

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLEME ANALİZİNDE ARALIK TİP-2 BULANIK MODEL ÖNERİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğberk TUNÇINAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLEME ANALİZİNDE ARALIK TİP-2 BULANIK MODEL ÖNERİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tuğberk TUNÇINAN
(507151124)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

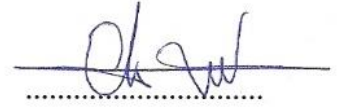
Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507151124 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tuğberk TUNÇİNAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YENİLEME ANALİZİNDE ARALIK TİP-2 BULANIK MODEL ÖNERİLERİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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



Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Sezi ÇEVİK ONAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. M. Levent DEMİRCAN
Galatasaray Üniversitesi



Teslim Tarihi : 22 Kasım 2016
Savunma Tarihi : 21 Aralık 2016

Aileme,

ÖNSÖZ

Yenileme analizi konusu birçok mühendislik ekonomisi kavramını içermesi nedeniyle mühendislik ekonomisi konusunda çalışan araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Yenileme kararları mühendislik ekonomisi teorisi dışında pratikte de birçok uygulama alanına sahiptir. Gerçek hayatta dış etkenlerin etkisi sonucunda belirsizlikler artarak kesin ve net bir şekilde ifade edilemeyen kavramlarla karşılaşmaktadır. Bulanık küme kavramı belirsizlik durumunu içeren gerçek hayat problemlerinin incelenmesinde kullanılabilir. Belirsizliğin sıradan bulanık sayılarla ifade edilemediği durumlar için aralık tip-2 bulanık sayıların kullanılması uygundur. Çalışmada, gerçek hayatta karşılaşılan yenileme analizi problemlerinde belirsizliğin aralık tip-2 bulanık sayılarla temsil edildiği durumlarda yenileme kararlarının alınabileceği modellerin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını ve değerli görüşlerini benden esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a ve her durumda beni destekleyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2016

Tuğberk TUNÇINAN
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı Ve Önemi.....	1
1.2 Literatür Araştırması	3
2. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜME TEORİSİ.....	7
2.1 Bulanık Küme Teorisi Ve Üyelik Fonksiyonu.....	7
2.2 Genelleme İlkesi.....	8
2.3 Bulanık Kümelerde α Kesimi	8
2.4 Bulanık Sayı Kavramı	9
2.5 Sıradan Bulanık Sayılar.....	9
2.5.1 Üçgen bulanık sayılar.....	9
2.5.2 Yamuk bulanık sayılar	11
2.6 Aralık Tip-2 Bulanık Sayılar	12
2.6.1 Üçgen aralık tip-2 bulanık sayılar	13
2.6.1.1 Üçgen aralık tip-2 bulanık sayıların sıralanması.....	16
2.6.1.2 Üçgen aralık tip-2 bulanık sayıların durulaştırılması.....	17
2.6.2 Yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar.....	17
2.6.2.1 Yamuk aralık tip-2 bulanık sayıların sıralanması	20
2.6.2.2 Yamuk aralık tip-2 bulanık sayıların durulaştırılması	21
2.7 Olabilirlik Teorisi	22
3. YENİLEME ANALİZİ.....	23
3.1 Yenileme Analizindeki Temel Kavramlar	23
3.1.1 Savunucu ve aday.....	23
3.1.2 Planlama ufku	23
3.1.3 Piyasa değeri ve batmış maliyetler.....	23
3.1.4 Toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti	23
3.1.5 Ekonomik kullanım ömrü	24
3.1.6 Teknolojinin ilerlemesi	24
3.1.7 Savunucunun güncel maliyetleri.....	24
3.2 Ekonomik Kullanım Ömrünün Belirlenmesi	24
3.3 Yenileme Kararları	26
3.3.1 Sonsuz planlama döneminde yenileme stratejileri.....	26
3.3.2 Sınırlı planlama döneminde yenileme stratejileri	26

3.4 Savunucu Ve Adayın Karşılaştırılması	26
3.5 Nakit Akışı Ve Fırsat Maliyeti Yaklaşımı	27
3.6 Yenileme Analizi Örneği	28
4. ARALIK TİP-2 BULANIK YATIRIM ANALİZİ	31
4.1 Üçgen Aralık Tip-2 Bulanık Yatırım Analizi	31
4.1.1 Faiz oranı	31
4.1.2 Dönemsel nakit akışı	32
4.1.3 İlk yatırım maliyeti	33
4.1.4 Net şimdiki değer	33
4.1.5 Eşdeğer düzgün ödeme değeri	35
4.1.6 Üçgen aralık tip-2 bulanık yatırım analizi uygulaması	38
4.2 Yamuk Aralık Tip-2 Bulanık Yatırım Analizi	42
4.2.1 Faiz oranı	42
4.2.2 Dönemsel nakit akışı	44
4.2.3 İlk yatırım maliyeti	45
4.2.4 Şimdiki değer	45
4.2.5 Eşdeğer düzgün ödeme değeri	48
4.2.6 Yamuk aralık tip-2 bulanık yatırım analizi uygulaması	51
5. ARALIK TİP-2 BULANIK YENİLEME ANALİZİ	57
5.1 Üçgen Aralık Tip-2 Bulanık Yenileme Analizi	57
5.1.1 Dönemsel işletme maliyeti	57
5.1.2 Hurda değeri	58
5.1.3 Sermaye kurtarma değerinin şimdiki değeri	59
5.1.4 Sermaye kurtarma değeri	61
5.1.5 Dönemsel işletme maliyetinin şimdiki değeri	63
5.1.6 Dönemsel işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri	65
5.1.7 Toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti	66
5.1.8 Modelin geçerliliğinin sınanması	68
5.1.9 Üçgen aralık tip-2 bulanık yenileme analizi uygulaması	72
5.2 Yamuk Aralık Tip-2 Bulanık Yenileme Analizi	85
5.2.1 Dönemsel işletme maliyeti	85
5.2.2 Hurda değeri	86
5.2.3 Sermaye kurtarma değerinin şimdiki değeri	87
5.2.4 Sermaye kurtarma değeri	90
5.2.5 Dönemsel işletme maliyetinin şimdiki değeri	92
5.2.6 Dönemsel işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri	94
5.2.7 Toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti	96
5.2.8 Modelin geçerliliğinin sınanması	98
5.2.9 Yamuk aralık tip-2 bulanık yenileme analizi uygulaması	102
5.3 Karma Aralık Tip-2 Bulanık Yenileme Analizi	117
5.3.1 Üçgen aralık tip-2 bulanık sayı olan verilerin dönüştürülmesi	117
5.3.2 Karma aralık tip-2 bulanık yenileme analizi uygulaması	118
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	137
KAYNAKLAR	139
EKLER	143
ÖZGEÇMİŞ	163

