort}} - 1}{i_{ort}(1+i_{ort})^{n_{ort}}} \right) + HD_{ort}(1 + i_{ort})^{-n_{ort}} \quad (4.195)$$

Örnek 20: Örnek 19’da verilen Çizelge 4.57’de alternatiflere ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan Pisagor üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Bu yatırımın iç verim oranını önerilen modele göre hesaplanacaktır.

Bu problemin çözümde en büyük iç verim oranı analizi hesabı yapılacak, en küçük ve en olası iç verim oranı hesaplamaların sadece sonucu verilecektir. Çizelge 4.57’ye göre en büyük iç verim oranı hesaplamasında kullanılacak olan değerler şu şekildedir:

$$M_{enk} = 12.000 \text{ TL}$$

$$YB_{enk} = 500 \text{ TL}$$

$$K_{enb} = 6.000 \text{ TL}$$

$$HD_{enb} = 1.300 \text{ TL}$$

$$n_{enb} = 7 \text{ yıl}$$

Yukarıdaki veriler kullanarak Eş.38 ve Eş. 39 numaralı eşitlikler şu şekilde hesaplanır:

$$12.000 = (6.000 - 500)(P/A, i_{enb}, 7) + 1.300(P/F, i_{enb}, 7)$$

$$12.000 = (6.000 - 500) \left(\frac{(1 + i_{enb})^7 - 1}{i_{enb}(1 + i_{enb})^7} \right) + 500(1 + i_{enb})^{-7}$$

$$i_{enb} = \% 42,5$$

En küçük ve en olası iç verim oranı hesaplaması şu şekildedir:

$$i_{enk} = \% 28,5 \quad i_{ort} = \% 34,5$$

Önerilen bu yöntemde uzmanların Pisagor değerlendirmeleri hesaba katılmadan karar vericiye hızlı bir şekilde çözüm olanağı sağlanmıştır.

4.6. Aralık Değerli Pisagor Yatırım Analiz Teknikleri

Çalışmanın bu kısmında parametrelere ait olası değerlerde ve Pisagor üyelik derecelerinde uzmana olası değerlere atama yapmasında daha çok esneklik tanıyan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin getirdiği iki farklı yenilik şu şekildedir: Parametrelere ait olası değerlerde uzmanlar aralıklı değer kullanarak daha esnek bir olası değer tahmini yapabileceklerdir. Diğer getirilen yenilik ise uzmanların her biri ayrı ayrı olası değer tahmini ve Pisagor üyelik derecesi tahmini yapmasıdır. Önceki yöntemde önerilen yöntemde parametrelere ait olası değerler, bizim tarafımızdan uzmanlara önerilmiş ve uzmanların bu olası değerlere üyelik derecesi ataması talep edilmiştir. Önerilen bu ikinci yöntem kapsamında ise uzmanlar hem parametrelere ait olası değerleri hem de Pisagor üyelik derecelerini kendileri belirleyerek uzmanlara parametre tahmininde daha büyük bir esneklik sağlanmıştır.

Ayrıca bu çalışma kapsamında elde edilen tüm yatırım analizi eşitlikleri için hem en küçük hem de en büyük sonuçlar elde edilmiştir. Bu kapsamda alternatiflere ait sonuçlar değerlendirilirken, her iki sonuç için de ayrı ayrı karar verme süreci uygulanabilmektedir.

4.6.1. Aralık değerli Pisagor şimdiki değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde aralıklı Pisagor şimdiki değer analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$P\mathcal{S}D_{enk} = M_L + YB_L(P/A, i_R, n_L) + BB_L(P/F, i_R, t) - HD_R(P/F, i_R, n_L) \quad (4.196)$$

$$P\mathcal{S}D_{enk} = M_L + YB_L\left(\frac{(1+i_R)^{n_L}-1}{i_R(1+i_R)^{n_L}}\right) + BB_L(1+i_R)^{-t} - HD_R(1+i_R)^{-n_L} \quad (4.197)$$

$$P\mathcal{S}D_{enb} = M_R + YB_R(P/A, i_L, n_R) + BB_R(P/F, i_L, t) - HD_L(P/F, i_L, n_R) \quad (4.198)$$

$$P\mathcal{S}D_{enb} = M_R + YB_R\left(\frac{(1+i_L)^{n_R}-1}{i_L(1+i_L)^{n_R}}\right) + BB_R(1+i_L)^{-t} - HD_L(1+i_L)^{-n_R} \quad (4.199)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri Pisagor sayılar ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: İlk maliyet ($\tilde{M}$), yıllık bakım ($\tilde{YB}$), büyük bakım ($\tilde{BB}$), hurda değeri ($\tilde{HD}$), faiz oranı ($\tilde{i}$), ekonomik ömür ($\tilde{n}$), büyük bakım zamanı (t). Büyük bakım, projenin ekonomik ömrü boyunca sadece bir kez gerçekleştirildiğinden büyük bakım zamanı (t) pozitif sayıyla temsil edilmiştir.

Önerilen PŞD eşitliğinde m adet uzman yatırım parametreleri üzerinde tahminde bulunabilecektir. Bu durumda parametrelerin matris formatındaki gösterimi şu şekildedir:

$$\tilde{M} = \left\{ \begin{array}{l} [M_{1L}, M_{1R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ [M_{2L}, M_{2R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ [M_{kL}, M_{kR}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.200)$$

$$\tilde{YB} = \left\{ \begin{array}{l} [YB_{1L}, YB_{1R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ [YB_{2L}, YB_{2R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ [YB_{kL}, YB_{kR}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.201)$$

$$\widetilde{BB} = \left\{ \begin{array}{l} [BB_{1L}, BB_{1R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ [BB_{2L}, BB_{2R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ [BB_{kL}, BB_{kR}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.202)$$

$$\widetilde{HD} = \left\{ \begin{array}{l} [HD_{1L}, HD_{1R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ [HD_{2L}, HD_{2R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ [HD_{kL}, HD_{kR}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.203)$$

$$\widetilde{i} = \left\{ \begin{array}{l} [i_{1L}, i_{1R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ [i_{2L}, i_{2R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ [i_{kL}, i_{kR}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.204)$$

$$\widetilde{n} = \left\{ \begin{array}{l} [n_{1L}, n_{1R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ [n_{2L}, n_{2R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ [n_{kL}, n_{kR}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.205)$$

Yukarıdaki parametreleri kullanarak PŞD şu şekilde hesaplanır:

m adet uzmanın değerlendirmesi Eş. 4.206-4.211’de gösterilen Pisagor yığılma operatörü ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülür.

$$\widetilde{M} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\begin{array}{l} [M_{1enk,L}, M_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \\ \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \end{array} \right) \quad (4.206)$$

$$\widetilde{BB} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\begin{array}{l} [BB_{1enk,L}, BB_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \\ \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \end{array} \right) \quad (4.207)$$

$$\widetilde{YB} = \cup_{j=1}^k F_w \left(\begin{array}{l} [YB_{1enk,L}, YB_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \\ \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \end{array} \right) \quad (4.208)$$

$$\widetilde{HD} = \cup_{j=1}^k F_w \left([HD_{1enk,L}, HD_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \right) \quad (4.209)$$

$$\widetilde{I} = \cup_{j=1}^k F_w \left([I_{1enk,L}, I_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \right) \quad (4.210)$$

$$\widetilde{n} = \cup_{j=1}^k F_w \left([n_{1enk,L}, n_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \right) \quad (4.211)$$

Durulaştırma operatörü kullanarak, Pisagor üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına aşağıdaki eşitliklerle dönüştürülür:

$$\widetilde{M} = \cup_{j=1}^k \left([M_{1enk,L}, M_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \right) = \mu_{M_j} \quad (4.212)$$

$$(\mu_{M_{j\mu}}, \mu_{M_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$\widetilde{BB} = \cup_{j=1}^k \left([BB_{1enk,L}, BB_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \right) = \mu_{BB_j} \quad (4.212)$$

$$(\mu_{BB_{j\mu}}, \mu_{BB_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$\widetilde{YB} = \cup_{j=1}^k \left([YB_{1enk,L}, YB_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \right) = \mu_{YB_j} \quad (4.213)$$

$$(\mu_{YB_{j\mu}}, \mu_{YB_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$\widetilde{HD} = \cup_{j=1}^k \left([HD_{1enk,L}, HD_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \right) = \mu_{HD_j} \quad (4.214)$$

$$(\mu_{HD_{j\mu}}, \mu_{HD_{jv}}), j = 1, \dots, k$$

$$\tilde{i} \cup_{j=1}^k \left(\begin{matrix} [i_{1enk,L}, i_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \\ \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \end{matrix} \right) = \mu_{ij} \quad (4.215)$$

$$(\mu_{ij_\mu}, \mu_{ij_v}), j = 1, \dots k$$

$$\tilde{n} \cup_{j=1}^k \left(\begin{matrix} [n_{1enk,L}, n_{1enb,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enb}), \\ \dots, (\mu_{menk}, v_{menb}) \end{matrix} \right) = \mu_{nj} \quad (4.216)$$

$$(\mu_{nj_\mu}, \mu_{nj_v}), j = 1, \dots k$$

$$(\mu_{M_{j\mu}}, \mu_{M_{jv}}), (\mu_{BB_{j\mu}}, \mu_{BB_{jv}}), (\mu_{YB_{j\mu}}, \mu_{YB_{jv}}), (\mu_{HD_{j\mu}}, \mu_{HD_{jv}}), (\mu_{ij_\mu}, \mu_{ij_v}), (\mu_{nj_\mu}, \mu_{nj_v})$$

değerlerine ait durulaştırılmış değerler aşağıdaki Nayagam ve Sivaraman (2011) tarafından geliştirilmiş eşitlikle hesaplanır.

$$D_{(\mu_X)} = \frac{\mu_{X_\mu}^2(1-\gamma) + \gamma(1-\mu_{X_v}^2)}{2} \quad (4.217)$$

Burada γ değeri uzmanlar tarafından atanan ağırlık olarak tanımlanmıştır. Bu değer yatırım analizi tekniklerinde 0,5 olarak kullanılacaktır.

Yukarıdaki eşitliklerin uygulanması sonucunda parametrelere ait olası değerler ve bunlara ait durulaştırılmış üyelik dereceleri elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra, Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak parametrelere ait net değerler elde edilir.

$$COG\tilde{X}_L = X_L = \frac{\sum_{j=1}^k X_{Lj}(D_{\mu_X})}{\sum_{j=1}^k (D_{\mu_X})} \quad (4.218)$$

$$COG\tilde{X}_R = X_R = \frac{\sum_{j=1}^k X_{Rj}(D_{\mu_X})}{\sum_{j=1}^k (D_{\mu_X})} \quad (4.219)$$

Bütün parametrelere ait net değerlerin hesaplanmasından sonra, bu net değerler Pisagor şimdiki değer analizi eşitliğinde yerine koyularak şimdiki değer analizi gerçekleştirilir.

Örnek 20: Çizelge 4.61 ve Çizelge 4.62’de iki ayrı alternatife ait parametreler, bu parametrelere ait olası değerler ve bu parametrelere ait 3 ayrı uzman tarafından atanan tek değerli Pisagor üyelik fonksiyonu dereceleri verilmiştir. Uzmanların tecrübe ve deneyimlerine göre atanmış olan ağırlıkları sırasıyla şu şekildedir: 0,4; 0,3; 0,3. Aralıklı Pisagor şimdiki değer analizi metodu yöntemine göre alternatifler değerlendirilecektir.

Çizelge 4.61. Alternatif 1’e ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri

Para- metre- ler	Alternatif 1					
	Olası değerler (Uzman 1)	Pisagor üyelik derecesi (Uzman 1)	Olası değerler (Uzman 2)	Pisagor üyelik derecesi (Uzman 2)	Olası değerler (Uzman 3)	Pisagor üyelik derecesi (Uzman 3)
$\tilde{M}$	[15.000,16.000]TL	(0,4; 0,5)	[14.000,15.000]TL	(0,5; 0,7)	[15.000,16.000]TL	(0,2; 0,4)
	[16.000,17.000]TL	(0,7; 0,2)	[15.000,16.000]TL	(0,6; 0,4)	[16.000,17.000]TL	(0,7; 0,2)
	[17.000,18.000]TL	(0,5; 0,8)	[16.000,17.000]TL	(0,5; 0,8)	[17.000,18.000]TL	(0,4; 0,8)
$\tilde{YB}$	[1.000,1.100] TL	(0,4; 0,6)	[1.000,1.200] TL	(0,4; 0,8)	[1.100,1.200] TL	(0,5; 0,7)
	[1.100,1.200] TL	(0,7; 0,4)	[1.200,1.300] TL	(0,6; 0,5)	[1.200,1.300] TL	(0,9; 0,4)
	[1.200,1.300] TL	(0,4; 0,5)	[1.300,1.400] TL	(0,7; 0,6)	[1.300,1.400] TL	(0,6; 0,1)
$\tilde{BB}$	[800,900] TL	(0,3; 0,4)	[900,1.000] TL	(0,4; 0,6)	[1.100,1.200] TL	(0,3; 0,8)
	[900,1.000] TL	(0,6; 0,3)	[1.000,1.200] TL	(0,7; 0,5)	[1.200,1.300] TL	(0,7; 0,4)
	[1.000,1.100] TL	(0,4; 0,5)	[1.200,1.300] TL	(0,3; 0,5)	[1.300,1.400] TL	(0,4; 0,8)
$\tilde{HD}$	[1.000,1.200] TL	(0,4; 0,6)	[1.000,1.100] TL	(0,4; 0,6)	[1.100,1.200] TL	(0,6; 0,8)
	[1.200,1.400] TL	(0,6; 0,4)	[1.100,1.200] TL	(0,7; 0,3)	[1.200,1.300] TL	(0,5; 0,3)
	[1.400,1.600] TL	(0,3; 0,5)	[1.200,1.300] TL	(0,4; 0,6)	[1.300,1.400] TL	(0,2; 0,5)
$\tilde{i}$	% [11,12]	(0,2; 0,7)	% [10,11]	(0,2; 0,8)	% [10;10,5]	(0,2; 0,7)
	% [12,13]	(0,5; 0,4)	% [10,5;11,5]	(0,6; 0,3)	% [10,5;11]	(0,5; 0,2)
	% [12,5;13,5]	(0,4; 0,6)	% [11,12]	(0,4; 0,6)	% [11;11,5]	(0,4; 0,8)
$\tilde{n}$	[5,6]	(0,2; 0,8)	[5,5;6]	(0,4; 0,5)	[5,6]	(0,4; 0,5)
	[5,5;6,5]	(0,6; 0,1)	[6;6,5]	(0,6; 0,3)	[5,5;6,5]	(0,5; 0,2)
	[6,7]	(0,4; 0,6)	[6,5;7]	(0,2; 0,6)	[6,7]	(0,4; 0,6)

Çizelge 4.62. Alternatif 2'ye ait olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri

	Alternatif 2					
Para- metre- ler	Olası değerler (Uzman 1)	Pisagor üyelik derecesi (Uzman 1)	Olası değerler (Uzman 2)	Pisagor üyelik derecesi (Uzman 2)	Olası değerler (Uzman 3)	Pisagor üyelik derecesi (Uzman 3)
$\tilde{M}$	[18.000,19.000]TL	(0,4; 0,6)	[16.000,17.000]TL	(0,4; 0,8)	[17.000,18.000]TL	(0,5; 0,7)
	[19.000,20.000]TL	(0,6; 0,5)	[17.000,18.000]TL	(0,6; 0,5)	[18.000,19.000]TL	(0,8; 0,5)
	[20.000,21.000]TL	(0,4; 0,5)	[18.000,19.000]TL	(0,6; 0,9)	[19.000,20.000]TL	(0,5; 0,6)
$\tilde{YB}$	[1.500,1.600] TL	(0,4; 0,7)	[1.800,1.900] TL	(0,4; 0,8)	[2.100,2.200] TL	(0,3; 0,7)
	[1.600,1.700] TL	(0,6; 0,5)	[1.900,2.000] TL	(0,6; 0,5)	[2.200,2.300] TL	(0,5; 0,2)
	[1.700,1.800] TL	(0,4; 0,5)	[2.000,2.100] TL	(0,6; 0,9)	[2.300,2.400] TL	(0,4; 0,6)
$\tilde{BB}$	[1.000,1.100] TL	(0,4; 0,6)	[800,1.000] TL	(0,4; 0,8)	[1.200,1.300] TL	(0,4; 0,6)
	[1.100,1.200] TL	(0,7; 0,3)	[1.000,1.200] TL	(0,8; 0,3)	[1.300,1.400] TL	(0,8; 0,2)
	[1.200,1.300] TL	(0,4; 0,6)	[1.200,1.400] TL	(0,4; 0,5)	[1.400,1.500] TL	(0,4; 0,6)
$\tilde{HD}$	[1.300,1.400] TL	(0,4; 0,6)	[900,1.000] TL	(0,2; 0,4)	[1.200,1.300] TL	(0,1; 0,4)
	[1.400,1.500] TL	(0,8; 0,2)	[1.100,1.200] TL	(0,8; 0,4)	[1.300,1.400] TL	(0,7; 0,5)
	[1.500,1.600] TL	(0,3; 0,6)	[1.200,1.300] TL	(0,5; 0,8)	[1.400,1.500] TL	(0,3; 0,8)
$\tilde{i}$	% [11,12]	(0,2; 0,7)	% [10,11]	(0,2; 0,8)	% [10;10,5]	(0,2; 0,7)
	% [12,13]	(0,2; 0,7)	% [10,5;11,5]	(0,6; 0,3)	% [10,5;11]	(0,5; 0,2)
	% [12,5;13,5]	(0,5; 0,4)	% [11,12]	(0,4; 0,6)	% [11,11,5]	(0,4; 0,8)
$\tilde{n}$	[5,6]	(0,4; 0,6)	[5,5;6]	(0,4; 0,5)	[5,6]	(0,4; 0,5)
	[5,5;6,5]	(0,2; 0,8)	[6;6,5]	(0,6; 0,3)	[5,5;6,5]	(0,5; 0,2)
	[6,7]	(0,6; 0,1)	[6,5;7]	(0,2; 0,6)	[6,7]	(0,4; 0,6)

m adet uzmanın değerlendirmesi Eş. 4.206-4.211'de gösterilen birleşim operatörü ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülür:

Örnek olarak, Alternatif 1'e ait ilk maliyete ait birleşim operatörü kullanarak tek bir değer hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$\tilde{M} = \cup_{j=1}^3 F_w \left(\begin{array}{l} [14.000,16.000], (0,2; 0,7) \\ [15.000,17.000], (0,6; 0,4) \\ [16.000,18.000], (0,4; 0,8) \end{array} \right)$$

Diğer hesaplamalar Çizelge 4.63'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.63. Alternatiflere ait yığıştırılmış olası değerler ve Pisagor üyelik dereceleri

	Alternatif 1		Alternatif 2	
Parametreler	Olası değerler	Pisagor üyelik derecesi	Olası değerler	Pisagor üyelik derecesi
$\tilde{M}$	[14.000,16.000] TL	(0,2; 0,7)	[16.000,19.000] TL	(0,4; 0,8)
	[15.000,17.000] TL	(0,6; 0,4)	[17.000,20.000] TL	(0,6; 0,5)
	[16.000,18.000] TL	(0,4; 0,8)	[18.000,21.000] TL	(0,4; 0,9)
$\tilde{YB}$	[1.000,1.200] TL	(0,4; 0,8)	[1.500,2.200] TL	(0,3; 0,8)
	[1.100,1.300] TL	(0,6; 0,5)	[1.600,2.300] TL	(0,5; 0,4)
	[1.200,1.400] TL	(0,4; 0,6)	[1.700,2.400] TL	(0,4; 0,7)
$\tilde{BB}$	[800,1.200] TL	(0,3; 0,8)	[800,1.300] TL	(0,4; 0,8)
	[900,1.300] TL	(0,6; 0,5)	[1.000,1.400] TL	(0,7; 0,3)
	[1.000,1.400] TL	(0,3; 0,8)	[1.200,1.500] TL	(0,4; 0,6)
$\tilde{HD}$	[1.000,1.200] TL	(0,4; 0,8)	[900,1.400] TL	(0,1; 0,6)
	[1.100,1.400] TL	(0,5; 0,4)	[1.100,1.500] TL	(0,7; 0,5)
	[1.150,1.600] TL	(0,2; 0,6)	[1.200,1.600] TL	(0,3; 0,8)
$\tilde{i}$	% [10,12]	(0,2; 0,8)	% [10,12]	(0,2; 0,8)
	% [10,5;13]	(0,5; 0,4)	% [12,13]	(0,5; 0,4)
	% [11;13,5]	(0,4; 0,8)	% [11;13,5]	(0,4; 0,8)
$\tilde{n}$	[5, 6]	(0,2; 0,8)	[5, 6]	(0,2; 0,8)
	[5,5; 6,5]	(0,5; 0,3)	[5,5; 6,5]	(0,5; 0,3)
	[6, 7]	(0,2; 0,6)	[6, 7]	(0,2; 0,6)

Sonraki adımda Eş.4.212- 4.216 durulaştırma operatörü kullanarak, Pisagor üyelik fonksiyonları bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürülür:

Alternatif 1'e ait maliyet parametresine ait Pisagor değerlendirmelere ait durulaştırma işlemi şu şekildedir:

$$D_{(\mu_M)} = \frac{0,2^2(1 - 0,5) + 0,5(1 - 0,7^2)}{2} = 0,275$$

Çizelge 4.64'te alternatiflere ait birleştirilmiş olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.64. Alternatiflere ait olası değerler ve durulaştırılmış üyelik dereceleri

	Alternatif 1		Alternatif 2	
Parametreler	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi	Olası değerler	Durulaştırılmış üyelik derecesi
$\tilde{M}$	[14.000,16.000] TL	0,275	[16.000,19.000] TL	0,260
	[15.000,17.000] TL	0,600	[17.000,20.000] TL	0,555
	[16.000,18.000] TL	0,260	[18.000,21.000] TL	0,175
$\tilde{YB}$	[1.000,1.200] TL	0,260	[1.500,2.200] TL	0,225
	[1.100,1.300] TL	0,555	[1.600,2.300] TL	0,545
	[1.200,1.400] TL	0,400	[1.700,2.400] TL	0,335
$\tilde{BB}$	[800,1.200] TL	0,225	[800,1.300] TL	0,260
	[900,1.300] TL	0,555	[1.000,1.400] TL	0,700
	[1.000,1.400] TL	0,225	[1.200,1.500] TL	0,400
$\tilde{HD}$	[1.000,1.200] TL	0,260	[900,1.400] TL	0,325
	[1.100,1.400] TL	0,545	[1.100,1.500] TL	0,620
	[1.150,1.600] TL	0,340	[1.200,1.600] TL	0,225
$\tilde{i}$	% [10,12]	0,200	% [10,12]	0,200
	% [10,5;13]	0,545	% [12,13]	0,545
	% [11;13,5]	0,260	% [11;13,5]	0,260
$\tilde{n}$	[5,6]	0,200	[5,6]	0,200
	[5,5;6,5]	0,580	[5,5;6,5]	0,580
	[6,7]	0,340	[6,7]	0,340

Durulaştırma işlemi tamamlandıktan sonra, Eş. 4.218-4.219 kullanılarak parametrelere ait sol ve sağ net değerler ağırlık merkezi yöntemi kullanarak elde edilir. Alternatiflere ait hesaplanmış net değerler Çizelge 4.65’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.65. Alternatiflere ait net değerler

	Alternatif 1	Alternatif 2
Parametreler	Net değerler	Net değerler
M	[14.986, 16.986] TL	[16.914, 19.914] TL
YB	[1.111, 1.311] TL	[1.609, 2.309] TL
BB	[900, 1.300] TL	[1.020, 1.410] TL
HD	[1.106, 1.413] TL	[1.010, 1.491] TL
i	% [10,53; 12,93]	% [10,53; 12,93]
n	[5,56; 6,56]	[5,56; 6,56]

Son adımda elde edilen net değerler Eş. 4.196-4.199'de yerine koyularak alternatiflere ait şimdiki değerler elde edilir.

Alternatif 1:

$$P\dot{S}D_{enk} = 14.986 + 1.111(P/A, \%12,93; 5,56) + 900(P/F, \%12,93; 3) \\ - 1.413(P/F, \%12,93; 5,56)$$

$$P\dot{S}D_{enk} = 19.027,05 \text{ TL}$$

$$P\dot{S}D_{enb} = 16.986 + 1.311(P/A, \%10,53; 6,56) + 1.300(P/F, \%10,53; 3) \\ - 1.106(P/F, \%10,53; 6,56)$$

$$P\dot{S}D_{enb} = 23.374,11 \text{ TL}$$

Alternatif 2:

$$P\dot{S}D_{enk} = 16.914 + 1.609(P/A, \%12,93; 5,56) + 1.020(P/F, \%12,93; 3) \\ - 1.491(P/F, \%12,93; 5,56)$$

$$P\dot{S}D_{enk} = 22.888,58 \text{ TL}$$

$$P\dot{S}D_{enb} = 19.914 + 2.309(P/A, \%10,53; 6,56) + 1.410(P/F, \%10,53; 3) \\ - 1.010(P/F, \%10,53; 6,56)$$

$$P\dot{S}D_{enb} = 30.711,57 \text{ TL}$$

$$P\dot{S}D_{Alternatif1} = [19.027,05; 23.374,11] \text{ TL}$$

$$P\dot{S}D_{Alternatif2} = [22.888,58; 30.711,57] \text{ TL}$$

Alternatiflere ait şimdiki değerler aralık sayılarının sıralanması (Bölüm 4.5.1) yöntemine göre kıyaslandığında, Alternatif 1 daha küçük şimdiki değere sahip olmasından dolayı, uzmanlar tarafından tercih edilen alternatif olacaktır.

4.6.1. Aralık değerli Pisagor gelecek değer analizi

Çalışmanın bu bölümünde aralık değerli Pisagor gelecek değer analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler şu şekildedir:

$$PGD_{enk} = M_L(F/P, i_R, n_L) + YB_{TBD,L}(F/A, i_R, n_L) + BB_L(P/F, i_R, t)(F/P, i_R, n_L) - HD_R \quad (4.220)$$

$$PGD_{enk} = M_L(1 + i_R)^{n_L} + YB_{TBD,L}\left(\frac{(1+i_R)^{n_L}-1}{i_R}\right) + BB_L(1 + i_R)^{-t}(1 + i_R)^{n_L} - HD_R \quad (4.221)$$

$$PGD_{enb} = M_R(F/P, i_L, n_R) + YB_R(F/A, i_L, n_R) + BB_R(P/F, i_L, t)(F/P, i_L, n_R) - HD_L \quad (4.222)$$

$$PGD_{enb} = M_R(1 + i_L)^{n_R} + YB_R\left(\frac{(1+i_L)^{n_R}-1}{i_L}\right) + BB_R(1 + i_L)^{-t}(1 + i_L)^{n_R} - HD_L \quad (4.223)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri Pisagor sayılar ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: İlk maliyet ($\tilde{M}$), yıllık bakım ($\tilde{YB}$), büyük bakım ($\tilde{BB}$), hurda değeri ($\tilde{HD}$), faiz oranı ($\tilde{i}$), ekonomik ömür ($\tilde{n}$), büyük bakım zamanı (t). Büyük bakım, projenin ekonomik ömrü boyunca sadece bir kez gerçekleştirildiğinden büyük bakım zamanı (t) pozitif sayıyla temsil edilmiştir. Parametrelerin matris formunda gösterimi aralık değerli Pisagor şimdiki değer analizi bölümde gösterildiği gibidir.

Aralık değerli Pisagor gelecek değer hesaplaması yapılırken, alternatiflerin aralık değerli Pisagor şimdiki değer hesaplamalarında kullanılan, parametrelerin net değerlerinin hesaplamasına olan kısım bu bölümde de kullanılır. Daha sonra hesaplanan parametrelerin

net değerleri Eş. 4.220-Eş. 4.223 yerine koyularak aralık değerli Pisagor gelecek değer hesaplamaları gerçekleştirilir.

Örnek 21. Çizelge 4.61 ve Çizelge 4.62’de alternatiflere ait veriler aralık değerli Pisagor gelecek değer analizi yöntemi ile değerlendirilecektir.

Alternatiflere ait hesaplanan net değerleri aralıklı Pisagor şimdiki değer analizi yönteminde hesaplanan değerlerdir ve Çizelge 4.65’te verilmiştir.

Alternatif 1’e ait aralık değerli Pisagor gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$PGD_{enk} = 14.986,78(F/P, \%12,93; 5,56) + 1.111,52(F/A, \%12,93; 5,56) \\ + 900(P/F, \%12,93; 3)(F/P, \%12,93; 5,56) - 1.413,97$$

$$PGD_{enk} = 37.601,83 \text{ TL}$$

$$PGD_{enb} = 16.986,78(F/P, \%10,53; 6,56) + 1.311,52(F/A, \%10,53; 6,56) \\ + 1.300(P/F, \%10,53; 3)(F/P, \%10,53; 6,56) - 1.106,99$$

$$PGD_{enb} = 45.088,93 \text{ TL}$$

Alternatif 2’ ye ait aralık değerli Pisagor gelecek değer hesaplaması şu şekildedir:

$$PGD_{enk} = 16.914,14(F/P, \%12,93; 5,56) + 1.609,95(F/A, \%12,93; 5,56) \\ + 1.020,59(P/F, \%12,93; 3)(F/P, \%12,93; 5,56) - 1.491,45$$

$$PGD_{enk} = 45.206,50 \text{ TL}$$

$$PGD_{enb} = 19.914,14(F/P, \%10,53; 6,56) + 2.309,95(F/A, \%10,53; 6,56) \\ + 1.410(P/F, \%10,53; 3)(F/P, \%10,53; 6,56) - 1.010,68$$

$$PGD_{enb} = 59.798,51 \text{ TL}$$

$$PGD_{Alternatif1} = [37.601,83; 45.088,93] \text{ TL}$$

$$PGD_{Alternatif2} = [45.206,50; 59.798,51] \text{ TL}$$

Alternatiflere ait şimdiki değerler aralık sayıların sıralanması (Bölüm 4.5.1) yöntemine göre kıyaslandığında, Alternatif 1 daha küçük şimdiki değere sahip olmasından dolayı daha kârlı bir yatırım olacaktır.

4.6.3. Aralık değerli Pisagor geri ödeme süresi analizi

Çalışmanın bu bölümünde aralık değerli Pisagor geri ödeme süresi analizi eşitlikleri geliştirilmiştir.

$$\sum_{n=1}^{N_j} [K_{Ljn}(P/F, i_R, n), K_{Rjn}(P/F, i_L, n)] \geq [M_{Lj}, M_{Rj}] \quad (4.224)$$

$$\sum_{n=1}^{N_j} [K_{Ljn}(1 + i_R)^{-n}, K_{Ljn}(1 + i_L)^{-n}] \geq [M_{Lj}, M_{Rj}] \quad (4.225)$$

Bu eşitliklerde, yatırım parametreleri Pisagor değerler ile temsil edilmiştir. Temsil edilen parametreler şu şekildedir: Yatırıma ait ilk maliyet ($\tilde{M}$), $\tilde{K}_{jn}$ n dönemde elde edilen kazancı ifade etmektedir. Paranın zaman değeri göz önüne alındığında Eş. 4.224'i sağlayan en küçük N_j değeri, j yatırımı için geri dönüş süresini vermektedir. Bu eşitlikte n süresi net değer olarak bilinmek durumundadır.

Önerilen bu eşitlikte yıllık kazanç parametresinin gösterimi Eşitlik 4.226'da gösterilmiş olup, diğer parametrelere ait matris formatında gösterimi Eş. 4.200-Eş. 4.204 arasında gösterilmiştir.

$$\tilde{K} = \left\{ \begin{array}{l} [K_{1L}, K_{1R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ [K_{2L}, K_{2R}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \\ \dots, \\ [K_{kL}, K_{kR}], (\mu_1, v_1), \dots, (\mu_m, v_m), \end{array} \right\} \quad (4.226)$$

m adet karar uzmanın değerlendirmesi Eş. 4.227’de gösterilen birleşim operatörü ile kazanç parametresi tek bir değerlendirmeye dönüştürülür, diğer parametreler ise Eş. 4.206 ve Eş. 4.210 ile tek bir değerlendirmeye dönüştürülmüştür.

$$\tilde{K} = \cup_{j=1}^k \left(\begin{array}{l} [K_{1enk,L}, K_{1enk,R}], (\mu_{1enk}, v_{1enk}), \\ \dots, (\mu_{menk}, v_{menk}) \end{array} \right) = \mu_{K_j} \quad (4.227)$$

$$(\mu_K, \mu_{K_{jv}}), j = 1, \dots k$$

$(\mu_K, \mu_{K_{jv}})(\mu_{M_{j\mu}}, \mu_{M_{jv}}), (\mu_{i_{j\mu}}, \mu_{i_{jv}})$ değerlerine ait durulaştırılmış değerler aşağıdaki Eş. 4.217 kullanılarak elde edilir.

Yukarıdaki eşitliklerin uygulanması sonucunda parametrelere ait olası değerler ve bunlara ait durulaştırılmış üyelik dereceleri elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra, Bai ve Wang (2006) tarafından geliştirilmiş olan ağırlık merkezi yöntemi kullanarak parametrelere ait net değerler Eş. 4.218 ve Eş. 4.219 kullanılarak elde edilir.

Son adımda hesaplanan net değerler Eş. 4.224’te yerine koyularak geri ödeme süresi analizi gerçekleştirilir. Çalışmanın bu bölümünde önerilen bu yönteme ait örnek çözülmemiştir, sadece önerilen eşitlikler gösterilmiştir.

4.6.4. Aralık değerli Pisagor kazanç maliyet analizi

Çalışmanın bu bölümünde aralık değerli Pisagor kazanç maliyet analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler Eşitlik 4.228-4.231’de gösterilmiştir.

$$PKMA_{enk} = \frac{\sum_{n=1}^k K_{Ljn}(P/F, i_R, n)}{M_R + BB_R(P/F, i_R, t) + YB_R(P/A, i_R, n) - HD_R(P/F, i_R, n)}, n = 1, \dots k \quad (4.228)$$

$$PKMA_{enk} = \frac{\sum_{n=1}^k K_{TBD,L} j_n (1+i_R)^{-n}}{M_R + BB_R (1+i_R)^{-t} + YB_R \left(\frac{(1+i_R)^n - 1}{i_R (1+i_R)^n} \right) - HD_R (1+i_R)^{-n}}, n = 1, k \quad (4.229)$$

$$PKMA_{enb} = \frac{\sum_{n=1}^k K_{Rjn} (P/F, i_L, n)}{M_L + BB_L (P/F, i_L, t) + YB_L (P/A, i_L, n) - HD_L (P/F, i_L, n)}, n = 1, \dots k \quad (4.230)$$

$$PKMA_{enb} = \frac{\sum_{n=1}^k K_{Rjn} (1+i_L)^{-n}}{M_L + BB_L (1+i_L)^{-t} + YB_L \left(\frac{(1+i_L)^n - 1}{i_L (1+i_L)^n} \right) - HD_R (1+i_L)^{-n}}, n = 1, \dots k \quad (4.231)$$

Çalışmanın bu bölümünde önerilen eşitliklerdeki parametrelerin net değerlerinin elde edilmesi işlemi daha önceki aralık değerli Pisagor yatırım analizleri elde edilen net değerlerin hesaplanması ile aynı şekilde yapılacaktır. Öncelikle, farklı uzmanların belirlemiş olduğu parametreler ve Pisagor üyelik dereceleri tek bir değere birleştirilecek, Pisagor üyelik dereceleri durulaştırılacak daha sonra merkezi ağırlık yöntemi ile net değerler elde edilecektir. Elde edilen bu değerler Eş. 4.228-4.231’de yerine koyulacak ve aralık değerli kazanç maliyet oranı değeri elde edilecektir. Aralık değer teorisine göre, büyük olan PKMA değerine sahip olan alternatif yatırım alternatififi olarak seçilecektir. Çalışmanın bu bölümünde önerilen bu yönteme ait örnek çözülmemiş, sadece önerilen eşitlikler gösterilmiştir.

5. PİSAGOR BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME MODELİ

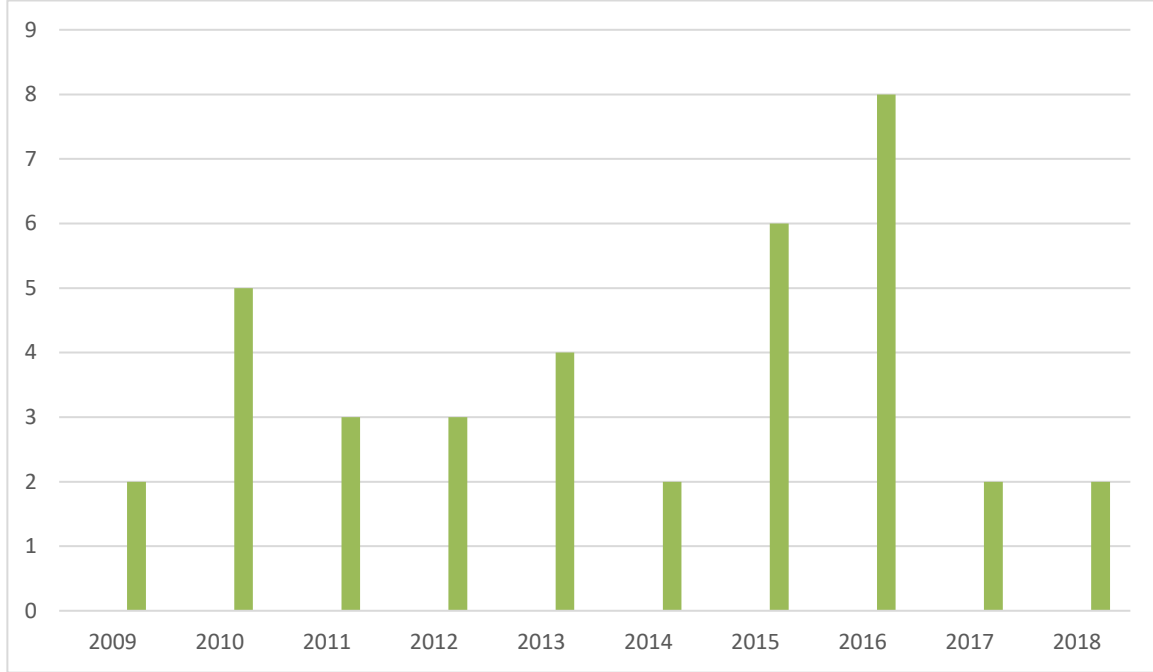
Çalışmanın bu kısmında aralık değerli Pisagor bulanık sayılar ile ÇÖKV yöntemi geliştirilecektir. Bu nedenle öncelikle ÇÖKV yöntemleri için literatür araştırmasına öncelik verilecektir.

5.1. Literatür Araştırması

ÇÖKV yöntemleri 4 farklı alt başlığa ayrılabilir: İkili karşılaştırma matrisi üzerine kurulan yöntemler, önem derecesine göre sıralayan yöntemler, uzaklık tabanlı yöntemler ve diğer yöntemler. İkili karşılaştırma matrisi üzerine kurulan temel yöntemlerde; Saaty (1980) tarafından öz vektör hesaplama yöntemine dayanan ve literatürde çok sık kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) önerilmiştir. Saaty (2005) yaptığı diğer çalışmada AHP’den farklı olarak içsel bağlantıları da hesaba katan Analitik Ağ Prosesi (ANP) önermiştir. Bana ve Vansicik (1999) uzmanın sadece nitel değerlendirmelerini hesaba katan MACBETH yöntemini önermişlerdir. Bu yöntemi diğer yöntemlerden ayıran en büyük özelliği sadece nitel değerlendirmelere ihtiyaç duymasıdır. Önem derecesine göre sıralayan temel yöntemlerde; Roy (1968) ELECTRE adı altında ikili önem derecelendirmesine dayanan “en az kadar iyi” karşılaştırması yapan yöntemi önermiştir. Sonraki yıllarda bu yöntemi temel alan çeşitli ELECTRE yöntemleri önerilmiştir; Roy ve Bertier (1971) tarafından ELECTRE II, Roy (1978) tarafından ELECTRE III, Maystre ve diğerleri (1994) tarafından ELECTRE IV, Roy ve Skalka (1984) tarafından ELECTRE IS, Yu (1992) tarafından ELECTRE TRI yöntemleri olarak geliştirilmiştir. PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) yöntemi Brans ve Vincke (1985) tarafından geliştirilmiş çok ölçütlü bir öncelik belirleme yöntemidir. Brans ve diğerleri (1986) tarafından bahse konu yöntem biraz değiştirilerek modifiye edilmiştir. Daha sonraki yıllarda ise Brans (1982) tarafından PROMETHEE II, Brans ve diğerleri (1986) tarafından PROMETHEE III yöntemleri olarak yöntemin yeni uzantıları geliştirilmiştir. Fasanghari ve Pour (2008) tarafından FORESTE ve Fasanghari (2009) tarafından ORESTE yöntemleri literatüre kazandırılmıştır. Uzaklık tabanlı temel yöntemlerde; Opricovic (1998) tarafından ideal çözüme yakınlık prensibine dayanan VIKOR yöntemi önerilmiştir. Hwang ve Yoon (1981) tarafından pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip alternatifi belirleyen TOPSIS yöntemi önerilmiştir. Diğer temel yöntemlerde; The

Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) Metodu; araştırmada karmaşık ve birbirine girmiş problem gruplarının çözümlünde kullanılması amacıyla 1972 ve 1976 yılları arasında Cenevre Battelle Memorial Enstitüsü, Bilim ve İnsan İlişkileri programı tarafından geliştirilmiştir (Fontela ve Gabus, 1974, 1976). Yöntem Graf tabanlı olarak çalışır ve nedensel ilişkinin temelini oluşturan ilgili faktörleri sebep ve sonuç gruplarına böler. Choquet (1954) tarafından Choquet integral yöntemi ağırlıklı ortalama metodu, sıralı ağırlıklı ortalama metodu ve maksimum minimum operatörünün genelleştirilmiş bir hâli olarak önerilmiştir. Bu yöntemde faktörlerin arasındaki bağımlılık incelenerek sonuca varılır. Diğeri bir karar verme yöntemi aksiyometrik tasarımıdır. Aksiyometrik tasarım, Suh (1998) tarafından geliştirilmiştir ve iki farklı aksiyom tanımlar. İki tasarım aksiyomu ürün tasarımlarını oluşturmaya ve kurulan çözüm alternatiflerinden en iyisini seçmek için oransal bir temel sağlar. Diğeri bir yöntem ise MAUT (Multiple Attribute Utility Theory) yöntemidir ve Keeney ve Fishburn (1974) tarafından önerilmiştir. MAUT yöntemi hem niteliksel hem de niceliksel ölçütler baz alınarak en faydalı alternatifi bulmaya yönelik kullanılan bir yöntemdir. MAUT birbiri ile çatışan birden fazla ölçütü olan problemlerde maksimum faydanın elde edilmesini amaçlamaktadır. SAW (Simple Additive Weighting) yöntemi Churchman ve Ackoff (1954) tarafından literatüre kazandırılmıştır. SAW yönteminde fayda ölçütü için; her bir alternatifi her bir ölçüt açısından aldığı değeri maksimum değere bölümünün ölçüt ağırlığı ile çarpılarak alternatif tercih değeri bulunur. Maliyet ölçütü için ise her bir alternatifi her bir ölçüt açısından aldığı değeri içinden minimum her bir değere bölümünün ölçüt ağırlığı ile çarpılarak alternatif tercih değeri bulunur. Literatürde birçok ÇÖKV yöntemi olmakla beraber, çeşitli araştırmacılar tarafından bu yöntemlerden daha iyi sonuç elde etmek için çeşitli uzantıları geliştirilmiştir. Bizim tarafımızdan gerçekteşirilen çalışmada yeşil tedarik zincirinde uygulamaya yer verileceği için, bu alanda yapılmış ve kullanılmış olan yöntemleri içeren literatür araştırması gerçekteşirilmiştir. Yapılan literatür taramasında; Science Direct, Taylor and Francis ve Scopus veri tabanlarında taranmıştır. Taramada anahtar kelime olarak, "yeşil tedarik zinciri", "karar verme", "çok kriterli karar verme", "çok ölçütlü karar verme", "bulanık mantık" kelimeleri ile arama yapılmıştır. Çalışma 2008'den sonrası için yapılan çalışmalarla kısıtlanmıştır. Çalışmada ayrıca Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinin alt başlıklarından olan ÇÖKV Problemlerinin sadece bulanık kümelerle ilgili uygulamalarına yer verilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde direk konumuzla alakalı 41 yayın olduğu tespit edilmiştir. Bu yayınların

yıllara oranla gerçekleştirilen çalışmalar Şekil 5.1’de ve literatür araştırmasının özeti Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Makalelerin yayımlandıkları yıllara göre sınıflandırılması

Çizelge 5.1. Yeşil tedarik zinciri literatür taraması

Yazar	Çalışmanın içeriği
Chiou ve diğerleri (2008)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık AHP
Lee ve diğerleri (2009)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık AHP+ Delphi metodu
Tuzkaya ve diğerleri (2009)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık ANP
Chen ve diğerleri (2010)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık Gri ilişkisel analiz
Grisi ve diğerleri (2010)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık AHP
Büyüközkan ve Çifçi (2010)	Yeşil tedarik zinciri yöntemi değerlendirme/ Bulanık ANP
Awasthi ve diğerleri (2010)	Yeşil tedarik zinciri yöntemi değerlendirme/ Bulanık TOPSIS
Chen diğerleri (2010)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık gri ilişkisel analizi
Chiou diğerleri (2011)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık AHP
Erol diğerleri (2011)	Yeşil tedarik zinciri performans değerlendirme/ Bulanık MAUT
Büyüközkan ve Çiftçi (2011)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık DEMATEL, Bulanık ANP + Bulanık TOPSIS

Çizelge 5.1. (devam) Yeşil tedarik zinciri literatür taraması	
Paksoy ve diğerleri (2012)	Yeşil tedarik zinciri ağının bulanık optimizasyonu/ Bulanık AHP-Bulanık TOPSIS
Shaw ve diğerleri (2012)	Düşük karbonlu tedarik zinciri geliştirme/ Bulanık AHP+ Bulanık çok amaçlı programlama
Buyukozkan ve Çiftçi (2012)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık DEMETAL+ Bulanık ANP+ Bulanık ANP
Shen ve diğerleri (2013)	Yeşil tedarikçi performans değerlendirmesi/ Bulanık TOPSIS
Tuzkaya (2013)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık Choquet integral
Shen ve diğerleri (2013)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık TOPSIS
Kannan (2013)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık AHP+ Bulanık TOPSIS
Massei ve diğerleri (2013)	Yeşil tedarik zinciri değerlendirme/ Bulanık mantık+ AHP+ELECTREE
Akman (2014)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık VIKOR
Rostamzadeh ve diğerleri (2015)	Yeşil tedarik zinciri yönetim göstergelerinin değerlendirilmesi/ Bulanık VIKOR
Boutkhoul ve diğerleri (2015)	Yeşil tedarik strateji değerlendirme/ Bulanık AHP
Cao ve diğerleri (2015)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık TOPSIS
Govindan ve diğerleri (2015)	Yeşil üretim değerlendirme/ Bulanık AHP
Govindan ve diğerleri (2015)	Yeşil tedarik zinciri uygulaması değerlendirme/ Bulanık DEMATEL
Kumar ve diğerleri (2015)	Yeşil tedarik zinciri risk analizi/ Bulanık AHP
Sang ve diğerleri (2016)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık TODIM
Singh ve diğerleri (2016)	Yeşil tedarik zinciri stratejisi değerlendirme/ Bulanık AHP+ Bulanık VIKOR
Tseng ve diğerleri (2016)	Yeşil tedarik zinciri değerlendirme/ Bulanık TODIM
Chen ve diğerleri (2016)	Yeşil tedarikçi değerlendirme/ Bulanık AHP+ Bulanık TOPSIS
Awasthi ve Kannan (2016)	Yeşil tedarikçi geliştirme program seçimi/ Bulanık nominal grup tekniği+ Bulanık VIKOR
Uygun ve Dede (2016)	Yeşil tedarik zinciri performans değerlendirme/ Bulanık DEMATEL+ Bulanık ANP+ Bulanık TOPSIS
Kanga ve diğerleri (2016)	Yeşil tedarikçi seçimi/ Bulanık AHP (Z sayılar)
Celik ve diğerleri (2016)	Yeşil lojistik servis sağlayıcı değerlendirme/ Bulanık TOPSIS+ Bulanık Gri ilişkisel analiz
Banaeian ve diğerleri (2017)	Yeşil tedarikçi seçimi/ Bulanık TOPSIS VIKOR+ Gri İlişkisel Analiz
Hamdan ve Cheaitou (2017)	Yeşil tedarikçi seçimi/ Bulanık TOPSIS+ AHP
Quin ve diğerleri (2017)	Yeşil tedarikçi seçimi/ Bulanık TODIM
Sarı ve Suslu (2018)	Yeşil tedarik zinciri değerlendirme/ Bulanık TOPSIS
Torkabadi (2018)	Tedarik zinciri sürdürülebilirlik değerlendirme/ Bulanık AHP
Rostamzadeh ve diğerleri (2018)	Yeşil tedarik zinciri risk yönetimi/ Bulanık TOPSIS
Rostamzadeh ve diğerleri (2018)	Yeşil tedarik zinciri risk yönetimi/ Bulanık AHP

5.2. Pisagor Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Modeli Adımları

Bu bölümde aralıklı Pisagor sayılar ile, olasılık derecesi sıralama yöntemi, entropi kavramı ve kosinüs benzerlik kavramlarını kullanan yeni bir ÇÖKV yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde öncelikle ölçütlere ait ikili karşılaştırma matrisi kurulacak ve ölçütlerin ağırlıkları olasılık derecesi sıralama yöntemi yardımıyla hesaplanacaktır. Sonraki adımda alternatiflerin ölçütlere göre önemini belirten, uzmanlar tarafından aralıklı Pisagor sayıları kullanarak her bir ölçüte göre alternatifleri değerlendiren karar matrisi kurulacaktır. Karar matrisinde öncelikle alternatiflere ait entropi değerleri, entropi teorisiyle yardımıyla hesaplanacaktır. Sonraki adımda çözüm kümesine ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm vektörleri belirlenerek, alternatiflerin bu vektörlere olan kosinüs benzerliği hem ölçütlerin ağırlıklarını hem de alternatiflerin entropi değerlerini hesaba katan yeni bir yaklaşım ile hesaplanacaktır. İdeal Çözüme Göreli Benzerliği en fazla olan alternatif, en iyi alternatif olarak seçilecektir. Bu çalışmada öncelikle ölçütlere ait ağırlıkların bulunması ile ilgili adımlar açıklanacaktır. Önerilen yöntemin adımları şu şekildedir:

Adım 1: Uzmanlar uzlaşma yoluyla ölçütlere ait ikili karşılaştırma matrisi oluştururlar. İkili karşılaştırma matrisinde ölçütlerin birbirlerine olan üstünlükleri, uzmanlar tarafından aralık değerli Pisagor sayılar atanarak belirlenecektir.