KISALTMALAR

AOC	: Dönemsel İşletme Maliyeti
$\widetilde{\text{AOC}}$	: Aralık Tip-2 Bulanık Dönemsel İşletme Maliyeti
$\widetilde{\text{CF}}$	: Aralık Tip-2 Bulanık Nakit Akışı
CR	: Sermaye Kurtarma Değeri
$\widetilde{\text{CR}}$	: Aralık Tip-2 Bulanık Sermaye Kurtarma Değeri
DTriT	: Durulaştırılmış Üçgen Aralık Tip-2 Bulanık Sayı
DTraT	: Durulaştırılmış Yamuk Aralık Tip-2 Bulanık Sayı
EAOC	: İşletme Maliyetinin Eşdeğer Ödeme Değeri
$\widetilde{\text{EAOC}}$	: Aralık Tip-2 Bulanık İşletme Maliyetinin Eşdeğer Ödeme Değeri
EUAC	: Toplam Eşdeğer Düzgün Ödeme Maliyeti
$\widetilde{\text{EUAC}}$	: Aralık Tip-2 Bulanık Toplam Eşdeğer Düzgün Ödeme Maliyeti
EUAV	: Eşdeğer Düzgün Ödeme Değeri
$\widetilde{\text{EUAV}}$	: Aralık Tip-2 Bulanık Eşdeğer Düzgün Ödeme Değeri
FC	: İlk Yatırım Maliyeti
$\widetilde{\text{FC}}$	: Aralık Tip-2 Bulanık İlk Yatırım Maliyeti
i	: Faiz Oranı
$\tilde{i}$	: Aralık Tip-2 Bulanık Faiz Oranı
NPV	: Net Şimdiki Değer
$\widetilde{\text{NPV}}$	: Aralık Tip-2 Bulanık Net Şimdiki Değer
SV	: Hurda Değeri
$\widetilde{\text{SV}}$	: Aralık Tip-2 Bulanık Hurda Değeri

SEMBOLLER

α	: Kesim Seviyesi
t	: Zaman
μ	: Üyelik Derecesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.	28
Çizelge 3.2 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.	30
Çizelge 4.1 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.	38
Çizelge 4.2 : Nakit akışı.	38
Çizelge 4.3 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.	51
Çizelge 4.4 : Nakit akışı.	51
Çizelge 5.1 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.	69
Çizelge 5.2 : Yıllara göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.	72
Çizelge 5.3 : Kötümser piyasa koşulları için faiz oranı.	72
Çizelge 5.4 : Savunucunun piyasa değeri.	73
Çizelge 5.5 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.	73
Çizelge 5.6 : Adayın piyasa değeri.	73
Çizelge 5.7 : Adayın yıllık işletme maliyeti.	73
Çizelge 5.8 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.	99
Çizelge 5.9 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.	102
Çizelge 5.10 : İyimser piyasa koşulları için faiz oranı.	103
Çizelge 5.11 : Savunucunun piyasa değeri.	103
Çizelge 5.12 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.	103
Çizelge 5.13 : Sabit sözleşme bedeli.	103
Çizelge 5.14 : Yenileme seçenekleri.	103
Çizelge 5.15 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.	118
Çizelge 5.16 : Savunucunun bu yıla ait verilere göre piyasa değeri.	119
Çizelge 5.17 : Savunucunun bu yıla ait verilere göre yıllık işletme maliyeti.	119
Çizelge 5.18 : Adayın piyasa değeri.	119
Çizelge 5.19 : Adayın yıllık işletme maliyeti.	119
Çizelge 5.20 : Savunucunun gelecek yıla ait verilere göre piyasa değeri.	120
Çizelge 5.21 : Savunucunun gelecek yıla ait verilere göre yıllık işletme maliyeti.	120