$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n} = ([\mu_{ij}^-, \mu_{ij}^+], [v_{ij}^-, v_{ij}^+])_{n \times n}$ ölçütlere ait aralık değerli Pisagor ikili karşılaştırma matrisi olarak tanımlansın.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} [\mu_{11}^-, \mu_{11}^+], [v_{11}^-, v_{11}^+] & \cdots & [\mu_{1n}^-, \mu_{1n}^+], [v_{1n}^-, v_{1n}^+] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [\mu_{n1}^-, \mu_{n1}^+], [v_{n1}^-, v_{n1}^+] & \cdots & [\mu_{nn}^-, \mu_{nn}^+], [v_{nn}^-, v_{nn}^+] \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

İkili karşılaştırma matrisinde kullanılacak olan ölçek Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. İkili karşılaştırma matrisi ölçeği

Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	[0,00; 0,00], [1,00; 1,00]
Çok düşük önemli (ÇDÖ)	[0,05; 0,10], [0,85; 0,95]
Düşük önemli (DÖ)	[0,06; 0,13], [0,71; 0,90]
Az önemli (AÖ)	[0,12; 0,15], [0,50; 0,75]
Eşit önemli (EÖ)	[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]
Biraz önemli (BÖ)	[0,50; 0,75], [0,12; 0,15]
Çok önemli (ÇÖ)	[0,71; 0,90], [0,06; 0,13]
Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	[0,85; 0,95], [0,05; 0,10]
Kesinlikle önemli (KÖ)	[1,00; 1,00], [0,00; 0,00]

Adım 2: İkinci adımda $\tilde{A}$ matrisine ait puan matrisi kurulur. Puan matrisini amacı, üye ve üye olmama fonksiyonları arasındaki en düşük ve en yüksek noktaların bulunmasıdır.

$$S = (s_{ij})_{n \times n} = [\mu_{ij}^{-2} - v_{ij}^{+2}, \mu_{ij}^{+2} - v_{ij}^{-2}] \quad (5.2)$$

olarak tanımlansın. Puan matrisi gösterimi şu şekildedir:

$$S = \begin{bmatrix} [\mu_{11}^{-2} - v_{11}^{+2}, \mu_{11}^{+2} - v_{11}^{-2}] & \cdots & [\mu_{1n}^{-2} - v_{1n}^{+2}, \mu_{1n}^{+2} - v_{1n}^{-2}] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [\mu_{n1}^{-2} - v_{n1}^{+2}, \mu_{n1}^{+2} - v_{n1}^{-2}] & \cdots & [\mu_{nn}^{-2} - v_{nn}^{+2}, \mu_{nn}^{+2} - v_{nn}^{-2}] \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Adım 3: Sonraki adımda, puan matrisine ait çarpımsal matris bulunur. Çarpımsal matris puan matrisinin oluşturulmasından ortaya çıkan negatif değerlerden pozitif değerlere geçmek için hesaplanır. Çarpımsal matris şu şekilde hesaplanır:

$$M = (m_{ij})_{n \times n} = [e^{(\mu_{ij}^{-2} - v_{ij}^{+2})}, e^{(\mu_{ij}^{+2} - v_{ij}^{-2})}] \quad (5.4)$$

$$M = \begin{bmatrix} [e^{(\mu_{11}^{-2} - v_{11}^{+2})}, e^{(\mu_{11}^{+2} - v_{11}^{-2})}] & \cdots & [e^{(\mu_{1n}^{-2} - v_{1n}^{+2})}, e^{(\mu_{1n}^{+2} - v_{1n}^{-2})}] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [e^{(\mu_{n1}^{-2} - v_{n1}^{+2})}, e^{(\mu_{n1}^{+2} - v_{n1}^{-2})}] & \cdots & [e^{(\mu_{nn}^{-2} - v_{nn}^{+2})}, e^{(\mu_{nn}^{+2} - v_{nn}^{-2})}] \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Adım 4: Her bir ölçüte ait aralıklı ağırlık w_i değeri çarpımsal matris'e $M = (m_{ij})_{n \times n}$ ait öncelik vektörü belirlenerek hesaplanır.

$$w_i = \left[\frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}^-}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}^+}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}^+}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}^-} \right] \quad (5.6)$$

Adım 5: Elde edilen ağırlıkları karşılaştırmak amacıyla olasılık matrisi $P = (p_{ij})_{m \times n}$ aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edilir (Wan ve Dong, 2014).

$$P(w_i \geq w_j) = \frac{\min\{L_{w_i} + L_{w_j}, \max(w_i^+ - w_j^-, 0)\}}{L_{w_i} + L_{w_j}} \quad (5.7)$$

Burada, $L_{w_i} = w_i^+ - w_i^-$, $L_{w_j} = w_j^+ - w_j^-$ ve $p_{ij} \geq 0$, $p_{ij} + p_{ji} = 1$, $p_{ii} = 1/2$.

$P = (p_{ij})_{m \times n}$ matrisi için aşağıdaki eşitlik kullanılarak önceliklendirme işlemi yapılır:

$$w_i = \frac{1}{n(n-1)} \left[\sum_{j=1}^n p_{ij} + \frac{n}{2} - 1 \right] \quad (5.8)$$

Adım 6: Eş. 5.9 ile elde edilen ağırlık vektörü normalize edilir ve ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmış olur.

$$w_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \forall_i \quad (5.9)$$

$$w_i = w_j$$

Adım 7: Bu adımda her bir alternatifin ölçütlere göre değerlendirilmesi aralıklı Pisagor sayılar kullanılarak gerçekleştirilir ve karar matrisi oluşturulur. Uzmanlar, kendilerine sunulan ölçekler vasıtasıyla karar matrisini oluşturacaklardır. Ancak, sunulan ölçeklerde uzmanın değerlendirme yapmak istediği herhangi bir aralık mevcut değil ise, uzman bu

aralıktaki atamayı kendi serbest olarak yapabilecektir. Oluşturulacak olan karar matrisinin yapısı aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$\tilde{D} = (\tilde{d}_{ij})_{m \times n} = ([\mu_{ij}^-, \mu_{ij}^+], [v_{ij}^-, v_{ij}^+]) \quad (5.10)$$

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots \cdots & C_n \\ A_1 & \left(\begin{matrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \end{matrix} \right) \\ A_2 & \left(\begin{matrix} d_{21} & \ddots & & d_{2n} \end{matrix} \right) \\ \vdots & \left(\begin{matrix} \vdots & & \ddots & \vdots \end{matrix} \right) \\ A_m & \left(\begin{matrix} d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{matrix} \right) \end{matrix} \quad (5.11)$$

Adım 8: Karar matrisindeki her bir alternatifin, ölçütlere göre değerlendirilmesinde kullanılan aralık Pisagor sayı değerlendirmelerinin entropi değeri bulunur (Xue ve diğerleri, 2017).

$$E_i = \frac{1}{n} \sum_j^n \left[1 - \frac{(\mu_{ij}^{-2} + \mu_{ij}^{+2} + v_{ij}^{-2} + v_{ij}^{+2}) \cdot |(\mu_{ij}^{-2} + \mu_{ij}^{+2}) - (v_{ij}^{-2} + v_{ij}^{+2})|}{4} \right], \forall_i \quad (5.12)$$

Adım 9: Bu adımda d_i ters entropi değeri Eş. 5.13 ile hesaplanır.

$$d_i = 1 - E_i, \forall_i \quad (5.13)$$

Adım 10: Eş. 5.14 yardımıyla i alternatifinin ölçütlere göre entropi değeri olan ω_i değeri hesaplanır.

$$\omega_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i}, \forall_i \quad (5.14)$$

Adım 11: Karar matrisindeki aralıklı Pisagor sayıları içeren değerlendirmeler, tek değerli Pisagor sayılara aşağıdaki eşitlikle dönüştürülür. Yeni karar matrisi $R = (r_{ij})_{m \times n} = [\mu_{ij}^2, v_{ij}^2]_{n \times n}$ şu şekildedir:

$$[\mu_{ij}^2, v_{ij}^2] = \left(\left[\frac{\mu_{ij}^{-2} + \mu_{ij}^{+2}}{2} \right], \left[\frac{v_{ij}^{-2} + v_{ij}^{+2}}{2} \right] \right) \quad (5.15)$$

$$[\pi_{ij}^2] = \sqrt{1 - \mu_{ij}^2 - v_{ij}^2} \quad (5.16)$$

Adım 12: Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm vektörlerinin belirlenir.

Pozitif ideal çözüm $\tilde{\alpha}_i^+ = (\tilde{\alpha}_1^+, \tilde{\alpha}_2^+, \dots, \tilde{\alpha}_m^+)$ ve negatif ideal çözüm $\tilde{\alpha}_i^- = (\tilde{\alpha}_1^-, \tilde{\alpha}_2^-, \dots, \tilde{\alpha}_m^-)$ olarak belirlenir. Burada $\tilde{\alpha}_i^+ = (1, 0, 0)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) en büyük Pisagor sayısı ve $\tilde{\alpha}_i^- = (0, 1, 0)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) en küçük Pisagor sayıdır.

Adım 13. Karar Matrisine ait pozitif ideal benzerlik (D_i^+) ve negatif ideal benzerlik (D_i^-) çözüm aşağıdaki eşitlikler ile belirlenir (Wei, G., Wei, Y., 2018).

$$D_i^+ = (\tilde{A}, \tilde{\alpha}^+) = \sum_{j=1}^n w_j \frac{\mu_{\tilde{A}_{ij}}^2 \mu_{\tilde{a}_{ij}}^2 + v_{\tilde{A}_{ij}}^2 v_{\tilde{a}_{ij}}^2 + \pi_{\tilde{A}_{ij}}^2 \pi_{\tilde{a}_{ij}}^2}{\sqrt{\mu_{\tilde{A}_{ij}}^4 + v_{\tilde{A}_{ij}}^4 + \pi_{\tilde{A}_{ij}}^4} \sqrt{\mu_{\tilde{a}_{ij}}^4 + v_{\tilde{a}_{ij}}^4 + \pi_{\tilde{a}_{ij}}^4}} \quad (5.17)$$

$$D_i^- = (\tilde{A}, \tilde{\alpha}^-) = \sum_{j=1}^n w_j \frac{\mu_{\tilde{A}_{ij}}^2 \mu_{\tilde{a}_{ij}}^2 + v_{\tilde{A}_{ij}}^2 v_{\tilde{a}_{ij}}^2 + \pi_{\tilde{A}_{ij}}^2 \pi_{\tilde{a}_{ij}}^2}{\sqrt{\mu_{\tilde{A}_{ij}}^4 + v_{\tilde{A}_{ij}}^4 + \pi_{\tilde{A}_{ij}}^4} \sqrt{\mu_{\tilde{a}_{ij}}^4 + v_{\tilde{a}_{ij}}^4 + \pi_{\tilde{a}_{ij}}^4}} \quad (5.18)$$

Adım 14. Çarpımsal pozitif ideal benzerlik (B_i^+) ve çarpımsal ait negatif ideal benzerlik (B_i^-) hesaplanır.

$$B_i^+ = \frac{-1}{\ln(\omega_i \cdot D_i^+)} \quad (5.19)$$

$$B_i^- = \frac{-1}{\ln(\omega_i \cdot D_i^-)} \quad (5.20)$$

Adım 15. İdeal çözüme görelî benzerliği şu şekilde hesaplanır.

$$C_i = \frac{B_i^+}{B_i^- + B_i^+}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5.21)$$

Adım 16. En iyi alternatifin seçilmesi.

Görelî benzerliği en fazla olan alternatif, en iyi alternatif olarak seçilecektir.

6. UZMAN KARARLARININ YIĞIŞTIRILMASI

6.1. Literatür Araştırması

Çalışmanın bu bölümünde, yamuk Pisagor bulanık sayılar için yığışım operatörü önerilecektir. Bu alanda gerçekleştirilmiş çalışmaları incelemek amacıyla yapılan literatür taramasında; “Science Direct”, “Taylor and Francis” ve “Scopus” veri tabanları taranmıştır. Yapılan taramada anahtar kelime olarak, yığışım operatörü, Pisagor küme, Pisagor bulanık sayı, Yamuk Pisagor bulanık sayı kelimeleri ile arama yapılmıştır. Bu kapsamda yapılmış 49 adet çalışmaya rastlanmış ancak bunların 30 adedinin direk olarak konumuzla alakalı olduğu görülmüştür. Çizelge 6.1’de literatür taramasına yer verilmiştir. Gerçekleştirilen literatür araştırması kapsamında Pisagor bulanık sayılarla harmonik ortalamayı kullanan herhangi bir çalışmanın gerçekleştirilmediği tespit edilmiştir. Ayrıca yamuk Pisagor bulanık sayılarla ilgili herhangi bir yığışım operatörü geliştirilmediği görülmüştür. Harmonik ortalama özellikle aykırı değer bulunan serilerin ortalamalarının hesaplanmasında aykırı değerlerin etkisini en aza indirerek serinin ortalamasını daha anlamlı şekilde hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu nedenle özellikle farklı uzmanların görüşlerine başvurarak çözülmeye çalışılan ÇKKV problemlerinde, eğer karar matrisinde uzamanlara ait aykırı değerler tespit edilirse harmonik ortalama ile işlem yapan yığışım operatörünün kullanılması daha anlamlı yığıştırılmış değerlerin elde edilmesine neden olacaktır. Bu esaslardan yola çıkarak yamuk pisagor bulanık sayılar için harmonik ortalama kullanan yeni yığışım operatörleri önerilmiştir. Önerilen bu yığışım operatörleri Soft Computing dergisinde 10.1007/s00500-019-04638-4 doi numarası ile yayımlanmış ve literatüre kazandırılmıştır. Bu makale çalışması kapsamında yamuk bulanık sayılar ile harmonik ortalama eşitlikleri geliştirilmiş ve ayrıca ÇÖKV problemleri içerisinde uygulaması gösterilmiştir. Tez çalışması kapsamında sadece önerilen eşitlikler gösterilecek olup, karar verme problemi içerisindeki uygulamaları gösterilmeyecektir.

Çizelge 6.1. Pisagor bulanık sayılar yığılma operatörü literatür taraması

Yazar	Çalışmanın içeriği
Yager ve Abbasov (2013)	Geometrik ortalama ve düzenli ağırlıklı geometrik ortalama operatörü
Yager (2014)	Aritmetik, geometrik, ağırlıklı aritmetik ortalama
Peng ve Yang (2015)	Bulanık ağırlıklı aritmetik, ağırlıklı geometrik ortalama, Bulanık nokta operatörleri
Liang ve diğerleri (2015)	Bulanık ağırlıklı aritmetik ortalama
Garg (2015)	Pisagor bulanık Einstein ağırlıklı ortalama, Pisagor bulanık Einstein düzenli ağırlıklı ortalama, genelleştirilmiş Pisagor bulanık Einstein ağırlıklı ortalama operatörleri
Peng ve Yang (2016)	Pisagor bulanık Choquet integral ortalama operatör, Pisagor bulanık Choquet integral geometrik operatörü
Zeng ve diğerleri (2016)	Pisagor bulanık düzenli ağırlıklı ortalama ağırlıklandırılmış ortalama mesafe operatörü
Garg (2016)	Aralıklı Pisagor bulanık sayılar için bulanık ağırlıklı ortalama operatörü
Zhang (2016)	Pisagor bulanık yakınlık endeks tabanlı ağırlıklı ortalama
Zhang (2016)	Pisagor bulanık ağırlıklı geometrik/ortalama operatörü
Peng ve Yang (2016)	Aralıklı Pisagor bulanık sayılar için ağırlıklı geometrik ve aralıklı Pisagor bulanık sayılar için ağırlıklı ortalama operatörü
Zhang ve diğerleri (2016)	Pisagor bulanık çoklu granülasyon operatörü
Ma ve Xu (2016)	Simetrik Pisagor bulanık ağırlıklı geometrik/ortalama operatörü
Peng ve Yuan (2016)	Pisagor bulanık ağırlıklı ortalama, Pisagor bulanık nokta operatörü, genelleştirilmiş Pisagor bulanık nokta ağırlıklandırılmış ortalama operatörü
Liu ve diğerleri (2017)	Pisagor bulanık Bonferroni ortalama operatörü
Garg (2017)	Pisagor bulanık Einstein ağırlıklı geometrik, genelleştirilmiş Pisagor bulanık Einstein ağırlıklı geometrik, Pisagor bulanık Einstein düzenli ağırlıklı geometrik, genelleştirilmiş Pisagor bulanık Einstein düzenli ağırlıklı geometrik operatörler
Garg (2017)	Pisagor bulanık ağırlıklı ortalama, Pisagor bulanık düzenli ağırlıklı ortalama, Pisagor bulanık geometrik ortalama
Rahman ve diğerleri (2017)	Pisagor bulanık Einstein ağırlıklı geometrik operatör
Peng ve diğerleri (2017)	Ağırlıklı Pisagor bulanık geometrik Bonferroni ortalama
Zeng (2017)	Pisagor bulanık olasılık düzenli ağırlıklı ortalama operatörü
Du ve diğerleri (2017)	Aralık değerli Pisagor bulanık dilsel ağırlıklı ortalama, aralık değerli Pisagor bulanık dilsel düzenli ağırlıklı ortalama, genelleştirilmiş aralık değerli Pisagor bulanık dilsel ağırlıklı ortalama
Wei ve Lu (2017)	Pisagor bulanık etkileşimli ağırlıklı geometrik ve aritmetik ortalama
Wu ve Wei (2017)	Pisagor bulanık Hamacher yığılma operatörü
Lu ve diğerleri (2017)	Tereddütlü Pisagor bulanık Hamacher yığılma operatörü
Lu and Wei (2017)	Pisagor belirsiz dilsel yığılma operatörü
Wei ve Lu (2018)	Pisagor bulanık güç yığılma operatörü
Wei ve diğerleri (2018)	Pisagor bulanık Hamacher yığılma operatörü
Garg (2018)	Tereddütlü Pisagor bulanık Maclaurin simetrik ortalama operatörü
Tang ve Wei (2019)	Pisagor bulanık Bonferroni yığılma operatörü
Shakeel ve diğerleri (2018)	Aralık değerli Pisagor yamuk bulanık ağırlıklı ortalama, aralık değerli Pisagor yamuk bulanık düzenli ağırlıklı ortalama, aralık değerli Pisagor yamuk bulanık melez ortalama yığılma operatörü

6.2. Önerilen Modelin Adımları

Tanım 1. X tüm elamanların tanımlandığı bir uzay kümesi olsun. Bir Pisagor küme olan $\tilde{P}$, X kümesi içerisinde tanımlansın ve 3'üncü bölümde tanımlanan eşitliklerle gösterilir.

$$\tilde{P} = \{(x, \mu_{\tilde{P}}(x), v_{\tilde{P}}(x)) | x \in X\} \quad (3.46)$$

$$\mu_{\tilde{P}}: X \rightarrow [0,1], v_{\tilde{P}}: X \rightarrow [0,1] \quad (3.47)$$

$$0 \leq (\mu_{\tilde{P}}(x))^2 + (v_{\tilde{P}}(x))^2 \leq 1 \quad (3.48)$$

Bu durumda tereddüt derecesi şu şekilde hesaplanır:

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = \sqrt{1 - (\mu_{\tilde{P}}(x))^2 - (v_{\tilde{P}}(x))^2} \quad (3.49)$$

Tanım 2. $a \geq 0$ ve p, r, q , ve s sıfırdan farklı olmak üzere, $TrPFN(\text{yamuk bulanık sayı}) = \tilde{P} = [(p, r, q, s); \mu_{\tilde{P}}, v_{\tilde{P}}]$ yamuk Pisagor bulanık sayı olarak tanımlanır (Shakeel ve diğerleri, 2018).

Tanım 3. $\tilde{A}_1 = [(p_1, r_1, q_1, s_1); \mu_{\tilde{A}_1}, v_{\tilde{A}_1}]$ ve $\tilde{A}_2 = [(p_2, r_2, q_2, s_2); \mu_{\tilde{A}_2}, v_{\tilde{A}_2}]$ iki farklı yamuk Pisagor bulanık sayı olarak tanımlansın ve $\alpha \geq 0$ reel sayı olarak tanımlansın (Yager ve Abbasoy, 2018).

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = \left[(p_1 + p_2, r_1 + r_2, q_1 + q_2, s_1 + s_2); \sqrt{(\mu_{\tilde{A}_1})^2 + (\mu_{\tilde{A}_2})^2 - \mu_{\tilde{A}_1}^2 \mu_{\tilde{A}_2}^2}, v_{\tilde{A}_1}, v_{\tilde{A}_2} \right] \quad (6.1)$$

$$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 = \left[(p_1 p_2, r_1 r_2, q_1 q_2, s_1 s_2); \mu_{\tilde{A}_1} \mu_{\tilde{A}_2} \sqrt{(v_{\tilde{A}_1})^2 + (v_{\tilde{A}_2})^2 - (v_{\tilde{A}_1} v_{\tilde{A}_2})} \right] \quad (6.2)$$

$$\alpha \tilde{A}_2 = \left[(\alpha p_1, \alpha r_1, \alpha q_1, \alpha s_1); \sqrt{1 - (1 - \mu_{A_1}^2)^\alpha}, v_{A_2}^\alpha \right] \quad (6.3)$$

$$\tilde{A}_2^\alpha = \left[(p_1^\alpha, r_1^\alpha, q_1^\alpha, s_1^\alpha); \mu_{A_1}^\alpha, \sqrt{1 - (1 - v_{A_1}^2)^\alpha} \right] \quad (6.4)$$

Tanım 4. $\tilde{A} = \left[(p_1, r_1, q_1, s_1); \mu_{A_1}, v_{A_1} \right]$ pozitif yamuk Pisagor bulanık sayı olarak tanımlansın.

$$\frac{1}{\tilde{A}} = \tilde{A}^{-1} \left[\left(\frac{1}{s_1}, \frac{1}{q_1}, \frac{1}{r_1}, \frac{1}{p_1} \right); \mu_{A_1}, v_{A_1} \right] \quad (6.5)$$

Tanım 5. $\tilde{A}_j = \left[(p_j, r_j, q_j, s_j); \mu_{A_j}, v_{A_j} \right]$ pozitif yamuk Pisagor bulanık sayı olma üzere, skor fonksiyonu olan s şu şekilde tanımlanır:

$$s(\tilde{A}) = \left(\frac{p+r+q+s}{4} \cdot \frac{\mu^2 - v^2}{2} \right) \quad s(\tilde{A}) \in [-1, 1] \quad (6.6)$$

Tanım 6. $\tilde{A}_j = \left[(p_j, r_j, q_j, s_j); \mu_{A_j}, v_{A_j} \right]$ pozitif yamuk Pisagor bulanık sayı olma üzere, doğruluk fonksiyonu olan h şu şekilde tanımlanır:

$$h(\tilde{A}) = \left(\frac{p+r+q+s}{4} \cdot \frac{\mu^2 + v^2}{2} \right) \quad h(\tilde{A}) \in [0, 1] \quad (6.7)$$

Tanım 7. $\tilde{A}_j = \left[(p_j, r_j, q_j, s_j); \mu_{A_j}, v_{A_j} \right] (j = 1, 2, \dots, n)$ pozitif yamuk Pisagor bulanık sayıları temsil etsin,

$f_\tau^H: F^n \rightarrow F$ yamuk Pisagor bulanık ağırlıklı harmonik ortalama operatörünü (TrPFWHM) temsil eder ve aşağıdaki durumları sağlamak durumundadır.

$$\text{TrPFWHM}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{A_j}} \quad (6.8)$$

Bu eşitlikte $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)^T$ yamuk Pisagor bulanık sayının ağırlık vektörüdür ve $\tilde{A}_j (j = 1, 2, \dots, n), \tau_j \in [0, 1]$ ve $\sum_{j=1}^n \tau_j = 1$.

Teorem 1. $\tilde{A}_j = \left[(p_j, r_j, q_j, s_j); \mu_{\tilde{A}_j}, v_{\tilde{A}_j} \right] (j = 1, 2, \dots, n)$ yamuk Pisagor bulanık sayılar topluluğu olarak tanımlansın ve $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)^T$ $\tilde{A}_j$ 'nin ağırlık vektörü olarak tanımlansın. Burada $\tau_j \in [0, 1], \sum_{j=1}^n \tau_j = 1$. Bu durumda yamuk Pisagor bulanık harmonik ağırlıklı yığılma operatörü ($TrPFWHM$) şu şekilde olacaktır:

$$\begin{aligned} & TrPFWHM(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) \\ &= \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{p_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{r_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{q_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{s_j}} \right); 1 - \prod_{j=1}^n (1 - w_{\tilde{A}_j}^{\tau_j}), \prod_{j=1}^n u_{\tilde{A}_j}^{\tau_j} \right] \end{aligned} \quad (6.9)$$

İspat:

$n=2$ olduğu durumda, $TrPFWHM(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2)$ şu şekilde hesaplanacaktır:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\frac{\tau_1}{\tilde{A}_1} + \frac{\tau_2}{\tilde{A}_2}} &= \frac{1}{\frac{\tau_1}{\left[(p_1, q_1, r_1, s_1); \mu_{\tilde{A}_1}, v_{\tilde{A}_1} \right]} + \frac{\tau_2}{\left[(p_2, q_2, r_2, s_2); \mu_{\tilde{A}_2}, v_{\tilde{A}_2} \right]}} \\ &= \frac{1}{\tau_1 \left[\left(\frac{1}{s_1}, \frac{1}{q_1}, \frac{1}{r_1}, \frac{1}{p_1} \right); \mu_{\tilde{A}_1}, v_{\tilde{A}_1} \right] + \tau_2 \left[\left(\frac{1}{s_2}, \frac{1}{q_2}, \frac{1}{r_2}, \frac{1}{p_2} \right); \mu_{\tilde{A}_2}, v_{\tilde{A}_2} \right]} \\ &= \frac{1}{\left[\left(\frac{\tau_1}{s_1}, \frac{\tau_1}{q_1}, \frac{\tau_1}{r_1}, \frac{\tau_1}{p_1} \right); \sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_1}^2)^{\tau_1}}, (v_{\tilde{A}_1})^{\tau_1} \right] + \left[\left(\frac{\tau_2}{s_2}, \frac{\tau_2}{q_2}, \frac{\tau_2}{r_2}, \frac{\tau_2}{p_2} \right); \sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_2}^2)^{\tau_2}}, (v_{\tilde{A}_2})^{\tau_2} \right]} \\ &= \frac{1}{\left[\left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{s_1}, \frac{\tau_1 + \tau_2}{q_1}, \frac{\tau_1 + \tau_2}{r_1}, \frac{\tau_1 + \tau_2}{p_1} \right); \sqrt{\left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_1}^2)^{\tau_1}} \right)^2 + \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_2}^2)^{\tau_2}} \right)^2} - \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_1}^2)^{\tau_1}} \sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_2}^2)^{\tau_2}} \right), (v_{\tilde{A}_1})^{\tau_1} (v_{\tilde{A}_2})^{\tau_2} \right]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\left[\left(\frac{\tau_1}{s_1} + \frac{\tau_2}{s_2}, \frac{\tau_1}{q_1} + \frac{\tau_2}{q_2}, \frac{\tau_1}{r_1} + \frac{\tau_2}{r_2}, \frac{\tau_1}{p_1} + \frac{\tau_2}{p_2} \right); \sqrt{1 - (1 - \mu_{A_1}^2)^{\tau_1 + 1 - (1 - \mu_{A_2}^2)^{\tau_1}} - \left((1 - (1 - \mu_{A_1}^2)^{\tau_1}) (1 - (1 - \mu_{A_2}^2)^{\tau_1}) \right) (v_{A_1}^{\tau_1} (v_{A_2}^{\tau_1}))} \right]} \\
&= \frac{1}{\left[\left(\frac{\tau_1}{s_1} + \frac{\tau_2}{s_2}, \frac{\tau_1}{q_1} + \frac{\tau_2}{q_2}, \frac{\tau_1}{r_1} + \frac{\tau_2}{r_2}, \frac{\tau_1}{p_1} + \frac{\tau_2}{p_2} \right); 1 - \prod_{j=1}^2 (1 - \mu_{A_j}^{\tau_j}), \prod_{j=1}^2 v_{A_j}^{\tau_j} \right]} \\
&= \left[\left(\frac{1}{\frac{\tau_1}{p_1} + \frac{\tau_2}{p_2}}, \frac{1}{\frac{\tau_1}{r_1} + \frac{\tau_2}{r_2}}, \frac{1}{\frac{\tau_1}{q_1} + \frac{\tau_2}{q_2}}, \frac{1}{\frac{\tau_1}{s_1} + \frac{\tau_2}{s_2}} \right); 1 - \prod_{j=1}^2 (1 - \mu_{A_j}^{\tau_j}), \prod_{j=1}^2 v_{A_j}^{\tau_j} \right] \\
&= \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^2 \frac{\tau_j}{p_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^2 \frac{\tau_j}{r_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^2 \frac{\tau_j}{q_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^2 \frac{\tau_j}{s_j}} \right); 1 - \prod_{j=1}^2 (1 - \mu_{A_j}^{\tau_j}), \prod_{j=1}^2 v_{A_j}^{\tau_j} \right]
\end{aligned}$$

Eşitlik 6.9’da $n=k$, olduğunu varsayalım.

$$= \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{\tau_j}{p_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{\tau_j}{r_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{\tau_j}{q_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{\tau_j}{s_j}} \right); 1 - \prod_{j=1}^k (1 - \mu_{A_j}^{\tau_j}), \prod_{j=1}^k v_{A_j}^{\tau_j} \right] \quad (6.10)$$

$n=k+1$ için ise yukarıdaki eşitlik şu şekilde olacaktır:

$$= \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^{k+1} \frac{\tau_j}{p_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^{k+1} \frac{\tau_j}{r_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^{k+1} \frac{\tau_j}{q_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^{k+1} \frac{\tau_j}{s_j}} \right); 1 - \prod_{j=1}^{k+1} (1 - \mu_{A_j}^{\tau_j}), \prod_{j=1}^{k+1} v_{A_j}^{\tau_j} \right] \quad (6.11)$$

Önerilen yeni yığılma operatörünün özellikleri ise:

Denk güçlülük (idempotency) özelliği:

$$\text{TrPFWHM}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \text{TrPFWHM}(\tilde{A}, \tilde{A}, \dots, \tilde{A}) = \tilde{A} \quad (6.12)$$

İspat:

$$\text{TrPFWHM}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n)$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{p_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{r_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{q_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{s_j}} \right); 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{A_j}^{\sim})^{\tau_j}, \prod_{j=1}^n v_{A_j}^{\sim \tau_j} \right] \\
&= \left[\left(\frac{1}{\left(\frac{\sum_{j=1}^n \tau_j}{p} \right)}, \frac{1}{\left(\frac{\sum_{j=1}^n \tau_j}{r} \right)}, \frac{1}{\left(\frac{\sum_{j=1}^n \tau_j}{q} \right)}, \frac{1}{\left(\frac{\sum_{j=1}^n \tau_j}{s} \right)} \right); 1 - (1 - \mu_A^{\sim})^{\sum_{j=1}^n \tau_j}, v_A^{\sim \sum_{j=1}^n \tau_j} \right] \\
&= [(p, r, q, s); \mu_A^{\sim}, v_A^{\sim}] \left(\because \sum_{j=1}^n \tau_j = 1 \right) = \tilde{A}
\end{aligned}$$

Monotonluk (Monotonicity) özelliği:

$\tilde{A}_j = [(p_j, r_j, q_j, s_j); \mu_{A_j}^{\sim}, v_{A_j}^{\sim}]$ ve $\tilde{B}_j = [(t_j, u_j, y_j, z_j); \mu_{B_j}^{\sim}, v_{B_j}^{\sim}]$ ($j = 1, 2, \dots, n$) iki farklı yamuk Pisagor bulanık sayı olsun. Eğer, $p_j \leq t_j, r_j \leq u_j, q_j \leq y_j, s_j \leq z_j, \mu_{A_j}^{\sim} \leq \mu_{B_j}^{\sim}$ ve $v_{A_j}^{\sim} \geq v_{B_j}^{\sim} \forall j$, ise bu durumda aşağıdaki eşitlik sağlanacaktır.

$$\text{TrPFWHM}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) \leq \text{TrPFWHM}(\tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \dots, \tilde{B}_n) \quad (6.13)$$

İspat: $p_j \leq t_j$ ve $\tau_j \geq 0, \forall j$

$$\therefore \frac{\tau_j}{p_j} \geq \frac{\tau_j}{t_j} = \sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{p_j} \geq \sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{t_j} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{p_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{t_j}}$$

Diğer hesaplamalar şu şekilde olacaktır:

$$\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{r_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{u_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{q_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{y_j}} \text{ ve } \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{s_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{z_j}}$$

Bu nedenle,

$$\mu_{A_j}^{\sim} \leq \mu_{B_j}^{\sim} = 1 - \mu_{A_j}^{\sim} \geq 1 - \mu_{B_j}^{\sim}$$

$$\prod_{j=1}^n (1 - \mu_{A_j}^{\sim})^{\tau_j} \geq \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{B_j}^{\sim})^{\tau_j}, \tau_j \geq 0, \forall j,$$

$$1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{A_j}^{\sim})^{\tau_j} \leq 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{B_j}^{\sim})^{\tau_j}, \forall j,$$

$$v_{A_j}^{\sim} \geq v_{B_j}^{\sim} = v_{A_j}^{\tau_j} \geq v_{B_j}^{\tau_j}, \tau_j \geq 0, \forall j,$$

$$\prod_{j=1}^n v_{A_j}^{\tau_j} \geq \prod_{j=1}^n v_{B_j}^{\tau_j}, \forall j,$$

$$\begin{aligned} &= \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{p_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{r_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{q_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{s_j}} \right); 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{A_j}^{\sim})^{\tau_j}, \prod_{j=1}^n v_{A_j}^{\tau_j} \right] \leq \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{t_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{u_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{y_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{z_j}} \right); 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{B_j}^{\sim})^{\tau_j}, \prod_{j=1}^n v_{B_j}^{\tau_j} \right] \\ &= \text{TrPFWHM}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) \leq \text{TrPFWHM}(\tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \dots, \tilde{B}_n) \end{aligned}$$

Sınırlılık (Boundedness) özelliği:

$\tilde{A}_j = \left[(p_j, r_j, q_j, s_j); \mu_{A_j}^{\sim}, v_{A_j}^{\sim} \right]$ yamuk Pisagor bulanık sayılar topluluğu olsun.

$$\tilde{A}_j^{-} = \left[\left(\text{en}k\{p_j\}, (\text{en}k\{r_j\}, (\text{en}k\{q_j\}, (\text{en}k\{s_j\} \right); \text{en}k\{\mu_j\}, \text{en}b\{v_j\} \right]$$

$$\tilde{A}_j^{+} = \left[\left(\text{en}b\{p_j\}, (\text{en}b\{r_j\}, (\text{en}b\{q_j\}, (\text{en}b\{s_j\} \right); \text{en}b\{\mu_j\}, \text{en}k\{v_j\} \right]$$

Bu nedenle,

$$\tilde{A}^- \leq TrPWHM(\tilde{A}_1, \tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n) \leq \tilde{A}^+ \quad (6.14)$$

olacaktır.

İspat:

$$enk\{p_j\} \leq p_j \leq enb\{p_j\}, \forall_j$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{\tau_j}{enk p_j} &\geq \frac{\tau_j}{p_j} \geq \frac{\tau_j}{enk p_j} = \sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enk p_j} \geq \sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{p_j} \geq \sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enb p_j} \quad (\because \forall \tau_j > 0) \\ \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enk p_j}} &\leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{p_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enb p_j}} \end{aligned}$$

Benzer şekilde,

$$\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enk r_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{r_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enb r_j}}$$

$$\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enk q_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{q_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enb q_j}}$$

$$\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enk s_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{s_j}} \leq \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\tau_j}{enb s_j}}$$

Bu durumda,

$$enk\{\mu_j\} \leq \mu_j \leq enb\{\mu_j\}, \forall_j$$

$$1 - enk\{\mu_j\} \geq 1 - \mu_j \geq 1 - enb\{\mu_j\},$$

$$= \prod_{j=1}^k \left(1 - enk\{\mu_{\tilde{A}_j}\}\right)^{\tau_j} \geq \prod_{j=1}^k \left(1 - \{\mu_{\tilde{A}_j}\}\right)^{\tau_j} \geq \prod_{j=1}^k \left(1 - enb\{\mu_{\tilde{A}_j}\}\right)^{\tau_j}$$

$$= 1 - \prod_{j=1}^k \left(1 - enk\{\mu_{\tilde{A}_j}\}\right)^{\tau_j} \leq 1 - \prod_{j=1}^k \left(1 - \{\mu_{\tilde{A}_j}\}\right)^{\tau_j} \leq 1 - \prod_{j=1}^k \left(1 - enb\{\mu_{\tilde{A}_j}\}\right)^{\tau_j}$$

olur.

Benzer şekilde,

$$enk\{v_j\} \leq v_j \leq enbx\{v_j\}, \forall_j$$

$$= \prod_{j=1}^k enk\{v_{\tilde{A}_j}\}^{\tau_j} \leq \prod_{j=1}^k \{v_{\tilde{A}_j}\}^{\tau_j} \leq \prod_{j=1}^k enb\{v_{\tilde{A}_j}\}^{\tau_j}$$

olacaktır.

Tanım 8. $\tilde{A}_j = (j = 1, 2, \dots, n)$ yamuk Pisagor bulanık sayılar topluluğu olsun. $f_w^o: F^n \rightarrow F$ yamuk Pisagor bulanık sıralı ağırlıklı harmonik oparetörü (TrPFNOWHM) olarak ifade edilecektir.

$$TrPFNOWHM(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{p(j)}} \quad (6.15)$$

Burada $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ birleştirilmiş ağırlık vektörüdür. $w_j \in [0,1]$ ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. $(p_1, p_2, \dots, p_n)$ $(1, 2, \dots, n)$ 'nin permütasyonu olarak ifade edilir ve $\tilde{A}_{p(j)} \leq \tilde{A}_{p(j-1)}, \forall j = 2, 3, \dots, n$.

Teorem 2. $\tilde{A}_j (j = 1, 2, \dots, n)$ yamuk Pisagor bulanık sayılar topluluğu olsun ve $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ birleştirilmiş ağırlık vektörü olarak tanımlansın. Burada $w_j \in [0,1], \sum_{j=1}^n w_j = 1$.

$$\begin{aligned} & TrPFNOWHM(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) \\ &= \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{w_j}{p_{p(j)}}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{w_j}{r_{p(j)}}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{w_j}{q_{p(j)}}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{w_j}{s_{p(j)}}} \right); 1 - \prod_{j=1}^k (1 - \mu_{\tilde{A}_{p(j)}})^{w_j}, \prod_{j=1}^k v_{\tilde{A}_{p(j)}}^{w_j} \right] \end{aligned} \quad (6.16)$$

Bu eşitlikte $(p_1, p_2, \dots, p_n)$ $(1, 2, \dots, n)$ 'nin permütasyonu ve $\tilde{A}_{p(j)} \leq \tilde{A}_{p(j-1)}, \forall j = 2, 3, \dots, n$.

Denkgüçlülük (idempotency) özelliği:

Eğer aynı değer n zaman kadar yığılırsa, başlangıç değerinin elde edilmesi beklenir.

$$TrPFWHM(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = TrPFWHM(\tilde{A}, \tilde{A}, \dots, \tilde{A}) = \tilde{A} \quad (6.17)$$

İspat:

$$\begin{aligned} & TrPFWHM(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) \\ &= \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{p_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{r_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{q_j}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{s_j}} \right); 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_j})^{w_j}, \prod_{j=1}^n v_{\tilde{A}_j}^{w_j} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\left(\frac{1}{\frac{(\sum_{j=1}^n w_j)}{p}}, \frac{1}{\frac{(\sum_{j=1}^n w_j)}{r}}, \frac{1}{\frac{(\sum_{j=1}^n w_j)}{q}}, \frac{1}{\frac{(\sum_{j=1}^n w_j)}{s}} \right); 1 - (1 - \mu_A^{\sim})^{\sum_{j=1}^n w_j}, v_A^{\sim \sum_{j=1}^n w_j} \right] \\
&= [(p, r, q, s); \mu_A^{\sim}, v_A^{\sim}] \left(\because \sum_{j=1}^n w_j = 1 \right) = \tilde{A}
\end{aligned}$$

Monotonluk (Monotonicity) özelliği:

$\tilde{A}_j = [(p_j, r_j, q_j, s_j); \mu_{A_j}^{\sim}, v_{A_j}^{\sim}]$ ve $\tilde{B}_j = [(t_j, u_j, y_j, z_j); \mu_{B_j}^{\sim}, v_{B_j}^{\sim}]$ ($j=1, 2, \dots, n$) iki farklı yamuk Pisagor bulanık sayı topluluğu olsun. Eğer $p_j \leq t_j, r_j \leq u_j, q_j \leq y_j, s_j \leq z_j, \mu_{A_j}^{\sim} \leq \mu_{B_j}^{\sim}$ ve $v_{A_j}^{\sim} \geq v_{B_j}^{\sim} \forall j$, bu durumda

$$\text{TrPFWHM}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \text{TrPFWHM}(\tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \dots, \tilde{B}_n) \quad (6.18)$$

olur.

Sınırlılık (Boundedness) özelliği:

$\tilde{A}_j = [(p_j, r_j, q_j, s_j); \mu_{A_j}^{\sim}, v_{A_j}^{\sim}]$ yamuk Pisagor bulanık sayı topluluğu olsun.

$$\tilde{A}_j^- = \left[\left(\text{enk}_j\{p_j\}, \text{enk}_j\{r_j\}, \text{enk}_j\{q_j\}, \text{enk}_j\{s_j\} \right); \text{enk}_j\{\mu_j\}, \text{enb}_j\{v_j\} \right]$$

$$\tilde{A}_j^+ = \left[\left(\text{enb}_j\{p_j\}, \text{enb}_j\{r_j\}, \text{enb}_j\{q_j\}, \text{enb}_j\{s_j\} \right); \text{enb}_j\{\mu_j\}, \text{enk}_j\{v_j\} \right]$$

Bu durumda,

$$\tilde{A}^- \leq \text{TrPWHM}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) \leq \tilde{A}^+$$

Tanım 9. $\tilde{A}_j (j = 1, 2, \dots, n)$ yamuk Pisagor bulanık sayılar topluluğu olsun. $f_{\tau, w}^o: F^n \rightarrow F$ Yamuk Pisagor bulanık melez harmonik ortalama operatörü (TrPFHHM) olarak tanımlansın.

$$TrPFHHM(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{\tilde{A}_{p(j)}'}} \quad (6.19)$$

$\tilde{A}_{p(j)}'$ n kadar yamuk Pisagor kümenin j 'nci en büyük elemanı olsun. $\tilde{A}_j' = n\tau_j\tilde{A}_j$, Pisagor bulanık kümelerin sıralanması ile ilgili olsun. Burada, n denge faktörü olarak tanımlanır; $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)^T$ ağırlık vektörüdür. $\tilde{A}_j (j = 1, 2, \dots, n)$ ve $\tau_j \in [0, 1]$ $\sum_{j=1}^n \tau_j = 1$.

Teorem 3. $\tilde{A}_j (j = 1, 2, \dots, n)$ yamuk Pisagor bulanık sayılar topluluğu olsun ve $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ birleştirilmiş ağırlık vektörüdür ve $w_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

$$TrPFNHHM(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n)$$

$$= \left[\left(\frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{w_j}{\tilde{A}_{p(j)}'}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{w_j}{\tilde{A}_{r(j)}'}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{w_j}{\tilde{A}_{q(j)}'}}, \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{w_j}{\tilde{A}_{s(j)}'}} \right); 1 - \prod_{j=1}^k (1 - \mu_{\tilde{A}_{p(j)}}')^{w_j}, \prod_{j=1}^k v_{\tilde{A}_{p(j)}}'^{w_j} \right] \quad (6.20)$$

Yamuk Pisagor bulanık melez ağırlıklı harmonik operatörü, yamuk Pisagor bulanık sıralı ağırlıklı harmonik operatörü ve yamuk Pisagor bulanık ağırlıklı harmonik operatörünün genelleştirilmiş hali olarak önerilmiştir. Yamuk Pisagor bulanık melez ağırlıklı harmonik operatörü için ispatlar, diğer yöntemlerdeki operatörler içinde benzer şekilde gerçekleştirilebilir.

7. UYGULAMA

Tez çalışmasının bu bölümünde, Bölüm 5'te önerilen ÇÖKV modelinin uygulamasına yer verilmiştir. Önerilen yöntemin uygulaması yeşil tedarik zincirinde son yıllarda özellikle kullanımına ağırlık verilen güneş enerjisi panellerinin değerlendirilmesi problemi ele alınacaktır. Bu nedenle öncelikle bazı temel kavramlardan aşağıda bahsedilmiştir.

Tedarik zincir, kısa anlamıyla bir sonrakinin tedarikini sağlayan birimlerin oluşturduğu sistematik bir yapıdır. Bu sistematik yapı içerisindeki birimler, birbirinden tamamen bağımsız olabilir ya da birbirlerine bağlı organizasyonlardan oluşabilir (Long 2003, 46-47). Tedarik zincirinde başlangıç noktasında tüketiciler, son noktasında ise temin ve tedarik edenler, merkez noktasında ise üretim işlemleri bulunmaktadır.

Tedarik zinciri yönetimi (TZY) ise müşteri ve diğer paydaşlar için değer yaratan ürün, hizmet ve bilgi sağlamak amacıyla ilk tedarikçiden son tüketiciye kadar kilit iş süreçlerinin entegrasyonu olarak tanımlanabilir (Long 2003, 45). TZY tek bir işletme gibi davranır ve tedarik zinciri birimlerini bir arada kullanarak bir bütün olarak hareket etmeyi sağlar. Başka bir ifade ile TZY, teknoloji yardımıyla tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve müşterilerin entegrasyonunu sağlar.

TZY'nin fonksiyonel olarak temel amaçları şu şekildedir: Yüksek müşteri hizmeti, düşük ulaştırma maliyeti, düşük depolama maliyeti, stokların azaltılması, yüksek dağıtım hızı, düşük işgücü maliyetleri olarak sıralanabilir ve bu amaçlar işletmenin hedeflerine göre değişiklik gösterebilir (Güleş ve diğerleri, 2012, 6-8). TZY'nin iyi derecede uygulanması sonucunda işletmelerin teslim performanslarının iyileşmesi, stokların azalması, sipariş karşılama oranının iyileşmesi, talep tahminin yükselmesi, lojistik maliyetlerin azaltılması, verim kapasite artışı beklenen iyileşme sağlanan alanlar olarak karşımıza çıkacaktır.

Son yıllarda küresel ısınmanın etkisi, sera etkisi, hava ve su kirliliği, kuraklık gibi etmenler nedeniyle rekabet avantajını elde etmeye çalışan işletmeler, TZY stratejik olarak ele alınmasında yeşil düşünce kavramını hesaba katarak yeşil tedarik zinciri yönetimi (YTZY) kavramını ortaya çıkarmışlardır. YTZY kavramı ile işletmeler hem hükümetlerin yasal düzenlemelerin getirdiği bazı zorunluluklar, hem de kendi işletmelerinin çevreye verdiği

zararı en aza indirerek kullandıkları kaynakları etkili biçimde kullanmak ve kârlılıklarını öne çıkararak yeni teknolojiler ve farklı yönetim felsefeleri kullanmaktadırlar. Bu tanımlar çerçevesinde işletmeler, hammadde kullanımında çevreye daha zararlı etkisi olan hammadde tedariki, bu hammaddelerin taşınması sürecinde çevreye en az zarar, üretim esnasında oluşan çevreye zararlı etmenleri en aza indirme, ürünleri son ürünlerin paketlenmesinde yine çevresel etkileri en aza indirgeyecek paketleme teknolojileri seçimi ve geri dönüşümde en az zarar ile ürünleri bertaraf etme gibi YTZY politikalarına yönelmişlerdir. Özetle, YTZY kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler yeşil satın alma, yeşil üretim, yeşil dağıtım kanalları, yeşil paketleme ve tersine lojistik olarak sınıflandırılabilir.