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Klasik küme ve bulanık küme karşılaştırması.....	7
Şekil 2.2 : Üçgen sıradan bulanık sayı.....	10
Şekil 2.3 : Yamuk sıradan bulanık sayı.	11
Şekil 2.4 : Üçgen aralık tip-2 bulanık sayı.	14
Şekil 2.5 : Yamuk aralık tip-2 bulanık sayı.	19
Şekil 3.1 : Ekonomik kullanım ömrü.....	25
Şekil 3.2 : Yenileme kararının alınması.	27
Şekil 4.1 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.....	39
Şekil 4.2 : İlk yatırım maliyeti.....	39
Şekil 4.3 : Nakit akışı.	39
Şekil 4.4 : Seçilen net şimdiki değerlerin olabilirlikleri.....	41
Şekil 4.5 : Seçilen eşdeğer düzgün ödeme değerlerinin olabilirlikleri.....	42
Şekil 4.6 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.....	52
Şekil 4.7 : İlk yatırım maliyeti.....	52
Şekil 4.8 : Nakit akışı.	52
Şekil 4.9 : Seçilen net şimdiki değerlerin olabilirlikleri.....	54
Şekil 4.10 : Seçilen eşdeğer düzgün ödeme değerlerinin olabilirlikleri.....	55
Şekil 4.11 : Seçilen eşdeğer düzgün ödeme değerlerinin olabilirlikleri.....	56
Şekil 5.1 : Kötümser piyasa koşulları için faiz oranı.....	75
Şekil 5.2 : Savunucunun ve adayın ilk yatırım maliyetleri.....	75
Şekil 5.3 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.....	76
Şekil 5.4 : Adayın yıllık işletme maliyeti.....	76
Şekil 5.5 : Savunucunun hurda değeri.....	77
Şekil 5.6 : Adayın hurda değeri.....	77
Şekil 5.7 : Savunucunun sermaye kurtarma değeri.....	78
Şekil 5.8 : Savunucunun işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.....	79
Şekil 5.9 : Savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.....	80
Şekil 5.10 : Adayın sermaye kurtarma değeri.....	81
Şekil 5.11 : Adayın işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.....	82
Şekil 5.12 : Adayın toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.....	83
Şekil 5.13 : Savunucunun ilk yatırım maliyeti ve sözleşme bedeli.....	105
Şekil 5.14 : İyimser piyasa koşulları için faiz oranı.....	106
Şekil 5.15 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.....	106
Şekil 5.16 : Savunucunun hurda değeri.....	107
Şekil 5.17 : Savunucunun sermaye kurtarma değeri.....	108
Şekil 5.18 : Savunucunun işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.....	109
Şekil 5.19 : Savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.....	110
Şekil 5.20 : 1. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.....	111
Şekil 5.21 : 2. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.....	112
Şekil 5.22 : 3. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.....	113

Şekil 5.23 : 4. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.....	114
Şekil 5.24 : 5. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.....	115
Şekil 5.25 : Seçeneklerin toplam maliyetinin şimdiki değeri.....	116
Şekil 5.26 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.....	122
Şekil 5.27 : Savunucunun ve adayın ilk yatırım maliyetleri.....	122
Şekil 5.28 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.....	123
Şekil 5.29 : Adayın yıllık işletme maliyeti.....	123
Şekil 5.30 : Savunucunun hurda değeri.....	124
Şekil 5.31 : Adayın hurda değeri.....	124
Şekil 5.32 : Savunucunun sermaye kurtarma değeri.....	125
Şekil 5.33 : Savunucunun işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.....	126
Şekil 5.34 : Savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.....	127
Şekil 5.35 : Adayın sermaye kurtarma değeri.....	128
Şekil 5.36 : Adayın işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.....	129
Şekil 5.37 : Adayın toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.....	130
Şekil 5.38 : Savunucunun hurda değeri ve yıllık işletme maliyeti.....	133
Şekil 5.39 : Savunucunun sermaye kurtarma ve işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.....	134
Şekil 5.40 : Savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.....	135

YENİLEME ANALİZİNDE ARALIK TİP-2 BULANIK MODEL ÖNERİLERİ

ÖZET

Günümüzde, gerçek hayatta karşılaşılan problemlerde belirsizliğin de dikkate alındığı modellerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Belirsizliğin göz önünde bulundurulduğu istatistiksel modellerde geçmişteki verilerin yetersizliği durumunda elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir. Bulanık sayılar, olasılık dağılımından farklı olarak mümkün ile imkansız durum arasındaki farkı olabilirlik dağılımı olarak genelledebildiklerinden dolayı belirsizlikler bulanık sayılar kullanılarak gerçekçi olarak temsil edilebilir. Yenileme analizinde, belirsizliklerin ihmal edildiği klasik yöntemlerin kullanılması gerçeğe uzak sonuçlar doğurabilmektedir. Bu yüzden yenileme analizi için geliştirilecek modellerde belirsizlikler de göz önünde bulundurulmalıdır. Günümüzde belirsizlikleri temsil edebilmek için bulanık mantığın kullanımı yaygınlaşmıştır.

Yenileme analizlerinde hizmet alınan mevcut ekipmanın zamanla etkinliğinin azalması sonucunda aynı hizmetin alınabilmesi için yeni bir ekipmanla yenilenmesi gerekiyorsa en uygun yenileme zamanına karar verilir. Gerçekçi bir yenileme analizinde savunucunun ve adayın ekonomik kullanım ömrü hesaplandıktan sonra yenileme zamanına karar verilebilmesi için planlama ufkunun, teknolojideki değişimin ve savunucunun güncel işletme maliyetlerinin ve piyasa değerinin de dikkate alınması gerekir.

Çalışmada gerçek hayatta karşılaşılan yenileme analizi problemlerinde doğru kararların alınabilmesini sağlayan modellerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Belirsizliğin sıradan bulanık sayılarla ifade edilemediği durumlarda aralık tip-2 bulanık sayılardan yararlanılabilir. Literatürde belirsizliğin aralık tip-2 bulanık sayılarla ifade edildiği bulanık yenileme analizi çalışmalarının oldukça sınırlı olduğu ve faiz oranının faiz süresi boyunca değişebildiği gerçekçi piyasa şartlarının göz ardı edildiği tespit edilerek bu eksikliklerin giderilmesi hedeflenmiştir. Aralık tip-2 bulanık finans verilerinin düzenli bir şekilde kullanılabilmesi ve geliştirilen modellerin farklı problem büyüklüklerine adapte olabilmesi amacıyla verilerin matris formunda ele alındığı yeni bir yöntem önerilmiştir.

Belirsizliklerin kapsamlı olarak modellenebilmesi için üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayıların yer aldığı durumlar karma aralık tip-2 bulanık yenileme analizi olarak adlandırılmıştır. Geliştirilen aralık tip-2 bulanık yenileme analizi problemlerinde belirsizliğin gerçekçi olarak dikkate alınabilmesi için faiz oranlarındaki, piyasa değerlerindeki ve işletme maliyetlerindeki belirsizlikler gelecek dönemlerde daha fazla olacak şekilde modellenmiştir. Yenileme analizindeki inceleme süresi boyunca; iyimser piyasa koşulları faiz oranları azaltılarak, durağan piyasa koşulları faiz oranları sabit tutularak ve kötümser piyasa koşulları faiz oranları artırılarak modele dahil edilmiştir. Geliştirilen problemlerde batmış maliyetler, savunucunun güncel maliyetleri, teknolojinin ilerlemesi de dikkate alınmıştır.

Aralık tip-2 bulanık yenileme analizi modellerinin uygulanabilirliği ve geçerliliği öncelikle deterministik problemlerde sınanarak sonuçların klasik yöntemle aynı olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra önerilen modeller iyimser, durağan ve kötümser piyasa koşullarındaki aralık tip-2 bulanık yenileme analizi örneklerine uygulanarak modellerin geçerliliği kanıtlanmıştır. Önerilen üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık yenileme analizi modelleri geliştirilen kapsamlı örneklerle uygulanarak elde edilen sonuçlar grafiksel anlatımlarla desteklenmiştir. Yenileme kararlarındaki güveni artırmak amacıyla aralık tip-2 bulanık sayıların hem sıralanması hem de durulaştırılması ile elde edilen değerler birlikte dikkate alınmıştır.

Çalışmada, yenileme analizinde kullanılan mühendislik ekonomisi kavramları ve formülleri aralık tip-2 bulanık kümelerle uyarlanmıştır. Yenileme analizinde kullanılan grafiksel anlatımlara üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar dahil edilmiştir. Önerilen üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık yenileme analizi modelleri teorik ve gerçek hayat uygulamaları için kullanılabilecek kapsamdadır. Aralık tip-2 bulanık yenileme analizi için geliştirilen formüller ve grafiksel anlatımlar için MATLAB programında yazılarak paylaşılan kodların araştırmacıları önerilen modelleri kendi çalışmalarında uygulamaya teşvik edeceğine inanılmaktadır. Aralık tip-2 bulanık finans verilerinin düzenli ve etkili şekilde kullanıldığı matris formu ve aralık tip bulanık nakit akışlarının grafiksel anlatımları mühendislik ekonomisi konularında çalışan araştırmacılar için yararlı olacaktır.

PROPOSAL OF INTERVAL TYPE-2 FUZZY MODELS FOR REPLACEMENT ANALYSIS

SUMMARY

Nowadays, in order to tackle real life problems, the use of models in which vagueness is taken into account has become widespread. Engineering economics handle with the investment and replacement decisions based on the time value of money. However in real life situations the precise forecasts of investment parameters are nearly impracticable. In statistical models, uncertainty is considered successfully unless the data is insufficient. Statistical analysis with inadequate data can yield misleading results. In an ambiguous economic decision environment, an expert's understanding about discounting cash flows contains mostly uncertainty contrary to randomness. Cash amounts and interest rates are commonly considered by employing knowledgeable assumptions based on expected values or statistical techniques to acquire them. Fuzzy numbers are able to seizure the difficulties in perceiving these parameters. Since fuzzy numbers can generalize the difference between the possible and impossible situations, which is called possibility distribution, the uncertainties can be realistically represented by using fuzzy numbers. The use of classical replacement analysis methods, in which uncertainties are neglected, can lead to improper results. Consequently, in replacement analysis models uncertainties have to be considered. Today, the use of fuzzy logic has become popular to represent uncertainties.

Engineering economics is a group of mathematical methods which are employed in order to compare investment alternatives from the economical standpoint. The three main parameters of engineering economics are cash, interest rate and time which are dealt in terms of interest periods. Engineering economics additionally tackle economical decisions such as the optimum time that an asset should be replaced. While an equipment may have many years of usage potential, if it is kept longer than it's economic service life, it will become uneconomical to own it. Besides, the existing equipment may no longer fulfill present or expected requirements. Furthermore, a major breakdown would cause defender to stop operating. Since upgrades are available in the market, improved equipment would be less expensive to operate with less maintenance cost. In replacement analysis, as a result of the decrease in the efficiency of the existing equipment the most appropriate replacement time, which is called economic service life, is determined and it is decided if the defender should be retained or if it should be replaced by the challenger. After the economic service life of the defender and the challenger is calculated, the planning horizon, technological change, current operating costs and market value of the defender and challenger must be taken into account to make reliable replacement decisions. In an uncertain economic decision environment, estimates of changes in interest rate, operating costs and salvage value mostly involve uncertainty instead of randomness. Whereas complex calculations are required for type-2 fuzzy sets compared to type-1 fuzzy sets, more vagueness for defining membership functions can be dealt with type-2 fuzzy sets since type-2 fuzzy

sets generalize type-1 fuzzy sets. Through the use of interval type-2 fuzzy numbers, more trustworthy replacement decisions can be made in an uncertain environment.