YTZY kapsamında işletmeler kullanılan kıt kaynakların yerine hem çevreye zararlı olmayan hem de yenilenebilir kaynakların kullanılması politikası ile birçok alanda yeni teknoloji üretimine ve kullanımına yönelmişlerdir. Dünya üzerindeki kaynaklar üç kategoriye ayrılabilir: Fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar. Bu tez çalışması kapsamında YTZY kapsamında yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışılacağı için bu alan üzerine yoğunlaşmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları kısaca şunlardan oluşmaktadır; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerjisi, jeotermal enerjisi, biokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, gelgit enerjisi. Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla en çok kullanılan enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisi, güneş ışığının olduğu her yerde kullanılabilirdiği için diğer enerji kaynaklarına göre daha esnek bir kullanım yapısına sahiptir. Bu özelliği nedeniyle, bu enerji kaynağı enerji taleplerimizi karşılamak için çok büyük bir öneme sahiptir. Güneş enerjisinin en yaygın kullanım şekli, çeşitli yöntemlerle güneşten gelen güneş radyasyonu kullanılarak elektrik üretimi ve suyun ısıtılmasıdır.

Ulusal ve uluslararası düzeydeki taşıma, dağıtım, lojistik gibi faaliyetlerin çeşitli işletmeler tarafından yürütüldüğü merkezlerde toplanması fikri ile "Lojistik köy" kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram ilk defa ABD'de endüstrinin hızla gelişmesi sonucu ortaya çıkmıştır. İlk olarak Fransa'da Paris bölgesinde kurulmuştur. Yaklaşık 60 yıldır çeşitli gelişim evrelerinden geçen lojistik köyler bugünkü anlamıyla, birden fazla taşıma türünün kullanıldığı, çeşitli dağıtım merkezlerine ve yükleme-boşaltma depolama alanlarına sahip, gümrük, elleçleme, parklar, sosyal tesislerini de içeren, 250 hektar ve daha büyük alana sahip, metropollere çok yakın olmayan, karayolu ulaşımına imkân sağlayan ve diğer ulaşım

türlerine bağlantısı olan lojistik faaliyetlerin gerçekleştirildiği alanlar olarak tanımlanabilir. Türkiye’de 2006 yılında TCDD tarafından lojistik köylerin kurulmasına yönelik çalışmalar başlatılmış, Dokuzuncu Kalkınma Planı’nda (2007-2013) lojistik köylerin kurulmasıyla ilgili temeller atılmıştır. Türkiye’de kurulması planlanan 20 farklı lojistik köy planı bulunmakta; bunlardan yedi adedi işletmeye alınmış, altı adedinin kurulma aşaması devam etmekte, 2023 yılına kadar ise tamamının hizmete girmesi beklenmektedir. Samsun (Gelemen), Uşak, Denizli (Kaklık), İzmit (Köseköy), Eskişehir (Hasanbey), Balıkesir (Gökköy) ve Halkalı olmak üzere yedi adet lojistik köy hizmet vermeye başlayan lojistik köylerdir. Bilecik (Bozüyük), İzmir (Kemalpaşa), Mardin, Erzurum (Palandöken), Kahramanmaraş (Türkoğlu) ve Mersin (Yenice) ise inşaat çalışmaları devam eden köylerdir. İşletmeye açılması planlanan lojistik köyler ise; İstanbul (Yeşilbayır), Konya (Kayacık), Kayseri (Boğazköprü), Sivas, Kars, Bitlis (Tatvan) ve Şırnak (Habur)’tır (Küçük, 2019). Türkiye’de kurulmuş ve kurulacak olan lojistik köylerle ilgili fizibilite raporları incelendiğinde, bu köylerin sürdürülebilir yapıda olması gerektiği, enerji verimliliğinin ön planda tutulması gerekliliği ve çevreye zarar vermeyecek şekilde inşaa edilmesi gerekliliğinin vurgulandığı görülmüştür. Bu kapsamda, lojistik köylerde güneş enerjisi kullanımı artmakta, bundan sonra kurulacak olan lojistik köylerde kendi elektriklerini kendileri üretecek şekilde planla yapılması gerekliliği ortaya konmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında; tedarik zinciri içerisindeki lojistik köylerde, yeşil tedarik zincirinin unsuru olan yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi panelleri kullanımının değerlendirilmesi problemi ele alınmıştır. Sonraki bölümlerde piyasadaki güneş panelleri hakkında bilgi verilecek ve bu panellerin değerlendirilmesinde ÇÖKV modelinin uygulamasına yer verilecektir.

7.1. Güneş Enerjisi Panelleri

Elektrik üretimi için kullanılan güneş enerjisi panelleri: Monokristal güneş panelleri, polikristal güneş panelleri, ince film güneş panelleri, esnek güneş panelleri ve saydam güneş panelleri olarak sınıflandırılabilir. Bu paneller çeşitli üreticiler tarafından farklı yapılar, farklı üretim bantlarında, farklı mühendisliklerle üretilmektedirler. Bu nedenle bu panellerin her marka ve modele göre değişen teknik özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda, farklı tipteki güneş enerjisi panellerinin genel özelliklerinden bahsedilecektir.

Monokristal güneş panelleri (A_1): Bu güneş panelleri çeşidi piyasada en verimli güneş paneli olarak bilinmektedir. Bu panellerde çok yüksek sıklıkta silikon külçe kullanılır ve ızgara şeklinde kesilir. Koyu siyah bir görüntüleri vardır. Verimlilikleri %20-%25 civarındadır, yani güneş panel yüzey alanına düşen ışının %20-%25'i kadarı elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Monokristal güneş panellerinin diğer güneş enerjisi panellerine göre birim fiyatı oldukça fazladır. Elektrik üretim ömrü oldukça fazladır. Sıcak iklimlerdeki performansı normal iklimlerdekine göre çok daha fazladır. Düşük ışıktaki performansları ise diğer güneş panellerine göre daha iyidir. Çevre şartlarına bağlı olarak gölge oranı fazla ise birbirine bağlı olan tüm panelleri olumsuz etkilemektedir. Elektrik üretim ömrü oldukça fazladır. Tasarım olarak oldukça estetik görünürler (www.enerjibes.com, 21 Şubat 2019).



Resim 7.1. Monokristal güneş panelleri (www.solarportall.com, 21 Şubat 2019)

Polikristal güneş panelleri (A_2): Piyasada en çok tercih edilen güneş paneli çeşididir. Temel yapısında erimiş silikon kullanılır. Kullanım oranı piyasada %70 civarındadır. Fiyatı diğer güneş panellerine göre daha uygun güneş panelleridir. Monokristal güneş panellerinin yarı değerdeki fiyata sahiptirler, bu nedenle daha çok tercih edilirler. Verimlilik oranı %12-%16 civarındadır, bu anlamda piyasada ekonomik ölçüte göre çok daha fazla tercih edilse de verimliliği ön planda tutan kullanıcılar tarafından tercih edilmemektedir. Kurulum maliyetleri oldukça düşüktür. Kapladıkları alan diğer güneş enerji panellerine göre daha fazla olmakla beraber, ürettikleri enerji daha azdır. Düşük ışık koşullarında iyi performans göstermezler. Parıltılı mavi renkte olurlar ve estetik tasarımları düşüktür (www.solarportall.com, 21 Şubat 2019)



Resim 7.2. Polikristal güneş panelleri (www.solarportall.com, 21 Şubat 2019)

İnce film güneş panelleri (A_3): Bu güneş paneli türü, piyasada en az kullanılan güneş paneli türüdür. Çok tercih edilen bir panel türü olmamasının nedeni verimliliğinin çok az olmasıdır ve verim oranı yaklaşık %7 civarındadır. Temel yapısında silikon bulunmaz, kadmiyum tellürid, bakır indiyum veya organik fotovoltaiik hücrelerden üretilirler. Kapladığı alan oldukça fazladır bu nedenle evlerin çatı kısımlarında kullanıma çok uygun değildirler. Çok ince yapıda üretilmesinin yanında oldukça ekonomik ürünlerdir. Tasarımı çok şık bir görüntüye sahip olması nedeniyle, tasarım için tercih edilen bir panel türüdür. Isı değişimlerinden ve gölgelenme durumlarından çok fazla etkilenmezler. Çok hafiftir ve montajı çok kolaydır. Düşük ışık ortamında ve yüksek sıcaklıkta çok iyi performans gösterirler. Kırılganlıkları fazladır, bu nedenle dayanıklı grupta değerlendirilmezler. Üretim aşamasında ve kullanımda, diğer panel türlerine göre çevreye çok daha duyarlıdırlar. Tasarım olarak oldukça estetik yapıdadırlar (www.enerjibes.com, 21 Şubat 2019).



Resim 7.3. İnce film güneş panelleri (www.solarportall.com, 21 Şubat 2019)

Esnek güneş panelleri (A_4): Bu panel türü, piyasada oldukça sık kullanılan güneş paneli türlerinden biridir. Çok esnek bir yapıya sahiptir ve esnek yapısından dolayı kırılmaya karşı çok dayanıklıdır. Kullanmış olduğu panel yapısı monokristal veya polikristal yapıda olabilmektedir, bu nedenle kendi içerisinde de çeşitli türleri vardır. Maliyetleri değişkenlik göstermekle beraber, pahalı güneş paneli türlerindendir. Çok hafiftirler ve montajı kolaydır. Hafif olmasının nedeni panellerde alüminyum çerçeve ve temperli cam kullanmamasıdır. Verimlilik konusunda etkin değildirler, bu nedenle bu panel türlerinin verimliliğinin artırılması hususunda çalışmalar devam etmektedir. Kullanıldıkları alanların eğimli veya çeşitli yapıda olabilir. Tasarımları oldukça estetik olup bu ölçütte en çok tercih edilen üründür (www.solarportall.com, 21 Şubat 2019).



Resim 7.4. Esnek güneş panelleri (www.solarportall.com, 21 Şubat 2019)

Saydam güneş panelleri (A_5): Yeni tür bir güneş paneli türüdür. Cama benzeyen bir yapısı vardır. Piyasadaki güneş panellerine oranla 40-45 kat fazla performans gösterirler. İnce ve saydam yapıları sayesinde güneş etkisi azalırken, bu panel türleri diğer panellere göre çok daha iyi performans gösterecektir. Gölgeleme durumlarından neredeyse hiç etkilenmezler. Önümüzdeki yıllarda en çok kullanılacak olan güneş paneli olmaya en büyük adaydır. Bu paneller özellikle cep telefonlarında kullanılması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir (www.solarportall.com, 21 Şubat 2019; www.enerjibes.com, 21 Şubat 2019).



Resim 7.5. Saydam güneş panelleri (www.solarportall.com, 21 Şubat 2019)

7.2. Önerilen ÇÖKV Modelinin Uygulanması

Tezi bu kısmında Türkiye’de kurulacak olan yeni lojistik köylerde daha sık olarak kullanılacak olan güneş enerjisi panelleri için seçim problemi ele alınacaktır. Literatürde mevcut olan güneş enerjisi panellerinden saydam güneş panelleri, henüz kullanımı yaygınlaşmamış olduğundan dolayı çalışmamız kapsamında değerlendirmeye alınmayacaktır. Dünya üzerinde yukarıda açıklanan güneş enerjisi panelleri çeşitli marka ve modeller ile piyasaya sunulmaktadır. Örnek olarak monokristal güneş panelleri farklı marka ve modellerde 30 farklı üretici tarafından farklı tasarımlarda, benzer özelliklerde ancak farklı tolerans aralıklarında üretim yaparak piyasaya sunulmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada kesin veriler ile işlem yapılmayacak olup, belirlenen ölçütlere göre alternatiflerin alabileceği üyelik dereceleri üzerinden çalışma devam ettirilecektir. Türkiye’de güneş enerjisi panelleri seçiminde özellikle ilk kurulum maliyeti üzerinde çok durulmakta ve genel olarak ilk kurulum maliyeti düşük olan güneş panelleri tüketiciler tarafından tercih edilmektedir. Ancak güneş enerjisi paneli seçiminde sadece maliyet ölçütüne göre değil diğer ölçütleri de dikkate alarak alternatiflerin değerlendirilmesi gerektiği savunulmuştur. Bu ölçütler gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda şu şekilde belirlenmiştir:

Verimlilik (C_1): Panel yüzey alanına düşen ışınımın ne kadarının elektrik enerjisine dönüştürülebildiğidir. Bu ölçütte uzmanlar tarafından panel yüzey alanına düşen ışınım hava şartlarına göre değişmesinden dolayı tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle panellerin verimliliğinin değerlendirmesinde bizim tarafımızdan hazırlanan verimlilik aralıklarına atanacak aralık değerli Pisagor üyelik dereceleri uzmanların atamalarına göre

değerlendirilecektir. Bu ölçüt fayda ölçütü olup, en yüksek verimliliğe sahip olan güneş enerjisi paneline atanacak olan üyelik derecesi daha fazla olacaktır.

Maliyet (C_2): Güneş enerjisi panellerinin ilk kurulu maliyetini ifade eden ölçüttür. Bu ölçüt 4 farklı tipteki güneş paneli için farklı olmakla beraber, her tip güneş enerji panelinin farklı üreticilerinin ürettiği marka modeller içinde farklılık göstermektedir. Bu nedenle bu ölçüt içinde bizim tarafımızdan hazırlanan maliyet aralıklarına atanacak aralık değerli Pisagor üyelik dereceleri atamalarına göre değerlendirilecektir. Bu ölçüt maliyet ölçütü olup, en yüksek maliyete sahip olan güneş enerjisi paneline atanacak olan üyelik derecesi daha az olacaktır.

Montaj kolaylığı (C_3): Güneş enerjisi panellerinin ne kadar sürede ve hangi ekipmanlarla kurulabildiği, ayrıca farklı yüzey alanlarına uygunluğunu gösteren ölçüttür. Bu ölçüt her lojistik köydeki kurulumu göre değişecektir, çünkü her lojistik köydeki binaların yapısı ve mimarisi farklıdır. Bu ölçüt için piyasada kullanılan 4 farklı tip güneş enerjisi paneli için genel teamüller mevcuttur; ancak bu bilgiler net bilgi değildir. Örnek olarak esnek güneş enerji panelleri daha kolay montaj imkanına sahiptir; ancak bu ölçüt için net bir sayısal değer atamak mümkün değildir. Bu nedenle uzmanlar güneş enerji panellerin kurulumdaki montaj kolaylığını kolay, çok kolay, zor, çok zor gibi sözel ifadelerle değerlendireceklerdir. Montaj kolaylığı bakım maliyetleri, onarım maliyetleri, değişim maliyetleri gibi kavramlarda etkisi olması nedeniyle değerlendirmeye alınmıştır. Bu ölçüt fayda ölçütü olup, en fazla montaj kolaylığına sahip olan güneş enerjisi paneline atanacak olan üyelik derecesi daha fazla olacaktır.

Az ışık ortamındaki performansı (C_4): Güneş enerjisi panellerinin güneş ışığının az olduğu zamanlardaki verimliliğini gösteren ölçüttür. Bu ölçüt lojistik köylerdeki kullanılacak olan güneş enerji panelleri için çok büyük önem arz eden ölçütlerden biridir. Türkiye'nin farklı lokasyonlarında kurulan ve kurulacak olan lojistik köyler, bulunduğu bölgenin coğrafi konumlarına göre bu ölçüt için farklı performans sergileyecektir. Lojistik köyler ticari bir yapı içermesinden dolayı ve kesintisiz hizmet vermek durumunda olmalarından dolayı, günün her saatinde en fazla performansı sergileyen güneş enerjisi panellerine yöneleceklerdir. Bu ölçüt fayda ölçütü olup, en yüksek performansa sahip olan güneş enerjisi paneline atanacak olan üyelik derecesi daha fazla olacaktır.

Kullanım ömrü (C_5): Güneş enerjisi panellerinin kurulmasından itibaren ömür devrini tamamlayıncaya kadar geçen süreyi belirten ölçüttür. Bu ölçüt lojistik köylerin coğrafi konumu, hava şartları, kullanıcının ilgili panellerin bakım onarımı zamanında yaptırması gibi hususlara bağlı olmakla beraber, her tip güneş enerjisi paneli için üreticiler tarafından sağlanan kullanım ömrü süresi mevcuttur. Panellerin kullanım ömrünün değerlendirmesinde bizim tarafımızdan hazırlanan kullanım ömrü aralıklarına atanacak aralık değerli Pisagor üyelik dereceleri uzmanların atamalarına göre değerlendirilecektir. Bu ölçüt fayda ölçütü olup, en yüksek kullanım ömrüne sahip olan güneş enerjisi paneline atanacak olan üyelik derecesi daha fazla olacaktır.

Kapladığı alan (C_6): Güneş enerji panellerinin belirli bir elektrik enerjisi kapasitesini sağlamak için oluşturduğu hücrelerin kapladığı alanı belirtmektedir. Bu alan her tip güneş enerjisi paneli için değişmekle beraber, her tip panelin farklı üreticileri tarafından üretilen paneller içinde değişiklik göstermektedir. Ancak piyasada kullanılan 4 farklı tipteki güneş enerjisi panellerinin kapladıkları alan için genel teamüller kabul görmüştür. Bu ölçütte güneş enerjisi panellerinin kullanıkları ham madde, verimlilikleri, müşterinin talep ettiği enerji miktarı gibi değişkenlere bağlı olarak kapladıkları alan miktarı değişkenlik göstermektedir. Bu ölçüt maliyet ölçütü olup, en yüksek kaplama alanına sahip olan güneş enerjisi paneline atanacak olan üyelik derecesi daha az olacaktır.

Estetik tasarım (C_7): Güneş enerjisi panellerinin tasarımı hakkında bilgi veren ölçüttür. Bu tasarım özellikle şahsi kullanımdaki (ev, tekne vb.) güneş enerjisi panelleri için daha önemli olmakla beraber, özellikle Avrupa’da kurulu olan lojistik köylerde estetik tasarım panellere rastlanmaktadır. Bu ölçüt Türkiye’deki lojistik köylerde kullanılacak olan panellerin tasarımı hakkında genel bilgi verecek olup, 4 farklı tipteki güneş enerjisi panellerin genel tasarımları hakkında uzmanlar değerlendirme yapacaklardır. Bu ölçüt fayda ölçütü olup, en fazla estetik tasarıma sahip olan güneş enerjisi paneline atanacak olan üyelik derecesi daha fazla olacaktır.

Tez çalışması kapsamında literatürde mevcut olan güneş enerji panellerinden saydam güneş enerjisi panelleri kullanımı çok yaygın olmamasından dolayı bu alternatif değerlendirmeye alınmayacaktır. Şu an kullanımı ile ilgili yaygın bir saha oluşmaması nedeniyle, uzmanlar bu alternatif hakkında yeteri kadar bilgiye sahip değillerdir. Tez çalışması kapsamında İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı’nda görevli olan

3 farklı uzmanın görüşlerinden faydalanılmıştır. 3 farklı uzman, ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisini oluşturma ve ölçütlere göre alternatiflerin değerlendirme karar matrisindeki değerlendirmelerini gerçekleştirmişlerdir.

Adım 1: Uzmanlar tarafından tez çalışması kapsamında belirlenen 7 farklı ölçüt Çizelge 5.2 kullanılarak uzlaşma yolu ile ikili karşılaştırma matrisi kurulur. Oluşturulmuş olan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	EÖ	BÖ	ÇÖ	EÖ	BÖ	ÇYÖ	ÇÖ
C_2		EÖ	BÖ	DÖ	EÖ	ÇÖ	ÇÖ
C_3			EÖ	AÖ	EÖ	BÖ	BÖ
C_4				EÖ	ÇÖ	ÇYÖ	ÇÖ
C_5					EÖ	BÖ	ÇÖ
C_6						EÖ	AÖ
C_7							EÖ

Çizelge 7.2. Ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,50; 0,75], [0,12; 0,15]	[0,71; 0,90], [0,06; 0,13]	[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,71; 0,90], [0,06; 0,13]	[0,85; 0,95], [0,05; 0,10]	[0,71; 0,90], [0,06; 0,13]
C_2		[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,50; 0,75], [0,12; 0,15]	[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,71; 0,90], [0,06; 0,13]	[0,50; 0,75], [0,12; 0,15]
C_3			[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,12; 0,15], [0,50; 0,75]	[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,50; 0,75], [0,12; 0,15]	[0,50; 0,75], [0,12; 0,15]
C_4				[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,50; 0,75], [0,12; 0,15]	[0,71; 0,90], [0,06; 0,13]	[0,71; 0,90], [0,06; 0,13]
C_5					[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,50; 0,75], [0,12; 0,15]	[0,50; 0,75], [0,12; 0,15]
C_6						[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]	[0,12; 0,15], [0,50; 0,75]
C_7							[0,35; 0,60], [0,35; 0,60]

Adım 2: İkinci adımda $\tilde{A}$ matrisine ait puan matrisi kurulur. Puan matrisine ait gösterim Çizelge 7.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Ölçütlere ait puan matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	$[-0,23; 0,23]$	$[0,22; 0,54]$	$[0,48; 0,80]$	$[-0,23; 0,23]$	$[0,48; 0,80]$	$[0,71; 0,90]$	$[0,48; 0,80]$
C_2		$[-0,23; 0,23]$	$[0,22; 0,54]$	$[-0,23; 0,23]$	$[-0,23; 0,23]$	$[0,48; 0,80]$	$[0,22; 0,54]$
C_3			$[-0,23; 0,23]$	$[-0,54; -0,22]$	$[-0,23; 0,23]$	$[0,22; 0,54]$	$[0,22; 0,54]$
C_4				$[-0,23; 0,23]$	$[0,22; 0,54]$	$[0,48; 0,80]$	$[0,48; 0,80]$
C_5					$[-0,23; 0,23]$	$[0,22; 0,54]$	$[0,22; 0,54]$
C_6						$[-0,23; 0,23]$	$[-0,34; -0,10]$
C_7							$[-0,23; 0,23]$

C_{11} hücresine ait örnek puan matris hücresi şu şekilde hesaplanmıştır:

$$C_{11} = [0,35^2 - 0,60^2], [0,60^2 - 0,35^2] = [-0,23; 0,23]$$

Adım 3: Sonraki adımda, puan matrisine ait çarpımsal matris hesaplanmıştır. Çarpımsal matrise ait hesaplanan değerler Çizelge 7.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Ölçütlere ait çarpımsal matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	$[0,78; 1,26]$	$[1,25; 1,73]$	$[1,62; 2,24]$	$[0,78; 1,26]$	$[1,62; 2,24]$	$[2,03; 2,46]$	$[1,62; 2,24]$
C_2		$[0,78; 1,26]$	$[1,25; 1,73]$	$[0,78; 1,26]$	$[0,78; 1,26]$	$[1,62; 2,24]$	$[1,25; 1,73]$
C_3			$[0,78; 1,26]$	$[0,57; 0,79]$	$[0,78; 1,26]$	$[1,25; 1,73]$	$[1,25; 1,73]$
C_4				$[0,78; 1,26]$	$[1,25; 1,73]$	$[1,62; 2,24]$	$[1,62; 2,24]$
C_5					$[0,78; 1,26]$	$[1,25; 1,73]$	$[1,25; 1,73]$
C_6						$[0,78; 1,26]$	$[0,70; 0,90]$
C_7							$[0,78; 1,26]$

C_{11} hücresine ait örnek çarpımsal matris hücresi şu şekilde hesaplanmıştır:

$$C_{11} = [e^{-0,23}; e^{0,23}] = [0,78; 1,26]$$

Adım 4: Çarpımsal matrise ait öncelik vektörü Eşitlik 5.6 kullanılarak, ölçütlerin aralık değerli ağırlıkları hesaplanmış olur ve hesaplanan değerler Çizelge 7.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Ölçütlere ait öncelik vektörü

Ölçüt	Öncelik vektörü
w_{c1}	[0,151; 0,293]
w_{c2}	[0,109; 0,225]
w_{c3}	[0,088; 0,179]
w_{c4}	[0,126; 0,256]
w_{c5}	[0,102; 0,191]
w_{c6}	[0,061; 0,119]
w_{c7}	[0,070; 0,140]

Birinci ölçüte ait öncelik vektörü hesabı şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

$$w_{c1} = \left[\frac{0,78 + 1,25 + 1,62 + 0,78 + 1,62 + 2,03 + 1,62}{13,44 + 10,30 + 8,20 + 11,74 + 8,77 + 5,48 + 6,43}, \frac{1,26 + 1,73 + 2,24 + 1,26 + 2,24 + 2,46 + 2,24}{9,75 + 7,08 + 5,69 + 8,13 + 6,59 + 3,95 + 4,45} \right]$$

$$= [0,151; 0,293]$$

Diğer ölçütlere ait öncelik vektörü hesabı benzer şekilde hesaplanmıştır.

Adım 5: Elde edilen ağırlıkları karşılaştırmak amacıyla olasılık matrisi $P = (p_{ij})_{m \times n}$ Eş.

5.7 kullanılarak elde edilir. Olasılık matrisi Çizelge 7.6’da gösterilmiş olup “Verimlilik” ölçütüne ait hesaplamalar ayrıca gösterilmiştir.