The aim of this study is to develop models which are capable of solving replacement decision problems which can be encountered in real life. For cases in which uncertainty cannot be expressed by crisp numbers, the use of the interval type-2 fuzzy numbers is convenient. In the literature, it is observed that the uncertainty in replacement analysis is handled by utilizing type-1 fuzzy numbers, however type-2 fuzzy numbers are generally acknowledged to state vagueness more effectively. Studies about replacement analysis in which the uncertainty is expressed by the interval type-2 fuzzy numbers is very limited and the replacement analysis in the real market conditions, in which the interest rate can change during the interest time, have not been taken into account. Hence, this study is aimed to eliminate these deficiencies in literature. In this study, type-2 fuzzy capital recovery costs, equivalent uniform annual operating costs and total equivalent uniform annual costs are established for both triangular and trapezoidal interval type-2 fuzzy numbers. Also new method has been proposed in which the interval type-2 fuzzy finance data can be used effectively and the developed models can be adapted to different problem sizes by using interval type-2 fuzzy finance data in matrix form. Interest rates, operation costs and salvage values are determined as interval type-2 fuzzy numbers in order to represent vagueness contrary to classical discrete replacement analysis.

In real life, the uncertainties in the data of the replacement analysis can be expressed by different membership functions. For comprehensive modeling of uncertainties, triangular and trapezoidal interval type-2 fuzzy numbers would be involved in the same replacement problem. The cases in which some of the data in the replacement analysis are represented by triangular interval type-2 fuzzy numbers and some with trapezoidal interval type-2 fuzzy numbers are called mixed interval type-2 fuzzy replacement problems. In proposed triangular, trapezoidal and mixed interval type-2 fuzzy replacement analysis problems, uncertainties in interest rates, market values and operating costs are considered to be greater in future periods, so that vagueness can be taken into account realistically. Along the study period in replacement analysis, optimistic market conditions are considered by lowering the interest rate. The stagnant market conditions are regarded by keeping the interest rate constant and pessimistic market conditions are taken into consideration by increasing the interest rate among the periods. In the developed replacement problems, the sunk costs and market value of the defender and the technological change are also taken into consideration.

In order to verify the feasibility and validity of the proposed replacement analysis models, they are applied to deterministic problems and the results are observed to be the same as the deterministic methods. Then, the proposed models were tested for validity by applying on interval type-2 fuzzy replacement analysis problems under optimistic, stationary and pessimistic market conditions. The proposed triangular and trapezoidal interval type-2 fuzzy replacement analysis models are applied to the developed comprehensive examples and the obtained results are supported and verified by the graphical explanations. In order to build a strong reliance for replacement decisions, both defuzzified and ranked interval type-2 fuzzy results are considered simultaneously.

In this study, the engineering economy concepts and formulas used in the replacement analysis are adapted to the interval type-2 fuzzy sets. Cash flows in classical replacement analysis are extended to the graphical representations which consist of

triangular and trapezoidal type-2 fuzzy numbers. The proposed triangular and trapezoidal interval type-2 fuzzy replacement analysis models are capable of dealing with theoretical and real life applications. By utilizing these models, decision makers would benefit the advantages of interval type-2 fuzzy numbers rather than using ordinary membership functions. By sharing the MATLAB codes of the developed formulas and graphical explanations for the interval type-2 fuzzy replacement analysis models, it is hoped to encourage researchers to apply the proposed models in their own work. Developed graphical representations and a matrix form of interval type-2 fuzzy cash flows, which will bring along powerful and effective computing of interval type-2 fuzzy replacement analysis calculations, are believed to be useful for researchers working in engineering economics.

1. GİRİŞ

Stratejik projelerde veriler genellikle rastlantısal davranış göstermeyerek, belirsiz olma eğilimindedir. Eğer karar vericiler bir ekipmanın gelecekteki piyasa değerleri ve işletme maliyetleri hakkında bariz çıkarımlarda bulunamıyorsa yenileme analizi problemleri daha da karmaşık hale gelmektedir. Birçok araştırmacı bu tür belirsizlikleri bulanık küme kavramını kullanarak başarılı bir şekilde ifade etmiştir. Bulanık küme kavramı ilk defa Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Aralık değerli bulanık küme kavramı sıradan bulanık sayılardan yola çıkarak geliştirilmiştir. Günümüzde matematiksel modellerde belirsizliğin temsil edilebilmesi için bulanık mantığın kullanımı yaygınlaşmıştır. Belirsizliğin sıradan bulanık sayılarla ifade edilemediği durumlar için aralık tip-2 bulanık sayıların kullanılması uygundur.

Yenileme problemlerinde çoğunlukla mevcut ekipman olarak ifade edilen savunucunun kullanım ömrü, aday olarak belirlenen bir ekipmanın kullanım ömründen kısadır. Savunucunun ve adayın ekonomik kullanım ömrü hesaplandıktan sonra yenileme zamanına karar verilebilmesi için planlama ufkunun, teknolojiye değişimin ve savunucunun güncel işletme maliyetlerinin ve piyasa değerinin dikkate alınması gerekir. Deterministik olan klasik yenileme analizinde faiz oranlarının ve nakit akışlarının kesin değerler olduğu varsayılmaktadır. Ancak kesin değerler kullanıldığında gelecekteki belirsizler dikkate alınmadığından yenileme problemlerinde yanlış kararlar alınabilmektedir. Bulanık sayılar belirsizlik durumunu içeren gerçek hayat problemlerinin incelenmesinde önemli rol üstlenmektedir. Gerçek hayatta, değişen piyasa şartlarına uyum sağlayan yenileme kararları alınarak yöneticiler riskleri sınırlayabildiği gibi potansiyel kazancı da arttırabilir.

1.1 Tezin Amacı Ve Önemi

Bu çalışmanın amacı, gerçek hayatta karşılaşılan yenileme analizi problemlerinde belirsizliğin aralık tip-2 bulanık sayılarla temsil edildiği durumlarda yenileme kararlarının alınabileceği modellerin geliştirilmesidir. Çalışma kapsamında öncelikle aralık tip-2 bulanık yenileme analizinin temelini oluşturan aralık tip-2 bulanık yatırım

analizi konusu araştırılmıştır. Literatür araştırmasında yenileme analizi konusundaki çalışmalarda tespit edilen eksiklikler bu çalışmaya dahil edilmiştir. Gerçek hayatta, yenileme analizine ait verilerdeki belirsizlikler farklı üyelik fonksiyonlarıyla ifade edilebilmektedir. Belirsizliklerin kapsamlı olarak modellenenebilmesi için üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar bir yenileme analizinde yer alabilir. Yenileme analizindeki verilerin bazılarının üçgen, bazılarının ise yamuk aralık tip-2 bulanık sayılarla ifade edildiği durumlar karma aralık tip-2 bulanık yenileme analizi olarak adlandırılmıştır. Aralık tip-2 bulanık finans hesaplamalarının düzenli bir şekilde yapılarak modelin farklı inceleme sürelerine sahip problemleri kapsayan genel bir model olabilmesi için verilerin matris formunda ele alındığı yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yenileme analizi modellerinin uygulanabilirliği ve geçerliliği öncelikle deterministik problemlerde denenerek sonuçların deterministik yöntemle aynı olduğu gözlemlenmiştir. Ardından, verilerin üçgen, yamuk ve karma aralık tip-2 bulanık sayılarla ifade edildiği yenileme analizi problemlerinde modeldeki çıktılar girdilerle uyumlu olarak elde edilmiş ve sonuçların tutarlılığı grafiksel anlatımlarla desteklenmiştir.

Belirsizliğin göz önüne alındığı olasılık modellerinde geçmişteki verilerin yetersizliği durumunda elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir. Bulanık sayılar olasılık dağılımından farklı olarak mümkün ile imkansız durum arasındaki farkı olabilirlik dağılımı olarak genelleyebilir. Bulanık sayılar bu nedenle belirsizlikler için mükemmel bir çıkarım sağlar. Bulanık sayıların olabilirlik dağılımı kullanılarak gelecekteki nakit akışını kesin bir değer yerine dağılım olarak tahmin edilmesi, belirsizliklerin özelliklerini de dikkate aldığından gerçeğe oldukça yakındır.

Gerçek hayatta yenileme analizindeki piyasa koşulları, teknolojinin ilerlemesi ve öngörülemez arızalar gibi çok unsurlu belirsizlikler altında yapıldığından, savunucu ve aday için beklenen maliyetler kesin bir değer yerine aralıklı değerlere sahiptir. Önerilen modellerde klasik yenileme analizinden farklı olarak faiz oranları, piyasa değerleri ve işletme maliyetlerindeki belirsizlikleri dikkate alabilmek için üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar kullanılmıştır.

Yenileme analizi problemleri, nakit akışı ve fırsat maliyeti yaklaşımı kullanılarak analiz edildiğinde aynı yenileme kararları elde edilir. Önerilen aralık tip-2 yenileme analizi modellerinde savunucu ve adayın birbirinden bağımsız olarak toplam yıllık işletme maliyetlerinin karşılaştırıldığı, nakit akışı yaklaşımı kullanılmıştır.

Geliştirilen aralık tip-2 bulanık yenileme analizi problemlerinde belirsizliklerin gerçekçi olarak göz önünde bulundurulması için faiz oranlarındaki, piyasa değerlerindeki ve işletme maliyetlerindeki belirsizlikler gelecek dönemlerde daha fazla olacak şekilde modellenmiştir. Faiz oranı, faiz süresi boyunca tam olarak kestirilemeyeceğinden dolayı her dönem için üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar kullanılarak ifade edilmiştir. İyimser, durağan ve kötümser piyasa koşullarının da yenileme analizine dahil edilebilmesi için faiz oranının azaldığı, sabit kaldığı ve arttığı durumlar geliştirilen yenime analizi problemlerinde hesaba katılmıştır.