Çizelge 7.6. Ölçütlere ait olasılık matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	-	0,71	0,88	0,61	0,82	1,00	1,00
C_2	0,28	-	0,66	0,40	0,60	0,94	0,83
C_3	0,11	0,33	-	0,23	0,42	0,78	0,67
C_4	0,38	0,59	0,76	-	0,70	1,00	1,00
C_5	0,17	0,39	0,57	0,29	-	0,88	0,76
C_6	0	0,04	0,20	0	0,05	-	0,40
C_7	0	0,05	0,21	0	0,11	0,38	-

$$P(w_{c1} \geq w_{c2}) = \frac{enk\{0,142+0,115, enb(0,29-0,10,0)\}}{0,142+0,115} = 0,71$$

$$P(w_{c1} \geq w_{c3}) = \frac{enk\{0,142+0,091, enb(0,29-0,08,0)\}}{0,142+0,091} = 0,88$$

$$P(w_{c_1} \geq w_{c_4}) = \frac{enk\{0,142+0,130, enb(0,29-0,12,0)\}}{0,142+0,130} = 0,61$$

$$P(w_{c_1} \geq w_{c_5}) = \frac{enk\{0,142+0,089, enb(0,29-0,10,0)\}}{0,142+0,089} = 0,82$$

$$P(w_{c_1} \geq w_{c_6}) = \frac{enk\{0,142+0,059, enb(0,29-0,06,0)\}}{0,142+0,059} = 1,00$$

$$P(w_{c_1} \geq w_{c_7}) = \frac{enk\{0,142+0,070, enb(0,29-0,06,0)\}}{0,142+0,070} = 1,00$$

Ölçütlerin birbirlerine olan üstünlüklerinin olasılıklarının hesaplanmasından sonra ölçütlerin önceliklendirme işlemi Eş. 5.8 kullanılarak hesaplanır.

$$w_{c_1} = \frac{1}{6 \times 7} [0,71 + 0,88 + 0,61 + 0,82 + 1,00 + 1,00 + 3,5 - 1] = 0,179$$

Diğer ölçütlere ait hesaplamalar şu şekildedir:

$$w_{c_2} = 0,148, w_{c_3} = 0,121, w_{c_4} = 0,163, w_{c_5} = 0,133, w_{c_6} = 0,077, w_{c_7} = 0,093$$

Adım 6: Eşitlik (5.9) ile elde edilen ağırlık vektörü normalize edilir ve ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmış olur.

$$w_{c_1} = \frac{0,179}{0,179 + 0,148 + 0,121 + 0,163 + 0,133 + 0,077 + 0,093} = 0,196$$

Diğer ölçütlere ait hesaplamalar şu şekildedir:

$$w_{c_2} = 0,162, w_{c_3} = 0,132, w_{c_4} = 0,179, w_{c_5} = 0,145, w_{c_6} = 0,085, w_{c_7} = 0,102$$

Adım 7: Uzmanlar kendilerine bizim tarafımızdan önerilen ölçekleri kullanarak karar matrisini oluştururlar. Ölçütlere göre önerilen ölçekler Çizelge 7.7- 7.13'te gösterilmiştir. Oluşturulan karar matrisi Çizelge 7.14 ve Çizelge 7.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.7. Verimlilik ölçütüne ait dilsel ifade ölçeği

	Dilsel ifade	Aralık değerli Pisagor sayısı
%3 ve altı	Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	([0,10;0,15], [0,90;0,95])
%5-%7	Çok düşük önemli (ÇDÖ)	([0,20;0,30], [0,80;0,90])
%7-%10	Düşük önemli (DÖ)	([0,30;0,40], [0,70;0,80])
%10-%15	Az önemli (AÖ)	([0,40;0,50], [0,60;0,70])
%15-%20	Eşit önemli (EÖ)	([0,50;0,60], [0,50;0,60])
%20-%25	Biraz önemli (BÖ)	([0,60;0,70], [0,40;0,50])
%25-%30	Çok önemli (ÇÖ)	([0,70;0,80], [0,30;0,40])
%30-%35	Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	([0,80;0,90], [0,20;0,30])
%35 ve üstü	Kesinlikle önemli (KÖ)	([0,90;0,95], [0,10;0,20])

Çizelge 7.8. Maliyet ölçütüne ait dilsel ifade ölçeği (Watt başına birim maliyet)

	Dilsel ifade	Aralık değerli Pisagor sayısı
50 TL ve üstü	Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	([0,10;0,15], [0,90;0,95])
40-50 TL	Çok düşük önemli (ÇDÖ)	([0,20;0,30], [0,80;0,90])
35-40 TL	Düşük önemli (DÖ)	([0,30;0,40], [0,70;0,80])
30-35 TL	Az önemli (AÖ)	([0,40;0,50], [0,60;0,70])
25-30 TL	Eşit önemli (EÖ)	([0,50;0,60], [0,50;0,60])
20-25 TL	Biraz önemli (BÖ)	([0,60;0,70], [0,40;0,50])
15-20 TL	Çok önemli (ÇÖ)	([0,70;0,80], [0,30;0,40])
10-15 TL	Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	([0,80;0,90], [0,20;0,30])
10 TL ve altı	Kesinlikle önemli (KÖ)	([0,90;0,95], [0,10;0,20])

Çizelge 7.9. Montaj kolaylığı ölçütüne ait dilsel ifade ölçeği

Dilsel ifade	Aralık değerli Pisagor sayısı
Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	([0,10;0,15], [0,90;0,95])
Çok düşük önemli (ÇDÖ)	([0,20;0,30], [0,80;0,90])
Düşük önemli (DÖ)	([0,30;0,40], [0,70;0,80])
Az önemli (AÖ)	([0,40;0,50], [0,60;0,70])
Eşit önemli (EÖ)	([0,50;0,60], [0,50;0,60])
Biraz önemli (BÖ)	([0,60;0,70], [0,40;0,50])
Çok önemli (ÇÖ)	([0,70;0,80], [0,30;0,40])
Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	([0,80;0,90], [0,20;0,30])
Kesinlikle önemli (KÖ)	([0,90;0,95], [0,10;0,20])

Çizelge 7.10. Az ışık ortamdaki performans ölçütüne ait dilsel ifade ölçeği

	Dilsel ifade	Aralık değerli Pisagor sayısı
%3 ve altı	Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	([0,10;0,15], [0,90;0,95])
%5-%7	Çok düşük önemli (ÇDÖ)	([0,20;0,30], [0,80;0,90])
%7-%10	Düşük önemli (DÖ)	([0,30;0,40], [0,70;0,80])
%10-%15	Az önemli (AÖ)	([0,40;0,50], [0,60;0,70])
%15-%20	Eşit önemli (EÖ)	([0,50;0,60], [0,50;0,60])
%20-%25	Biraz önemli (BÖ)	([0,60;0,70], [0,40;0,50])
%25-%30	Çok önemli (ÇÖ)	([0,70;0,80], [0,30;0,40])
%30-%35	Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	([0,80;0,90], [0,20;0,30])
%35 ve üstü	Kesinlikle önemli (KÖ)	([0,90;0,95], [0,10;0,20])

Çizelge 7.11. Kullanım ömrü ölçütüne ait dilsel ifade ölçeği

	Dilsel ifade	Aralık değerli Pisagor sayısı
8 yıl ve altı	Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	([0,10;0,15], [0,90;0,95])
8-11 yıl	Çok düşük önemli (ÇDÖ)	([0,20;0,30], [0,80;0,90])
11-13 yıl	Düşük önemli (DÖ)	([0,30;0,40], [0,70;0,80])
13-15 yıl	Az önemli (AÖ)	([0,40;0,50], [0,60;0,70])
15-17 yıl	Eşit önemli (EÖ)	([0,50;0,60], [0,50;0,60])
17-21 yıl	Biraz önemli (BÖ)	([0,60;0,70], [0,40;0,50])
21-24 yıl	Çok önemli (ÇÖ)	([0,70;0,80], [0,30;0,40])
24-27 yıl	Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	([0,80;0,90], [0,20;0,30])
27 ve üstü	Kesinlikle önemli (KÖ)	([0,90;0,95], [0,10;0,20])

Çizelge 7.12. Kapladığı alan ölçütüne ait dilsel ifade ölçeği

	Dilsel ifade	Aralık değerli Pisagor sayısı
3,5 m ² ve üstü	Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	([0,10;0,15], [0,90;0,95])
3,0 m ² -3,5 m ²	Çok düşük önemli (ÇDÖ)	([0,20;0,30], [0,80;0,90])
2,7 m ² -3,0 m ²	Düşük önemli (DÖ)	([0,30;0,40], [0,70;0,80])
2,4 m ² -2,7 m ²	Az önemli (AÖ)	([0,40;0,50], [0,60;0,70])
2,0 m ² -2,4 m ²	Eşit önemli (EÖ)	([0,50;0,60], [0,50;0,60])
1,70 m ² -2,0 m ²	Biraz önemli (BÖ)	([0,60;0,70], [0,40;0,50])
1,50 m ² -1,70 m ²	Çok önemli (ÇÖ)	([0,70;0,80], [0,30;0,40])
1,30 m ² -1,50 m ²	Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	([0,80;0,90], [0,20;0,30])
1,30 m ² ve altı	Kesinlikle önemli (KÖ)	([0,90;0,95], [0,10;0,20])

Çizelge 7.13. Estetik tasarım ölçütüne ait dilsel ifade ölçeği

Dilsel ifade	Aralık değerli Pisagor sayısı
Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	([0,10;0,15], [0,90;0,95])
Çok düşük önemli (ÇDÖ)	([0,20;0,30], [0,80;0,90])
Düşük önemli (DÖ)	([0,30;0,40], [0,70;0,80])
Az önemli (AÖ)	([0,40;0,50], [0,60;0,70])
Eşit önemli (EÖ)	([0,50;0,60], [0,50;0,60])
Biraz önemli (BÖ)	([0,60;0,70], [0,40;0,50])
Çok önemli (ÇÖ)	([0,70;0,80], [0,30;0,40])
Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	([0,80;0,90], [0,20;0,30])
Kesinlikle önemli (KÖ)	([0,90;0,95], [0,10;0,20])

Çizelge 7.14. Dilsel ifade karar matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	ÇYÖ	AÖ	BÖ	AÖ	ÇÖ	EÖ	AÖ
A_2	BÖ	ÇÖ	EÖ	ÇDÖ	EÖ	DÖ	ÇDÖ
A_3	KDÖ	EÖ	ÇÖ	BÖ	ÇDÖ	ÇÖ	ÇYÖ
A_4	DÖ	ÇDÖ	EÖ	EÖ	AÖ	EÖ	KÖ

Çizelge 7.15. Aralık değerli Pisagor sayısı karar matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	[0,80; 0,90], [0,20; 0,30]	[0,40; 0,50], [0,60; 0,70]	[0,60; 0,70], [0,40; 0,50]	[0,40; 0,50], [0,60; 0,70]	[0,70; 0,80], [0,30; 0,40]	[0,50; 0,60], [0,50; 0,60]	[0,40; 0,50], [0,60; 0,70]
A_2	[0,60; 0,70], [0,40; 0,50]	[0,70; 0,80], [0,30; 0,40]	[0,50; 0,60], [0,50; 0,60]	[0,20; 0,30], [0,80; 0,90]	[0,50; 0,60], [0,50; 0,60]	[0,30; 0,40], [0,70; 0,80]	[0,20; 0,30], [0,80; 0,90]
A_3	[0,10; 0,15], [0,90; 0,95]	[0,50; 0,60], [0,50; 0,60]	[0,70; 0,80], [0,30; 0,40]	[0,60; 0,70], [0,40; 0,50]	[0,20; 0,30], [0,80; 0,90]	[0,70; 0,80], [0,30; 0,40]	[0,80; 0,90], [0,20; 0,30]
A_4	[0,30; 0,40], [0,70; 0,80]	[0,20; 0,30], [0,80; 0,90]	[0,50; 0,60], [0,50; 0,60]	[0,50; 0,60], [0,50; 0,60]	[0,40; 0,50], [0,60; 0,70]	[0,50; 0,60], [0,50; 0,60]	[0,90; 0,95], [0,10; 0,20]

Adım 8: Karar matrisindeki her bir alternatifi, ölçütlere göre değerlendirilmesinde kullanılan aralık Pisagor sayısı değerlendirmelerinin entropi değeri Eş. 5.12 ile hesaplanır.

$$E_{A_1} = \frac{1}{7} \left(\left(1 - \frac{(0,80^2 + 0,90^2 + 0,20^2 + 0,30^2) \cdot |(0,80^2 + 0,90^2) - (0,20^2 + 0,30^2)|}{4} \right) + \left(1 - \frac{(0,40^2 + 0,50^2 + 0,60^2 + 0,70^2) \cdot |(0,40^2 + 0,50^2) - (0,60^2 + 0,70^2)|}{4} \right) + \dots + \left(1 - \frac{(0,40^2 + 0,50^2 + 0,60^2 + 0,70^2) \cdot |(0,40^2 + 0,50^2) - (0,60^2 + 0,70^2)|}{4} \right) \right)$$

$$E_{A_1} = 0,691$$

Diğer alternatiflere ait entropi değerleri de benzer şekilde hesaplanır. Hesaplanan entropi değerleri şu şekildedir:

$$E_{A_2} = 0,782 \quad E_{A_3} = 0,698 \quad E_{A_4} = 0,735$$

Adım 9: Bu adımda d_i ters entropi değeri Eş. 5.13 ile hesaplanır.

$$d_{A_1} = 1 - 0,691 = 0,308$$

$$d_{A_2} = 1 - 0,782 = 0,217$$

$$d_{A_3} = 1 - 0,698 = 0,301$$

$$d_{A_4} = 1 - 0,735 = 0,264$$

Adım 10: Eş. 5.14 yardımıyla i alternatifinin ölçütlere göre entropi değeri olan ω_i değeri hesaplanır.

$$\omega_{A_1} = \frac{0,308}{0,308 + 0,217 + 0,301 + 0,264} = 0,282$$

$$\omega_{A_2} = \frac{0,217}{0,308 + 0,217 + 0,301 + 0,264} = 0,199$$

$$\omega_{A_3} = \frac{0,301}{0,308 + 0,217 + 0,301 + 0,264} = 0,276$$

$$\omega_{A_4} = \frac{0,264}{0,308 + 0,217 + 0,301 + 0,264} = 0,242$$

Adım 11: Karar matrisindeki aralıklı Pisagor sayıları içeren değerlendirmeler, tek değerli Pisagor sayılara Eş. 5.15 ve Eş. 5.16 ile dönüştürülür. Yeni karar matrisi $R = (r_{ij})_{m \times n} = [\mu_{ij}^2, v_{ij}^2]_{n \times n}$ Çizelge 7.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 7.16. Tek değerli Pisagor sayı karar matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	[0,85;0,25]	[0,45;0,65]	[0,65;0,45]	[0,45;0,65]	[0,75;0,35]	[0,55;0,55]	[0,45;0,65]
A_2	[0,65;0,45]	[0,75;0,35]	[0,55;0,55]	[0,25;0,85]	[0,55;0,55]	[0,35;0,75]	[0,25;0,85]
A_3	[0,12;0,92]	[0,55;0,55]	[0,75;0,35]	[0,65;0,45]	[0,25;0,85]	[0,75;0,35]	[0,85;0,25]
A_4	[0,35;0,75]	[0,25;0,85]	[0,55;0,55]	[0,55;0,55]	[0,45;0,65]	[0,55;0,55]	[0,92;0,15]

Adım 12: Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm vektörlerinin belirlenmesi

Pozitif ideal çözüm $\tilde{\alpha}_i^+ = (1,0,0)$ ($i = 1,2,3,4$) ve negatif ideal çözüm $\tilde{\alpha}_i^- = (0,1,0)$ ($i = 1,2,3,4$) olarak belirlenir.

Adım 13. Karar Matrisine ait pozitif ideal benzerlik (D_i^+)ve negatif ideal benzerlik (D_i^-) çözüm Eş. 5.17 ve Eş. 5.18 ile hesaplanır. Alternatif 1’e ait hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 D_{A_1}^+ = & \left(\tilde{A}_1, \tilde{\alpha}_1^+ \right) = 0,195 \frac{0,85^2 1^2 + 0,25^2 0^2 + 0,46^2 0^2}{\sqrt{0,85^4 + 0,25^4 + 0,46^4 \sqrt{1^4 + 0^4 + 0^4}}} + 0,161 \frac{0,45^2 1^2 + 0,65^2 0^2 + 0,61^2 0^2}{\sqrt{0,45^4 + 0,65^4 + 0,61^4 \sqrt{1^4 + 0^4 + 0^4}}} + \\
 & 0,132 \frac{0,65^2 1^2 + 0,45^2 0^2 + 0,61^2 0^2}{\sqrt{0,65^4 + 0,45^4 + 0,61^4 \sqrt{1^4 + 0^4 + 0^4}}} + 0,178 \frac{0,45^2 1^2 + 0,65^2 0^2 + 0,61^2 0^2}{\sqrt{0,45^4 + 0,65^4 + 0,61^4 \sqrt{1^4 + 0^4 + 0^4}}} + \\
 & 0,145 \frac{0,75^2 1^2 + 0,35^2 0 + 0,56^2 0^2}{\sqrt{0,75^4 + 0,35^4 + 0,56^4 \sqrt{1^4 + 0^4 + 0^4}}} + 0,084 \frac{0,55^2 1^2 + 0,55^2 0^2 + 0,63^2 0^2}{\sqrt{0,55^4 + 0,55^4 + 0,63^4 \sqrt{1^4 + 0^4 + 0^4}}} + \\
 & 0,101 \frac{0,45^2 1^2 + 0,65^2 0^2 + 0,61^2 0^2}{\sqrt{0,45^4 + 0,65^4 + 0,61^4 \sqrt{1^4 + 0^4 + 0^4}}} +
 \end{aligned}$$

$$D_{A_1}^+ = 0,597$$

Diğer hesaplamalar şu şekildedir:

$$D_{A_2}^+ = 0,459 \quad D_{A_3}^+ = 0,508 \quad D_{A_4}^+ = 0,405$$

Negatif ideal benzerlikler ise şu şekilde hesaplanacaktır:

$$D_{A_1}^- = \left(\tilde{A}_1, \tilde{\alpha}_1^- \right) = 0,195 \frac{0,85^2 0^2 + 0,25^2 1^2 + 0,46^2 0^2}{\sqrt{0,85^4 + 0,25^4 + 0,46^4 \sqrt{0^4 + 1^4 + 0^4}}} + 0,161 \frac{0,45^2 0^2 + 0,65^2 1^2 + 0,61^2 0^2}{\sqrt{0,45^4 + 0,65^4 + 0,61^4 \sqrt{0^4 + 1^4 + 0^4}}} +$$

$$0,132 \frac{0,65^2 0^2 + 0,45^2 1^2 + 0,61^2 0^2}{\sqrt{0,65^4 + 0,45^4 + 0,61^4 \sqrt{0^4 + 1^4 + 0^4}}} + 0,178 \frac{0,45^2 0^2 + 0,65^2 1^2 + 0,61^2 0^2}{\sqrt{0,45^4 + 0,65^4 + 0,61^4 \sqrt{0^4 + 1^4 + 0^4}}} +$$

$$0,145 \frac{0,75^2 0^2 + 0,35^2 1^2 + 0,56^2 0^2}{\sqrt{0,75^4 + 0,35^4 + 0,56^4 \sqrt{0^4 + 1^4 + 0^4}}} + 0,084 \frac{0,55^2 0^2 + 0,55^2 1^2 + 0,63^2 0^2}{\sqrt{0,55^4 + 0,55^4 + 0,63^4 \sqrt{0^4 + 1^4 + 0^4}}} +$$

$$0,101 \frac{0,45^2 0^2 + 0,65^2 1^2 + 0,61^2 0^2}{\sqrt{0,45^4 + 0,65^4 + 0,61^4 \sqrt{0^4 + 1^4 + 0^4}}}$$

$$D_{A_1}^- = 0,443$$

Diğer hesaplamalar şu şekildedir:

$$D_{A_2}^- = 0,580 \quad D_{A_3}^- = 0,525 \quad D_{A_4}^- = 0,632$$

Adım 14. Çarpımsal pozitif ideal benzerlik (B_i^+) ve çarpımsal ait negatif ideal benzerlik (B_i^-) Eş. 5.19 ve Eş. 5.20 ile hesaplanır.

$$B_{A_1}^+ = \frac{-1}{\ln(0,282 \times 0,597)} = 0,561$$

Diğer alternatiflere ait hesaplama sonuçları şu şekildedir:

$$B_{A_2}^+ = 0,418 \quad B_{A_3}^+ = 0,509 \quad B_{A_4}^+ = 0,430$$

Negatif ideal benzerlik hesaplamaları şu şekildedir:

$$B_{A_1}^- = \frac{-1}{\ln(0,282 \times 0,443)} = 0,481$$

Diğer alternatiflere ait hesaplama sonuçları şu şekildedir:

$$B_{A_2}^- = 0,463 \quad B_{A_3}^- = 0,517 \quad B_{A_4}^- = 0,533$$

Adım 15. İdeal çözüme görelî benzerliği Eş. 5.21 ile hesaplanır.

$$C_{A_1} = \frac{0,561}{0,481 + 0,561} = 0,538$$

$$C_{A_2} = \frac{0,418}{0,463 + 0,418} = 0,474$$

$$C_{A_3} = \frac{0,509}{0,517 + 0,509} = 0,495$$

$$C_{A_4} = \frac{0,430}{0,533 + 0,430} = 0,446$$

Adım 16. En iyi alternatifin seçilmesi

Görelî benzerliği en fazla olan alternatif, en iyi alternatif olarak seçilecektir.

$$C_{A_1} > C_{A_3} > C_{A_2} > C_{A_4}$$

Görelî benzerlikler karşılaştırıldığında Alternatif 1 (Monokristal güneş paneli) lojistik köyler için en iyi alternatif olarak seçilecektir.

7.3 Problemin Pisagor TOPSIS Yöntemi ile Çözümü

Çalışmanın bu bölümünde güneş enerjisi paneli seçim problemi Pisagor TOPSIS yöntemi ile çözümlenecektir. Bu bölümde kullanılacak olan karar matrisi Bölüm 7.2'deki uzmanlar tarafından kurulan karar matrisi ile aynıdır ve ölçütler için Bölüm 7.2'de hesaplanan ağırlıklar kullanılacaktır. Bu bölümdeki uygulamada karar matrisi adımından başlanacaktır ve entropi değerleri kullanılmayacağı için Adım 12'deki hesaplamalardan devam edilecektir.

Adım 13: Ağırlandırılmış karar matrisinin bulunması

Uzmanlar tarafından belirlenen karar matrisi, ölçüt ağırlıkları ile çarpılarak ağırlandırılmış karar matrisi hesaplanır. Hesaplanan ağırlıklandırılmış karar matrisi Çizelge 7.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.17. Ağırlıklandırılmış karar matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	[0,47;0,76]	[0,19;0,93]	[0,26;0,90]	[0,20;0,93]	[0,34;0,89]	[0,17;0,95]	[0,15;0,96]
A_2	[0,32;0,86]	[0,35;0,84]	[0,22;0,92]	[0,11;0,97]	[0,23;0,92]	[0,11;0,98]	[0,08;0,98]
A_3	[0,06;0,98]	[0,24;0,91]	[0,32;0,87]	[0,31;0,87]	[0,10;0,98]	[0,26;0,91]	[0,35;0,87]
A_4	[0,16;0,95]	[0,10;0,97]	[0,22;0,92]	[0,25;0,90]	[0,18;0,94]	[0,17;0,95]	[0,42;0,82]

Adım 14: Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm vektörlerinin belirlenmesi

Pozitif ideal çözüm $\tilde{\alpha}_i^+ = (1,0,0)$ ($i = 1,2,3,4$) ve negatif ideal çözüm $\tilde{\alpha}_i^- = (0,1,0)$ ($i = 1,2,3,4$) olarak belirlenir.

Adım 15. Karar Matrisine ait pozitif ideal uzaklık (S_i^+) ve negatif ideal uzaklıklar (S_i^-) hesaplanır. Alternatiflere ait uzaklıklar aşağıda gösterilmiştir.

$$S_{A_1}^+ = 6,100 \quad S_{A_2}^+ = 6,350 \quad S_{A_3}^+ = 6,213 \quad S_{A_4}^+ = 6,304$$

$$S_{A_1}^- = 1,160 \quad S_{A_2}^- = 1,046 \quad S_{A_3}^- = 1,107 \quad S_{A_4}^- = 1,004$$

Adım 16. İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması.

$$C_{A_1} = \frac{1,160}{6,100 + 1,160} = 0,160$$

$$C_{A_2} = \frac{1,046}{0,463 + 1,046} = 0,141$$

$$C_{A_3} = \frac{1,107}{6,213 + 1,107} = 0,151$$

$$C_{A_4} = \frac{1,004}{6,304 + 1,004} = 0,137$$

Adım 17. En iyi alternatifin seçilmesi

Görelî yakınlığı en fazla olan alternatif, en iyi alternatif olarak seçilecektir.

$$C_{A_1} > C_{A_3} > C_{A_2} > C_{A_4}$$

Görelî benzerlikler karşılaştırıldığında Alternatif 1 (Monokristal güneş paneli) lojistik köyler için en iyi alternatif olarak seçilecektir. Pisagor TOPSIS sonucu, önerilen yöntem ile kıyaslandığında aynı sonuçları vermektedir.

8. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında üç farklı hedef belirlenmiştir. Belirlenen hedefler şu şekildedir: Yeni tip bulanık kümeler ile yatırım alternatifleri analizi eşitlikleri geliştirilmesi, Pisagor bulanık sayılar için yeni bir yığılma operatörü geliştirilmesi ve yeni bir ÇÖKV modeli önerilmesidir.

Belirlenen hedefler doğrultusunda yeni tip bulanık kümeler ile yatırım alternatifleri geliştirmek amacıyla öncelikle literatürde mevcut bulanık kümeler ve uzantıları ile çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen modeller incelenmiş; mevcut modellerin avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. Çalışmamızda öncelikle yığılmış nütrosifik yatırım analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu eşitliklerde nütrosifik değerlendirmelerin durulaştırılmasına ihtiyaç duyulmuş ve yeni bir durulaştırma operatörü literatüre kazandırılmıştır. İkinci olarak geliştirilen yöntemde ise nütrosifik değerlendirmeleri kullanan ancak durulaştırma operatörüne ihtiyaç duymayan eşdeğer nütrosifik yatırım analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında literatüre yatırım analizi eşitliklerinde kullanılmak üzere yeni bir çarpım operatörü geliştirilmiştir. Geliştirilen bu operatör mevcut çarpım operatörlerinin dezavantajlarını ortadan kaldırarak, nütrosifik değerlendirmeleri ve parametrelerin olası değerlerini eşdeğer değerlerinin bulunmasında etkili sonuç vermektedir. Nütrosifik kümeleri kullanan üçüncü yöntem olarak aralık değerli nütrosifik yatırım analizi teknikleri geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında parametrelere ait olası değerleri belirlemek için aralık sayı teoremi kullanılmış; böylece uzmanlara, parametrelere ait değerlendirmelerini gerçekleştirmelerinde daha serbest bir karar verme ortamı sağlanmıştır. Bu çalışma kapsamında literatüre getirilen diğer bir yenilik ise, uzmanların her birinin ayrı ayrı olası değer tahmini ve nütrosifik üyelik derecesi tahmini yapmasıdır. Geliştirilen bu çalışmanın aralık sayı teoremi ile nütrosifik kümelerin bir arada kullanılması ve parametre değerleri ve nütrosifik üyelik derecelerinin uzmanlar tarafından serbest olarak atanabilmesi, diğer bulanık küme ve uzantıları ile önerilen modellere göre önerilen modele daha fazla avantaj sağlamaktadır.

Çalışmanın yeni tip bulanık kümeler ile geliştirilen eşitliklerin ikinci kısmında Pisagor bulanık sayılar kullanılmıştır. İlk olarak yığılmış Pisagor yatırım analizi eşitlikleri geliştirilmiştir. Bu eşitliklerde uzmanlar parametrelere ait olası değerlere pisagor sayıları

kullanarak üyelik derecesi ve üye olmama derecesi belirlenmiştir. Sonraki adımda farklı uzmanlara ait Pisagor üyelik dereceleri yığıştirılmış ve durulaştırma operatörü kullanarak net değerler elde edilmiştir. Daha sonra parametrelere ait olası değerler ve üyelik dereceleri ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak tek bir değere dönüştürülmüştür. Son adımda ise elde edilen bu değerler ile çeşitli yatırım analizi eşitlikleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya ek olarak Pisagor küme teoremini kullanan ikinci bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada aralık sayı teoremi kullanılarak uzmanlara parametrelere ait olası değerleri belirlemede serbest bir karar verme ortamı sağlanmıştır. Bu çalışma aralık sayı teoremi ve Pisagor sayıları kullanan ilk çalışma olması nedeniyle önem taşımaktadır.

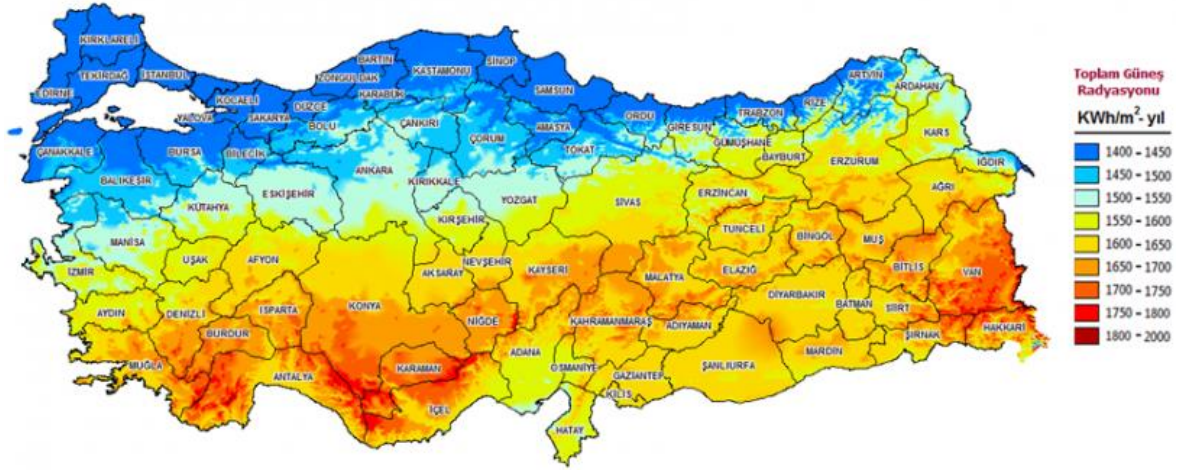
Çalışmanın diğer hedeflerinden biri olan Pisagor sayılar için yeni bir yığışım operatörü tez çalışması kapsamında geliştirilmiştir. Bu çalışmada temel alınan nokta, ÇÖKV problemlerinde birden fazla uzmanın farklı değerlendirmelerinin tek bir değerlendirmeye yığıştirılarak karar matrisinin oluşturulmasıdır. Uzmanlar belirlenen konu hakkında değerlendirmelerini yaparken, bazı uzmanlar diğer uzmanların değerlendirmelerinden farklı olarak alternatifler üzerinde aykırı değer olarak tanımlayabileceğimiz değerlendirmelere yer verebilirler. Bu durumda, uzmanların değerlendirmelerinin çeşitli yığışım operatörleri kullanıldığında aykırı değerler ortalama da etkin rol oynayacaktır. Oysaki harmonik ortalamanın kullanılması durumunda harmonik ortalamanın özelliğinden dolayı aykırı değerler ortalama ya çok az etki edebilecektir. Bu nedenle, tez çalışmasında uzmanların yamuk pisagor bulanık sayılar kullanarak gerçekleştirdikleri değerlendirmelerinde aykırı değerler bulunması durumunda, bu aykırı değerlerin ortalama ya etkisini azaltmak amacıyla yeni yığışım operatörleri üretilmiştir. Üretilen bu yığışım operatörleri literatürde pisagor sayılarla gerçekleştirilen ilk harmonik ortalama yığışım operatörleri olması nedeniyle önem taşımaktadır.

Çalışmanın son hedefi olan yeni bir ÇÖKV modeli önerilmiştir. Bu çalışma kapsamında belirlenen alternatiflerin belirlenen kriterlere göre değerlendirilmesinde uzman görüşlerine başvurulmuş ve uzman görüşleri aralık değerli pisagor sayılar ile temsil edilmiştir. Geliştirilen yöntemde öncelikle ölçütlere ait ikili karşılaştırma matrisi kurulması ve ölçütlerin ağırlıkları olasılık derecesi sıralama yöntemi yardımıyla hesaplanması önerilmiştir. Sonraki adımda uzmanlar tarafından aralıklı Pisagor sayılar kullanılarak her bir ölçüte göre alternatifleri değerlendiren karar matrisi kurulması önerilmiştir. Karar matrisinde

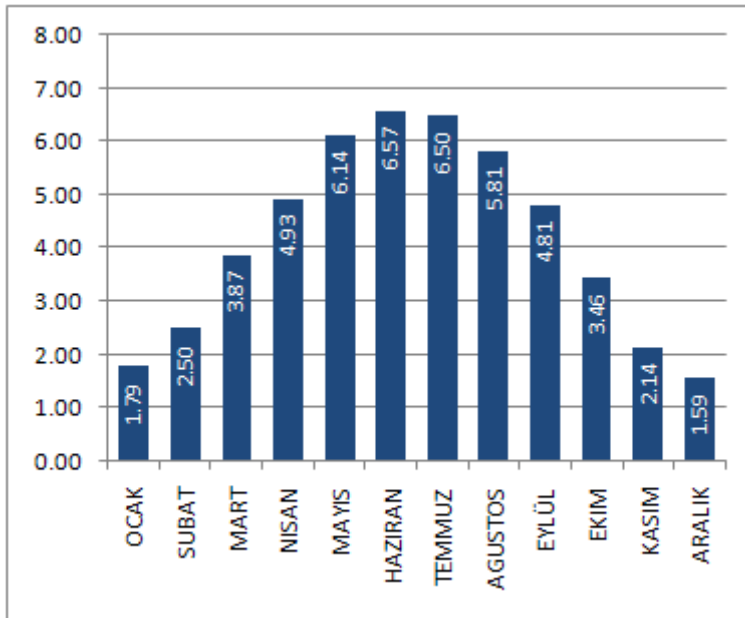
öncelikle alternatiflere ait entropi değerleri, entropi teorisi yardımıyla hesaplanmıştır. Sonraki adımda çözüm kümesine ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm vektörleri belirlenerek, alternatiflerin bu vektörlere olan kosinüs benzerliği hem ölçütlerin ağırlıklarını hem de alternatiflerin entropi değerlerini hesaba katan yeni bir yaklaşım ile hesaplanmıştır. Problemin çözüme kavuşturulmasında ideal çözüme göreli benzerliği en fazla olan alternatifin en iyi alternatif olarak seçilmesi önerilerek, bu işlemlere ait adımlar ve eşitlikler tanımlanmıştır. Bu çalışmada literatürde ilk defa Pisagor küme teoremi, olasılık derecesi sıralama yöntemi, entropi teoremi ve kosinüs benzerlik teoremi bir arada kullanılarak melez bir yöntem önerilmiştir.

Çalışmanın son bölümü olan uygulama bölümünde Türkiye'de kurulan ve kurulacak olan lojistik köylerde kullanılmak üzere güneş enerjisi paneli seçim problemi ele alınmıştır. Bu kapsamda 4 farklı alternatif 7 farklı ölçüte göre değerlendirilmiştir. Alternatifler monokristal güneş panelleri, polikristal güneş panelleri, ince film güneş panelleri ve esnek güneş panelleri olarak literatürde mevcut olan paneller arasından en çok kullanılanlardan seçilmiştir. Ölçütler ise verimlilik, maliyet, montaj kolaylığı, az ışık ortamındaki performansı, kullanım ömrü, kapladığı alan ve estetik tasarım olarak belirlenmiştir. Çalışmada ölçütlerin ağırlıklarının bulunmasında ve alternatiflerin ölçütlere göre değerlendirilmesinde İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı'nda görevli olan 3 farklı uzmanın görüşlerinden faydalanılmıştır. Çalışmada öncelikle ölçütlerin ağırlıkları olasılık derecesi sıralama yöntemi ile belirlenmiştir. Ölçütlerin ağırlıkları verimlilik, az ışık ortamındaki performansı, maliyet, kullanım ömrü, montaj kolaylığı, estetik tasarım ve kapladığı alan olarak sıralanmıştır. Daha sonra entropi teoremi ve kosinüs benzerlik teoremleri kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Alternatiflerin ağırlıklarına göre sıralanması sonucu elde edilen sıralama şu şekildedir: Monokristal güneş panelleri, ince film güneş panelleri, polikristal güneş panelleridir ve esnek güneş panelleridir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekilde analiz edilmiştir: Verimlilik ve az ışık ortamındaki performans ölçütleri lojistik köylerde kullanılacak olan güneş panelleri için en fazla öneme sahip ölçütlerdir. İlk veriler incelendiğinde ince güneş panellerinin verimliliği düşük olsa da az ışık ortamındaki performansları diğer alternatiflere oranla daha fazladır ve bu özelliği tercih edilen ikinci alternatif olmasında önemli bir rol oynamıştır. Bu sonuca bağlı olarak Türkiye'deki güneş radyasyon etkisinin incelenmesine gerek duyulmuştur. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı "Türkiye global güneş radyasyonu uzun yıllar

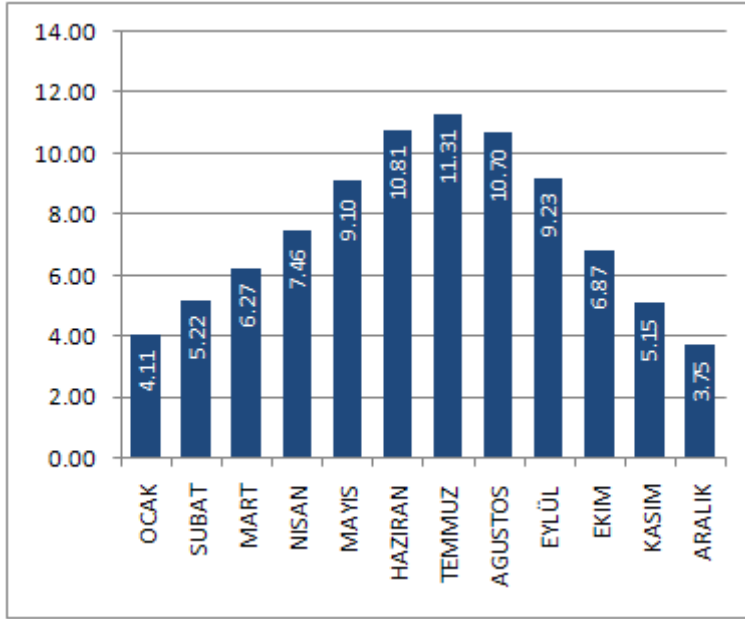
ortalaması" verileri incelenmiştir. Türkiye'de illere göre toplam güneş radyasyonu Kwh/m^2 cinsinden yıllık oranları Harita 8.1'de gösterilmiştir. Ayrıca Türkiye global radyasyon değerleri $\text{KWh/m}^2\text{-gün}$ cinsinden Şekil 8.1'de, Türkiye güneşlenme süreleri saat cinsinden Şekil 8.2'te gösterilmiştir.



Harita 8.1. Toplam güneş radyasyonu haritası ($\text{Kwh/m}^2\text{-yıl}$) (www.mgm.gov.tr, 2019)



Şekil 8.1. Türkiye global radyasyon değerleri ($\text{KWh/m}^2\text{-gün}$) (www.mgm.gov.tr, 22 Şubat 2019)



Şekil 8.2. Türkiye güneşlenme süreleri (Saat) (www.mgm.gov.tr, 22 Şubat 2019)

Harita 8.1 incelendiğinde Marmara, Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerinin Türkiye'nin en az güneş radyasyonu alan bölgeleri olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 8.1 ve Şekil 8.2 incelendiğinde Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında en fazla radyasyon ve güneşlenme sürelerine sahip aylar olarak görülmektedir. Bu değerler kurulmuş ve kurulacak olan lojistik köylerin Bölüm 7'de anlatılan lokasyonları bakımından incelendiğinde şu sonuca varılmıştır: Toplam 20 adet lojistik köy projesi bulunmaktadır ve bu projelerin 14 adedi Harita 8.1'de gösterilen sarı ve turuncu bölge olan güneş radyasyonun yoğun olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Ayrıca 2023'te tamamlanması beklenen 7 adet lojistik köyün 6 adedi yine Türkiye'de en çok güneş radyasyonu olan bölgelerde kurulması planlanmıştır. Bu veriler doğrultusunda Türkiye'de kurulan ve kurulacak olan lojistik köylerde güneş enerji panellerinde verimlilik ölçütü büyük önem taşımaktadır. Ayrıca güneş radyasyon oranının düşük olduğu bölgelerde ise güneş enerji panellerinin az ışık ortamındaki performansları önem arz etmektedir. Bu nedenlerden ötürü monokristal güneş panelleri maliyet ölçütüne göre diğer alternatiflere oranla dezavantaja sahip olsa da güneş radyasyon oranının yoğun olduğu bölgelerde en fazla verimi vermesi önerilen modelde ilk tercih edilen alternatif olmasında önemli rol oynamıştır. İnce güneş panelleri güneşli ortamlarda daha düşük performans gösterse de az ışık ortamında en iyi performansı göstermesi alternatiflerin sıralanmasında ikinci sırayı almasında büyük rol oynamıştır. Polikristal güneş panelleri maliyet ölçütüne göre diğer alternatiflere üstünlük sağlasa da diğer ölçütlerle beraber değerlendirildiğinde üçüncü tercih edilen alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Esnek

güneş panelleri en son tercih edilen alternatif olup, günümüz şartlarında kullanımı estetik görünümüleri nedeniyle montaj yapılacak yerlerin eğimli olan kısımlarında büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak lojistik köylerde estetik tasarımla ilgili herhangi bir kaygı yaşanmaması, direkt olarak verimlilik ölçütüne önem verilmesi ve montaj yapılacak alanlarda büyük düzlükler ve geniş alanlar bulunması nedeniyle bu güneş paneli son sırada değerlendirilmiştir. Ancak bu güneş panelleri evlerde kullanım veya gemi/yat gibi daha çok estetik ölçütüne önem veren, elektrik enerji üretiminin sadece kendisi için üreten istasyonlarda tercih edilen alternatif olabilecektir.

Güneş enerji panellerinin dünya üzerinde kullanımı her geçen gün artmakta ve yeni model araştırma geliştirme projeleri ilgili firmalar tarafından çalışılmaktadır. Türkiye'de kurulan ve kurulacak olan lojistik köylerde kendine yeten sürdürülebilir enerji kaynakları kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen tez çalışması uygulama kısmındaki elde edilen veriler ile yine tez çalışması kapsamında önerilen yeni ÇÖKV modeli ile çözülmüş ve sonuçları yorumlanmıştır. İlerleyen çalışmalarda bu veriler farklı bulanık küme uzantıları ile tanımlanabilir ve önerilen model bu bulanık küme uzantılarına göre geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akman, G. (2014). Evaluating suppliers to include green supplier development programs via Fuzzy C-Means and Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje methods. *Computers and Industrial Engineering*, 86, 69–82.
- Appadoo S.S. (2014). Possibilistic fuzzy net present value model and application. *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 865968 1-11.
- Aslan, E. (2009). *Bulanık mantık hiyerarşi prosesi yöntemi yardımıyla tedarikçi seçimi ve üretim sektöründe bir uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 40-41.
- Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96.
- Awasthi A, Kannan G. (2016). Green supplier development program selection using NGT and Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje under fuzzy environment. *Computational Industrian Engineering*, 91, 100–108.
- Awasthi, A., Chauhan, S.S., Goyal, S.K. (2010). A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. *International Journal of Production Economics*, 126(2), 370-378.
- Aydın S., Kabak, M. (2020), Investment analysis using neutrosophic present and future worth techniques, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 38(1) 627-637.
- Aydın S., Kahraman, C., and Kabak, M. (2018), Evaluation of investment alternatives using present value analysis with simplified neutrosophic sets, *Engineering Economics*, 29(3), 254-263
- Bağırkan, Ş. (1983). *Karar verme*, İstanbul: Der Yayınları, 4-9.
- Bai Y., Wang D. (2006) *Fundamentals of Fuzzy Logic Control- Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications*. In: Bai Y., Zhuang H., Wang D. (eds) *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*. Advances in Industrial Control. London: Springer, 112-145.
- Bana E Costa, C.A., Vansnick, J. C. (1999). The measuring attractiveness bu a categorical based evaluation technique approach: Basic ideas, software, and an application', in (Ed. Meskens N., R., M.): *Advances in Decision Analysis*, (Kluwer Academic Publishers, 1999). Hollanda: Springer, 131-157.
- Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I.E., and Omid, M. (2017). Supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers and Operations Research*, 85, 140-150.
- Bas, E., Kahraman, C. (2009). Fuzzy capital rationing model. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 224(2), 628-645.

- Bhattacharyya, R., Kumar, P., and Kar, S. (2011). Fuzzy research and development portfolio selection of interdependent projects. *Computers and Mathematics with Applications*, 62(10), 3857-3870.
- Boutkhoul O, Hanine M, Tikniouine A, and Agouti T. (2015) Multi-criteria decisional approach of the Online analytical processing analysis by fuzzy logic: Green logistics as a case study. *Arabian Journal Science Engineering*, 40(8), 2345–2359.
- Brans, J.P. *L'ingenierie de la decision Elaboration d'instruments d'aide a la decision. Methode Preference ranking organization method for enrichment evaluation I*, in Nadeau, R., Landry, M. (Ed.): 'L'aide a la decision: Nature, instruments et perspectives d'avenir' (Presses de l'Universite Laval, 1982), 183–214.
- Brans, J.P., Mareschal, B., and Vincke, P. (1986). How to select and how to rank projects: The Preference ranking organization method for enrichment evaluation method for multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228-238.
- Brans, J.P., Vincke, P. (1985). A preference ranking organization method: The preference ranking organization method for enrichment evaluation method for MCDM. *Management Science*, 31(6) ,647-656.
- Buckley, J. J. (1987). The fuzzy mathematics of finance. *Fuzzy Sets and Systems*, 21(3), 257-273.
- Büyüközkan, G., Çifçi, G. (2011). A novel hybrid Multicriteria decision making approach based on Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000–3011.
- Büyüközkan, G., Çifçi, G. (2012). Evaluation of the green supply chain management practices: a fuzzy ANP approach. *Production Planning and Control*, 23(6) 1-14.
- Cao QW, Wu J, and Liang CY. (2015). An intuitionistic fuzzy judgement matrix and TOPSIS integrated multicriteria decision making method for green supplier selection. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 28(1), 117–126.
- Celik E, Erdogan M, Gumus AT. (2016) An extended fuzzy TOPSIS-GRA method based on different separation measures for green logistics service provider selection. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(5),1377–1392.
- Chan, F. T. S., Chan, M. H., and Tang, N. K. H. (2000). Evaluation methodologies for technology selection. *Journal of Materials Processing Technology*, 107(1–3), 330-337.
- Chen HM, Chou SY, Luu QD, and Yu, THK. (2016). A fuzzy multicriteria decision making approach for green supplier selection from the economic and environmental aspects. *Mathematical Problems Engineering*, 2016, 1–10.
- Chen, A., Hwang, C. (1992). *Fuzzy multiple attribute decision making*. Germany: Springer-Verlag, 86-351.

- Chen, C.C., Tseng, M.L., Lin, Y.H., and Lin, Z. S. (2010). *Implementation of green supply chain management in uncertainty*. In: International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 7(10), 260-264.
- Chen, C.W., Liou T.S. (2006). Evaluation and analysis of investment alternatives with different economic lives using fuzzy logic. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 9(1), 77-97.
- Cheng, M. Y., Tsai, H. C., and Sudjono, E. (2010). Evolutionary fuzzy hybrid neural network for project cash flow control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(4), 604-613.
- Chiou, C. Y., Hsu, C. W., and Hwang, W. Y. (2008, December). *Comparative investigation on green supplier selection of the American, Japanese and Taiwanese electronics industry in China*. International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1909–1914.
- Chiou, T.Y., Chan, H.K., Lettice, F., and Chung, S.H. (2011). The influence of greening the suppliers and green innovation on environmental performance and competitive advantage in Taiwan. *Transportation Research*, 47(6), 822-836.
- Chiu, C. Y., Park C. S. (1994). Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion. *The Engineering Economist*, 39(2), 113-138.
- Chiu, C.Y., Park, C. S. (1998). Capital Budgeting Decisions With Fuzzy Projects. *The Engineering Economist*, 43(2), 125-150.
- Chqoquet, G., (1954). Theory of Capacities, *Annales De L'institut Fourier*, Tome, 5, 131-295.
- Churchman, C.W., Ackoff, R.L. (1954). An Approximate Measure of Value. *Journal of Operations Research Society of America*, 2(1), 172-87.
- Dinagar, D.S., Kamalanathan, S. (2015). A note on maximize fuzzy net present value with new ranking. *International Journal Fuzzy Mathematical Archive*, 7(1), 63-74.
- Du, Y., Hou, F., Zafar, W., Yu Q., and Zhai, Y. (2017). A novel method for multiattribute decision making with interval-valued pythagorean fuzzy linguistic information. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(10), 1085–1112.
- Erol, I., Sencer, S., and Sarı, R. (2011). A new fuzzy multi-criteria framework for measuring sustainability performance of a supply chain. *Ecological Economics*, 70(6), 1088–1100.
- Evren R. ve Ülengin, F. (1992). *Yönetimde çok amaçlı karar verme*, Türkiye: Teknik Üniversite Matbaası, 72-78.