Uygulanabilirliği ve ilgi çekici bir konu olması dolayısıyla bulanık sayıların sıralanması ve durulaştırılması birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Gerçeğe uygun olarak geliştirilen aralık tip-2 bulanık yenileme analizi uygulamalarının çözümü için önerilen modeller kullanılarak yenileme kararlarının doğru olarak alınabilmesi için aralık tip-2 bulanık sayıların hem sıralanması hem de durulaştırılması ile elde edilen değerler dikkate alınmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Bellmann (1955) dinamik programlama ile yenileme analizi üzerinde çalışmıştır. Dreyfus (1960) yenileme analizinde onarım kararını da göz önünde bulundurmıştır. Zadeh (1965) bulanık küme kavramını öne sürmüştür. Bellmann ve Zadeh (1970) karar verme problemlerinde bulanık yaklaşımı önermişlerdir. Lake ve Muhlemann (1979) mevcut ekipman için yenileme kararlarının alınabileceği modeller önermişlerdir. Oakford (1984), Lake ve diğ. (1979) tarafından önerilen modellerde kullanılabilecek örnekler geliştirmiştir. Lohmann (1986) stokastik yaklaşımla yenileme analizi üzerinde çalışmıştır. Buckley (1987) bulanık finans kavramını ileri sürmüştür. Buckley (1992) bulanık finans denklemlerini geliştirmiştir. Usher ve Whitfield (1993) geliştirdikleri örneklerle bir yatırımın farklı kullanım sürelerinin toplam maliyetlerini bulanık olarak ifade etmişlerdir. Chiu ve Park (1994) nakit akışlarını ve faiz oranını üçgen bulanık sayılarla ifade ederek, bulanık şimdiki değer analizini formüle etmiştir. Chiu ve Park (1998) sermaye bütçeleme kararlarında bulanık mantığı kullanmışlardır. Baskak ve Kahraman (1998) bulanık yenileme analizini mevcut ekipmana ait verilerin üçgen bulanık sayılarla ifade edildiği durum için uygulamışlardır. Çetin ve Kahraman (1999) bulanık eşdeğer düzgün ödeme ve bulanık gelecek değer yöntemlerini geliştirdikleri örnele uygulamışlardır. Boussabaine ve Elhag (1999) bulanık nakit

akışı analizlerinin inşaat projelerine uygulanabilirliğini irdedelemişlerdir. Dimitrovski ve Matos (2000) yatırım analizlerinde istatistiksel olmayan belirsizliklerin bulanık sayılarla modellendiği yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Kahraman ve diğ. (2000) bulanık eşdeğer düzgün ödeme değeri yöntemini kullanarak bulanık fayda maliyet oranı yöntemini önermişlerdir. Kuchta (2000) yaygın olarak kullanılan deterministik sermaye bütçeleme yöntemlerinin bulanık eşdeğerlerini önermiştir. Karsak ve Tolga (2001) bulanık finanstan yararlanarak önerdikleri bulanık çok kriterli karar verme yöntemiyle ileri imalat sistemleri yatırımlarını değerlendirmişlerdir. Karnik ve Mendel (2001) aralık bulanık tip-2 kümelerin ağırlık merkezini hesaplamışlardır. Kahraman ve diğ. (2002) belirsizlikler altında ekonomik kararlar alınırken nakit akışlarının, faiz oranlarının ve sermaye maliyetlerinin rastlantısallık yerine belirsizlik içerdiğini ileri sürmüşlererek bulanık net şimdiki değer, bulanık eşdeğer düzgün ödeme değeri, bulanık gelecek değer, bulanık fayda maliyet oranı ve bulanık geri dönüş süresi formüllerini geliştirmişlerdir. Al-Najjar ve Alsyouf (2003) bulanık çok kriterli karar verme yöntemini kullanarak yaygın olan bakım yapma yaklaşımlarını değerlendirmişlerdir. Araştırmalarında genellikle ekipmanların yenilenmesi yerine tamir edilmesinin maliyet açısından daha verimli olduğunu göstermişlerdir. Kahraman ve diğ. (2004) nakit akışındaki ve faiz oranındaki belirsizliklerin üçgen bulanık sayılar ile ifade edildiği bilgisayar destekli üretim sistemi yatırımlarının bulanık net şimdiki değerini hesaplayabilmek için bulanık finans modelleri önermişlerdir. Yao ve diğ. (2005) geliştirdikleri bulanık indirgenmiş nakit akışı modelini klasik indirgenmiş nakit akışı modeliyle karşılaştırmışlardır. Tolga ve diğ. (2005) işletim sistemi seçimi projesi için bulanık yenileme analizi ve bulanık analitik hiyerarşi sürecini kullanan bir yöntem önermişlerdir. Demircan ve Kahraman (2005) genelleştirilmiş bulanık yenileme analizini sunmuşlardır. Kahraman ve diğ. (2006) geometrik ve trigonometrik nakit akışları için bulanık şimdiki değer, bulanık eşdeğer düzgün ödeme değeri, bulanık gelecek değer, bulanık fayda maliyet oranı ve bulanık geri ödeme süresi formüllerini geliştirmişlerdir. Sevastijanov ve diğ. (2006) yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi ve en iyi alternatifin seçilebilmesi için bulanık sermaye bütçeleme tekniklerini uygulamışlardır. Mendel ve diğ. (2006) aralık bulanık tip-2 kümelerle, tip-2 bulanık kümeleri karşılaştırarak aralık tip-2 bulanık kümelerin kullanılmasını önermişlerdir. Lee ve Chen (2008) geliştirdikleri aralık tip-2 bulanık sayıları sıralama yöntemini bulanık çok kriterli karar verme probleminde uygulamışlardır. Co ve diğ. (2011) kontrol sistemlerindeki belirsizliği dikkate alabilmek için bulanık tip-2