- Fasanghari, M., Mohamedpour, M., Mohamedpour, M.A. (2009, April). *A Novel Method Combining ORESTE, Fuzzy Set Theory, and TOPSIS Method for Ranking the Information and Communication Technology Research Centers of Iran*, Sixth International Conference on Information Technology: New Generations, ITNG, USA.
- Fasanghari, M.; Pour, M.M. (2008, Kasım) *Information and Communication Technology Research Center Ranking Utilizing a New Fuzzy ORESTE Method (FORESTE)*, Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, ICCIT, Korea.
- Fathollahi F., Najafi A.A. (2016). A hybrid genetic algorithm to maximize net present value of project cash flows in resource constrained project scheduling problem with fuzzy parameters. *International Journal of Science and Technology*, 23(4) 1893-1903.
- Filho A.C.S., Vellasco M.B.R., and Tanscheit R. (2012, March). *Modified Net Present Value under Uncertainties: An Approach Based on Fuzzy Numbers and Interval Arithmetic*. International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Portugal.
- Fontela, E., and Gabus, A. (1974). *DEMATEL, Innovative methods*. Report no. 2 structural analysis of the World problematique. Battelle Geneva Research Institute.
- Fontela, E., Gabus, A. (1976). *The DEMATEL observer: Battelle Institute*. Geneva Research Center, 56-61.
- Garg, H. (2016). A new generalized pythagorean fuzzy information aggregation using Einstein operations and its application to decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 31(9), 886–920.
- Garg, H. (2016). A novel accuracy function under interval-valued pythagorean fuzzy environment for solving multicriteria decision making problem. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 31(1), 529–540.
- Garg, H. (2017). Confidence levels based Pythagorean fuzzy aggregation operators and its application to decision-making process. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 23(4), 546–571.
- Garg, H. (2017). Generalized Pythagorean fuzzy geometric aggregation operators using Einstein t-norm and t-conorm for multicriteria decision-making process. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(6), 597–630.
- Garg, H. (2018). Hesitant Pythagorean fuzzy Maclaurin symmetric mean operators and its applications to multiattribute decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 34(4), 601-626.
- Garibaldi, J.M., Jaroszewski, M., and Musikasuwan, S. (2008). Nonstationary fuzzy sets. *IEEE Software*, 20, 34-41.

- Ghofrani, M., Arabali, A., Amoli M.E., and Fadali S. (2014). Smart scheduling and cost-benefit analysis of grid-enabled electric vehicles for wind power integration. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(5), 2306-2313.
- Govindan K, Kannan D, and Shankar M. (2015) Evaluation of green manufacturing practices using a hybrid MCDM model combining DANP with PROMETHEE. *International Journal of Production Research*, 53(21), 6344–6371.
- Govindan K, Khodaverdi R, and Vafadarnikjoo A. (2015) Intuitionistic fuzzy based DEMATEL method for developing green practices and performances in a green supply chain. *Expert Systems with Application*, 42(20), 7207–7220.
- Grisi R.M., Guerra L., Naviglio G. (2010) *Supplier Performance Evaluation for Green Supply Chain Management*. In: Taticchi P. (eds) *Business Performance Measurement and Management*. Berlin: Springer, Heidelberg.
- Güleş, H.K., Paksoy, T., Bülbül, H., Özçaylan, E. (2012). *Tedarik Zinciri Yönetimi* (Genişletilmiş İkinci Baskı). Türkiye: Gazi Kitabevi, 6-11.
- Hamdan, S., Cheaitou, A. (2017). *Green supplier selection and order allocation using an integrated Fuzzy TOPSIS, AHP and IP approach*. The 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, IEEE, Dubai, UAE.
- Hwang, L. and Yoon W. (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. Almany: Springer-Verlag, 102-124.
- Ishibuchi H., Tanaka H., (1990). Multiobjective programming in optimization of the interval objective function. *European Journal of Operational Research*, 48(2), 219-225.
- Jaulin, L., Kieffer, M., Didrit, O. and Walter, E. (2001). *Applied Interval Analysis*. London: Springer, 98-117.
- Kahraman C., Kaya İ. (2010) Investment analyses using fuzzy probability concept. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), 43-57.
- Kahraman C., Onar S.C., Oztaysi B. (2018) *Present Worth Analysis Using Pythagorean Fuzzy Sets*. In: Kacprzyk J., Szmidt E., Zadrożny S., Atanassov K., Krawczak M. (eds) *Advances in Fuzzy Logic and Technology 2017. IWIFSGN 2017, EUSFLAT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Switzerland, Springer, 336-342.
- Kahraman C., Sarı İ.U., Onar S.C., Oztaysi B. (2017). *Fuzzy Economic Analysis Methods for Environmental Economics*. In: Kahraman C., Sarı, İ. (eds) *Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications. Intelligent Systems Reference Library*, Switzerland: Springer, Cham. 315-346
- Kahraman, C., Ulukan, Z. (1997, August). *Continuous compounding in capital budgeting using fuzzy concept*. Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Spain.

- Kahraman, C., Beskese, A., and Ruan, D. (2004). Measuring flexibility of computer integrated manufacturing systems using fuzzy cash flow analysis. *Information Sciences*, 168(1–4), 77-94.
- Kahraman, C., Çevik, S., and Öztayşi, B., (2016). A comparison of wind energy investment alternatives using interval-valued intuitionistic fuzzy benefit/cost analysis. *Sustainability*, 8(2), 118-136.
- Kahraman, C., Çevik, S., and Öztayşi, B., (2016). Interval valued intuitionistic fuzzy investment analysis: application to cnc lathe selection. *International Federation of Automatic control*, 49(12), 1323-1328.
- Kahraman, C., Gülbay, M., and Ulukan, Z. (2006). *Applications of fuzzy capital budgeting techniques*, in: C. Kahraman (Ed.), *Fuzzy Applications in Industrial Engineering*, Berlin: Springer, 177-203.
- Kahraman, C., Öztayşi, B., and Onar, S.Ç. (2015), *Present worth analysis using hesitant fuzzy sets*, IFSA-EUSFLAT, Gijon, Spain.
- Kahraman, C., Öztayşi, B., and Onar, S.Ç. (2015, August). *Annual cash flow analysis using hesitant fuzzy sets*. IEEE international Conference on fuzzy Sets. FUZZ-IEEE 2015, Kadir Has University, Istanbul.
- Kahraman, C., Ruan, D., and Tolga, E. (2002). Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows. *Information Sciences*, 142(1–4), 57-76.
- Kahraman, C., Tolga, E., and Ulukan, Z. (2000). Justification of manufacturing technologies using fuzzy benefit/cost ratio analysis. *International Journal of Production Economics*, 66(1), 45-52.
- Kahraman, C., Tolga, E. (1998). *Capital budgeting techniques under fuzzy information*. Proceedings of Tenth Ieee International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 10(12), 242-249.
- Kanga, B., Hu, Y., Deng Y. and Zhou D. (2016). A new methodology of multicriteria decision-making in supplier selection based on Z-numbers, *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, Article ID 8475987.
- Kannan D, Khodaverdi R, Olfat L, Jafarian A, and Diabat A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Clean Production*, 47, 355–367.
- Karimi, M., Niknamfar, A.H. (2015, November). *Implementation of target costing system based on net present value in a fuzzy environment*. Conference on Modern Research in Management and Industrial Engineering, Dubai.
- Karsak, E. (1998). Measures of liquidity risk supplementing fuzzy discounted cash flow analysis. *The Engineering Economist*, 43(4), 331-344.

- Karsak, E., 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. and Gupta, M. M. (1988). *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*, New York, USA: Elsevier Science Inc., 122-148.
- Keeney, R., Fishburn, P. (1974). Seven independence concepts and continuous multiattribute utility functions. *Journal of Mathematical Psychology*, 11(3): 294-327.
- Kıyak, E. (2003). *Bulanık mantık yöntemiyle uçuş kontrol uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 34-35.
- Kuchta D. (2001). A fuzzy model for r&d project selection with benefit, outcome and resource interactions. *The Engineering Economist*, 46(3), 164-180.
- Kuchta, D. (2000). Fuzzy capital budgeting. *Fuzzy Sets and Systems*, 111(3), 367-385.
- Kumar Mangla, S., Pradeep Kumar, P. and Kumar Barua, M. (2015). Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 104(B), 375-390.
- Kutlu Gündoğdu F., Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent and Fuzzy systems*, 36(1), 337-352.
- Küçük, S. (2019). *Uluslararası ticarette lojistik köyler ve Türkiye için lojistik köy önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, 66-71.
- Lee, A.H.I., Kang, H.Y., Hsu, C.F., and Hung, H.C. (2009). A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 7917-7927.
- Lee, Y.C., Lee, S. S. (2011). The valuation of RFID investment using fuzzy real option. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12195-12201.
- Liang, W., Zhang, X., and Liu, M. (2015). The maximizing deviation method based on intervalvalued Pythagorean fuzzy weighted aggregating operator for multiple criteria group decision analysis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015, 1–15.
- Liu, Z., Liu, P., Liu, W., and Pang, J. (2017). Pythagorean uncertain linguistic partitioned Bonferroni mean operators and their application in multi-attribute decision making. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32(3), 2779–2790.
- Long, D. (2016). *Uluslararası lojistik (çev. Tanyaş, M., Düzgün, M.)*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, (Eserin orijinali 2003 yılında yayımlandı), 45-49.
- Lu, H.F., Lin H.W. (2013). Evaluating the BOT project of sport facility: An application of fuzzy net present value method. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 30(4), 220-229.

- Lu, M., Wei, G.W. (2017). Pythagorean uncertain linguistic aggregation operators for multiple attribute decision making. *International Journal of Knowledge Based and Intelligent Engineering Systems*, 21(3), 165–179.
- Lu, M., Wei, G.W., Alsaadi, F.E., Hayat, T., and Alsaedi, A. (2017). Hesitant pythagorean fuzzy hamacher aggregation operators and their application to multiple attribute decision making. *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, 33(2), 1105–1117.
- Ma, Z., Xu, Z. (2016). Symmetric Pythagorean fuzzy weighted geometric/averaging operators and their application in multicriteria decision-making problems, *International Journal of Intelligent Systems*, 31(12), 1198–1219.
- Maravas, A., Pantouvakis J.P, and Lambropoulos S. (2012). Modeling uncertainty during cost benefit analysis of transportation project with the aid of fuzzy set theory. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, 3661-3670.
- Massei G, Rocchi L, Paolotti L, Greco S, and Boggia A. (2014). Decision support systems for environmental management: a case study on wastewater from agriculture. *Journal of Environment Management*, 146(15), 491–504.
- Maystre, L., Pictet, J., and J. Simos (1994). *Les Méthodes Multicritères ELECTRE*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Nachtmann, H., and Needy, K. L. (2001) Fuzzy activity based costing: A methodology for handling uncertainty in activity based costing systems. *The Engineering Economist*, 46(4), 245-273.
- Nayagam, V.L.G, Sivaraman, G. (2011). Ranking of interval valued intuitionistic fuzzy sets. *Applied Soft Computing*, 11(4), 3368-3372.
- Nosratpour M., Nazeri A. and Meftahi H. (2012). Fuzzy net present value for engineering analysis. *Management Science Letters*, 2(6), 2153–2158.
- Omitaomu O. A., Badiru A. (2007). Fuzzy present value analysis model for evaluating information system projects. *The Engineering Economist*, 52(2), 157-178.
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems (doctoral dissertation, 1998). Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 1998.
- Paksoy, T., Pehlivan, N., and Özceylan, E. (2012). Fuzzy multi-objective optimization of a green supply chain network with risk management that includes environmental hazards. *International Journal of Production Research*, 51(8), 2443-2461.
- Peng X., Yang, Y. (2016). Fundamental properties of interval-valued Pythagorean fuzzy aggregation operators. *International Journal of Intelligent Systems*, 31(5), 444–487.
- Peng X., Yang, Y. (2016). Pythagorean fuzzy choquet integral based MABAC method for multiple attribute group decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 31(10), 989–1020.

- Peng, X., Yang, Y. (2015). Some results for Pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 30(11), 1133–1160.
- Peng, X., Yuan, H. (2016). Fundamental properties of Pythagorean fuzzy aggregation operators. *Fundamenta Informaticae*, 147(4), 415–446.
- Peng, X., Yuan, H., and Yang, Y. (2017). Pythagorean fuzzy information measures and their applications. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(10), 991–1029.
- Petkovic, D., Shamshirband, S., Kamsin, A., Lee, M., A. O., and Nikolic. V. (2016). Survey of the most influential parameters on the wind farm net present value (NPV) by adaptive neuro-fuzzy approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1270-1278.
- Piasecki K. (2013). Intuitionistic assessment of behavioural present value. *Folia Oeconomica Stetinensia*, 13(2), 49-62.
- Piasecki, K., Siwek, J. (2015). Behavioural present value defined as fuzzy number- a new approach. *Folia Oeconomica Stetinensia*, 15(2), 27-41.
- Pohjola, V. J., Turunen, I. (1990). Estimating the internal rate of return from fuzzy data. *Engineering Costs and Production Economics*, 18(3), 215-221.
- Qina J., Liub X., and Pedrycz, W. (2017). An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 626–638.
- Rabbani, M., Soufi, H.R., Torab, S.A. (2016). Developing a two-step fuzzy cost–benefit analysis for strategies to continuity management and disaster recovery. *Safety Science*, 85, 9-22.
- Rahman, K., Abdullah, S., Ahmed, R., and Ullah, M. (2017). Pythagorean fuzzy einstein weighted geometric aggregation operator and their application to multiple attribute group decision making. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 33(1), 635-647.
- Rostamzadeh R., Govindan K., Esmaili A., and Sabaghi M. (2014). Application of fuzzy VIKOR for evaluation of green supply chain management practices. *Ecological Indicators*, 49, 188-203.
- Rostamzadeh, R., Ghorabae, M.K., Govindan, K. Esmaili, A., and Nobar, H.B.K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS- CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)'. *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)*, 8, 57–75.
- Roy, B. (1978). ELECTRE III: Un algorithme de classements fonde sur une representation floue des preferences en presence de criteres multiples, *Cahiers du CERO*, 20(1),3-4.

- Roy, B. and Bertier, P. (1971) 'La methode ELECTRE II: Une methode de classement en presence de critterres multiples'. SEMA (Metra International), Direction Scientifique, Note de Travail No. 142, Paris.
- Roy, B., Skalka, J. (1984). ELECTRE IS: *Aspects m'ethodologiques et guide d'utilisation*. Document du LAMSADE 30, Universit'e Paris Dauphine. Paris: Lamsade, 24-37.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resources allocation*. New York, NY: McGraw, 72-84.
- Saaty, T.L. (2005). *Theory and applications of the analytic network process*. USA: RWS Publications, 94-113.
- Sang X.Z., Liu, X.W. (2016). An interval type-2 fuzzy sets-based TODIM method and its application to green supplier selection. *Journal of Operation Research Society*, 67(5), 722–734.
- Sarı İ.U., Kahraman C. (2017) *Economic Analysis of Municipal Solid Waste Collection Systems Using Type-2 Fuzzy Net Present Worth Analysis*. In: Kahraman C., Sari İ. (eds) *Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications*. Intelligent Systems Reference Library. Switzerland: Springer, Cham: 347-364
- Sarı, İ.U. (2012). *Yatırım Analizinde Bulanık Model Önerileri*, Doktora tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 15-16.
- Sarı, İ.U., Kuchta, D. (2015). Project scheduling maximizing the fuzzy net present value influenced by the decision maker attitude. *Journal of Multiple-valued Logic and Soft Computing*, 25(2), 147-168.
- Sarı, K., Suslu, M. (2018) A modeling approach for evaluating green performance of a hotel supply chain. *Technological Forecasting & Social Change* 137, 53–60.
- Shakeel M, Abdullah S, Khan M S, and Rahman K. (2018). Averaging aggregation operators with interval pythagorean trapezoidal fuzzy numbers and their application to group decision making. *Journal of Mathematics*, 50(2), 147-170.
- Sharma, Y.K., Yadav, A.K., Mangla, S.K. and Patil P.P, (2018). Ranking the Success Factors to Improve Safety and Security in Sustainable Food Supply Chain Management Using Fuzzy AHP. *Materials Today: Proceedings* 5(5), 12187–12196.
- Shaw K, Shankar R, Yadav SS, and Thakur L.S. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multiobjective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 8182–8192.
- Sheen, J. N. (2005). Fuzzy evaluation of cogeneration alternatives in a petrochemical industry. *Computers & Mathematics with Applications*, 49(5–6), 741-755.

- Shen LX, Olfat L, Govindan K, Khodaverdi R, and Diabat A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences. *Resource Conservation and Recycling*, 74, 170–179.
- Singh S, Olugu EU, Musa SN, Mahat AB, and Wong, KY. (2016). Strategy selection for sustainable manufacturing with integrated AHP-VIKOR method under interval-valued fuzzy environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 84(1-4), 547–563.
- Smarandache, F.A. (1998). *Unifying Field in Logics*. Neutrosophy: Neutrosophic Probability, Set and Logic. Rehoboth: American Research Press.
- Sorenson, G. E., 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.
- Suh, N.P. (1998). Axiomatic Design Theory for Systems, Research in Engineering Design – Theory. *Applications and Concurrent Engineering*, 10(4), 189-209.
- Şen, Z. (2004). *Mühendislikte bulanık mantık ile modelleme prensipleri*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 14-70.
- Tang, X., We, G. (2019). Multiple Attribute Decision-Making with Dual Hesitant Pythagorean Fuzzy Information. *Cognitive Computation*, 11(2), 193-211.
- Tekeş, M. (2002). *Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Türk Silahlı Kuvvetleri'nde Kullanılan Tabancaların Bulanık Uygunluk İndeksli Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 27-29.
- Tercenño, A., De Andrés, J., Barberà, G., and 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), 263-281.
- Topçu, İ. (2000). *Çok Ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Bir Bütünleşik Karar Destek Modeli*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 17-19.
- Topel, A. (2006). *Analitik Hiyerarşi Prosesinin Bulanık Mantık Ortamındaki Uygulamaları-Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 35-40.
- Torkabadi, A.M., Pourjavad, E. and Mayorga, R.V (2018). An integrated fuzzy MCDM approach to improve sustainable consumption and production trends in supply chain. *Sustainable Production and Consumption*, 16, 99–109.
- Tsao, C.-T. (2012). Fuzzy net present values for capital investments in an uncertain environment. *Computers and Operations Research*, 39(8), 1885-1892.

- Tsao, C.T. (2013). The expectation-deviation net present value by fuzzy arithmetic for capital investments. *Journal of Statistics and Management Systems*, 13(2), 267-281.
- Tseng ML, Lin YH, Tan K, Chen RH, and Chen, YH. (2014). Using TODIM to evaluate green supply chain practices under uncertainty. *Applied Mathematic Model*, 38(11-12), 2983–2995.
- Tuzkaya G, Ozgen A, Ozgen D, and Tuzkaya U.R. (2009). Environmental performance evaluation of suppliers: a hybrid fuzzy multi-criteria decision approach. *International Journal of Environment Science Technology*, 6(3), 477–490.
- Tuzkaya, G. (2013). An intuitionistic fuzzy Choquet integral operator based methodology for environmental criteria integrated supplier evaluation process. *International Journal of Environment Science Technology*, 10(3), 423–432.
- Uçal, İ., Kuchta D. (2011, July) *Project scheduling to maximize fuzzy net present value*, World Congress on Engineering 2011, London.
- Ulukan Z. and Ucuncuoglu C. (2010) Economic analyses for the evaluation of IS projects. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 7(2), 233-260.
- Ustundag A., Cevikcan E. (2012, Agust). *A fuzzy Inference System for net present value analysis of construction projects*. Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making, Turkey.
- Uygun, Ö., Dede, A. (2016). Performance evaluation of green supply chain management using integrated fuzzy multi-criteria decision making techniques. *Computers and Industrial Engineering*, 102, 502-511.
- Üstündağ A., Kılınç M.S and Cevikcan E. (2010). Fuzzy rule-based system for the economic analysis of RFID investments, *Expert System with Application*, 37(7), 5300–5306.
- Valledopez, J.R. (2017, June). *Valuation of investment projects with fuzzy financial methods: Triangular fuzzy modified net present value*. Nineteenth Annual International Conference Australia.
- Wan, S.P., Dong, J.Y. (1990). A possibility degree method for interval valued intuitionistic fuzzy multi-attribute group decision making. *Journal of Computer and System Sciences*, 80(1), 237-256.
- Wang M.J., Liang G.S. (1995). Benfit/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.
- Wei, G., Lu, M., Tang, X., and Wei, Y. (2018). Pythagorean hesitant fuzzy Hamacher aggregation operators and their application to multiple attribute decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(6), 1197–1233.

- Wei, G., Wei, Y. (2018). Similarity measures of pythagorean fuzzy sets based on the cosine function and application. *International Journal of Intelligence Systems*, 33(3), 634-652.
- Wei, G, Lu. M. (2017). Pythagorean fuzzy interaction aggregation operators and their application to multiple attribute decision making. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 33(4), 2119-2132.
- Wei, G, Lu. M. (2018). Pythagorean fuzzy power aggregation operators in multiple attribute decision making. *International Journal of Intelligence Systems*, 33(1), 169–186.
- Wu, SJ., Wei. GW. (2017). Pythagorean fuzzy Hamacher aggregation operators and their application to multiple attribute decision making. *International Journal of Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems*, 21(3), 189–201.
- Xian S, Xiao Y, Yang Z, Li Y, and Han Z. (2018). A new trapezoidal Pythagorean fuzzy linguistic entropic combined ordered weighted averaging operator and its application for enterprise location. *International Journal of Intelligence Systems*, 33(9), 1880-1899.
- Xu, B., Fang, W., Shi, R., Yu, J., and 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., and 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*, 30(8), 950-966.
- Xue, W., Xu, Z., Zhang, X., Tian, X. (2017). Pthagorean Fuzzy LINMAP method Based on the Entropy Theory for Railway Project investment decision making. *International Journal of Intelligence Systems*, 33, 93-125.
- Yager R.R., Abbasov, A.M. (2013). Pythagorean membership grades, complex numbers, and decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 28(5), 436–452.
- Yager, R.R. (1986). On the theory of bags. *International Journal of General Systems*, 13(1), 23-27.
- Yager, R.R. (2013, June). *Pythagorean fuzzy subsets*. In 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS), Canada.
- Yager, R.R. (2014). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958–965.
- Yao, J. S., Chen, M. S., and Lin, H. W. (2005). Valuation by using a fuzzy discounted cash flow model. *Expert Systems with Applications*, 28(2), 209-222.
- Yu, W. (1992). ELECTRE TRI: *Aspects m'ethodologiques et manuel d'utilisation*. Document du LAMSADE 74, Universit'e Paris-Dauphine, Paris: Lamsade.

- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-1. *Information Science*, 8(3), 199–249.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zeng, S. (2017). Pythagorean fuzzy multiattribute group decision making with probabilistic information and OWA approach. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(11), 1136–1150.
- Zeng, S., Chen J. and Li, X. (2016). A hybrid method for pythagorean fuzzy multiple-criteria decision making. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(2), 403–422.
- Zhang, C., Li D., and Ren, R. (2016). Pythagorean fuzzy multigranulation rough set over two universes and its applications in merger and acquisition. *International Journal of Intelligent Systems*, 31(9), 921–943.
- Zhang, W.G, Mei, Q., Lu, Q., and Xiao, W.L. (2011). Evaluating methods of investment project and optimizing models of portfolio selection in fuzzy uncertainty. *Computers and Industrial Engineering*, 61(3), 721-728.
- Zhang, X. (2016). A novel approach based on similarity measure for Pythagorean fuzzy multiple criteria group decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 31(6), 593–611.
- Zhang, X. (2016). Multicriteria Pythagorean fuzzy decision analysis: A hierarchical QUALIFLEX approach with the closeness index-based ranking methods. *Information Sciences*, 330, 104–124.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDIN, Serhat
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.06.1982, İstanbul
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (212) 663 24 90
 Faks : 0 (212) 662 85 54
 e-mail : saydin3@hho.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi/ Tedarik ve Lojistik Yönetimi	Devam Ediyor
Yüksek lisans	Hvc. ve Uzay Tekn. Ens./ Endüstri Müh.	2010
Lisans	Hava Harp Okulu / Endüstri Mühendisliği	2004
Lise	Foça Cemil Midilli Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	M.S.Ü. Hava Harp Okulu	Öğretim Görevlisi
2004-2017	Kamu	Lojistik Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Aydın, S., Kahraman, C. and Kabak, M. (2020). Development of harmonic aggregation operator with trapezoidal Pythagorean fuzzy numbers. *Soft Computing* (Baskıda).

Aydın S., Kabak, M. (2020), Investment analysis using neutrosophic present and future worth techniques, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(1) 627-637.

Aydın S., Kahraman, C., and Kabak, M. (2018), Evaluation of investment alternatives using present value analysis with simplified neutrosophic sets, *Engineering Economics*, 29(3), 254-263.

Hobiler

Doğa sporları



GAZİ GELECEKTİR..