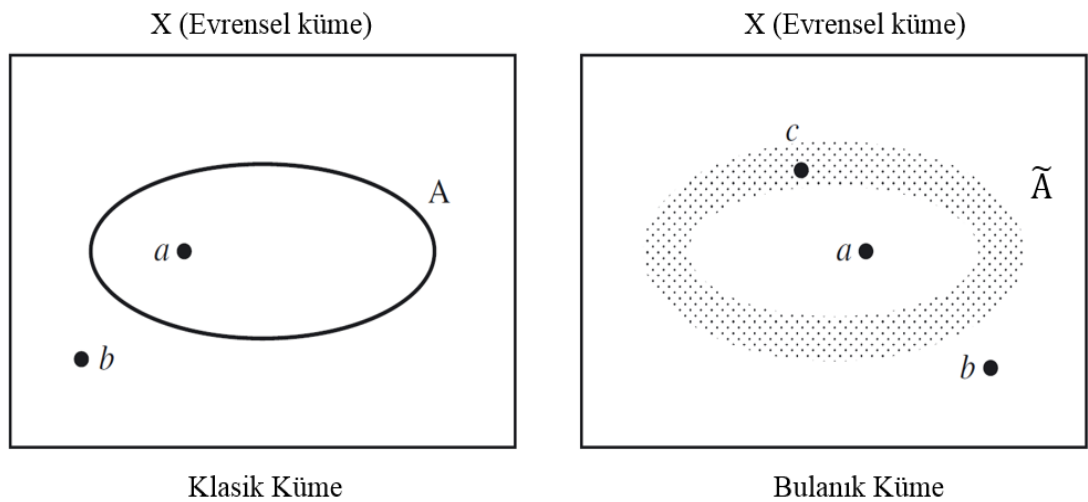
kümeleri kullanmışlardır. Damghani ve diğ. (2011) belirsizlik durumunda birçok seçenek arasından en iyi portföy seçiminin yapılabilmesini sağlayan bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Ho ve Liao (2011) yatırımların bulanık net şimdiki değerinin ortalama değerini ve reel opsiyonları kullanarak projelerin değerlendirilebildiği bir bulanık binom yaklaşım önermişlerdir. Shahriari (2011) bulanık şimdiki değer analizi ve bulanık gelecek değer analizini kullanarak belirsizlik altında parametrelerin üçgen bulanık sayılarla ifade edildiği yatırım projelerini değerlendirmişlerdir. You ve diğ. (2012) kurumsal kaynak planlaması yatırımlarını bulanık reel opsiyonları kullanarak değerlendiren bir bulanık model geliştirmişlerdir. Karar destek sisteminde belirsizlikleri dikkate alabilmek için bulanık mantık ve bulanık kümeleri kullanılmışlardır. Sarı ve Kahraman (2015) yatırım analizinde aralık tip-2 bulanık şimdiki değer, eşdeğer düzgün ödeme değeri ve gelecek değer analizi denklemlerini geliştirmişlerdir. Demircan (2016) belirsizliklerin yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar kullanılarak ifade edildiği bir çağrı merkezi yenileme projesinin ekonomik kullanım ömrünü hesaplamıştır. Çalışmada faiz oranları her yıl için aynı ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar kullanılarak belirtilmiştir. Duyarlılık analizinde faiz oranındaki ve ilk yatırım maliyetindeki değişimin ekonomik kullanım ömrü üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

2. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜME TEORİSİ

Zadeh (1965) 0 sayısının bir elemanın kümenin üyesi olmadığı ve 1 sayısının bir elemanın kümenin tam üyesi olduğunu ifade ettiği ikili üyelik kavramını, $[0,1]$ sürekli aralığına genişletmiştir. Uç noktalar arasında değerlerin sonsuz sayıda olabilmesi herhangi bir elemanın herhangi bir kümeye olan üyelik derecesinin farklı değerlerle temsil edilebilmesini sağlamaktadır. Zadeh, bir elemanın evrensel kümede bulunan kümelerle olan farklı üyelik dereceleri kavramını, bulanık küme teorisi olarak adlandırmıştır (Ross, 2010).

2.1 Bulanık Küme Teorisi Ve Üyelik Fonksiyonu

Klasik kümeler teorisinde bir elemanın belirli bir kümeye ait olup olmadığı arasındaki ayrım kesindir. Klasik kümeler kesin sınırlarla tanımlandığından belirsizlik durumu dikkate alınmaz. Ancak bulanık kümelerde belirsiz de dikkate alındığından, bir elemanın bulanık kümeye ait olması ile bu kümenin dışında kalması arasındaki fark kadelemeli olarak ifade edilmektedir. Bu durum, bulanık kümelerin sınırlarının aralıklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bir elemanın bulanık kümelerle olan aitliği üyelik fonksiyonu ile belirtilir. Klasik küme ve bulanık küme arasındaki fark Şekil 2.1’de gösterilmektedir (Ross, 2010).



Şekil 2.1 : Klasik küme ve bulanık küme karşılaştırması.

Denklem 2.1-2.2’de x elemanın $\tilde{A}$ bulanık kümesine olan üyelik derecesi $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ile belirtilmektedir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x \in A \\ 0, & \text{eğer } x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \quad (2.2)$$

2.2 Genelleme İlkesi

Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan genelleme ilkesi bulanık küme teorisinin en temel kavramlarından birisidir. Klasik matematik fonksiyonlarının bulanık kümeler ve bulanık sayılara genişletilebilmesi için genelleme ilkesi kullanılmaktadır (Ross, 2010).

$f: X \rightarrow Y$ fonksiyonu, $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ kartezyen çarpımındaki n tane elemanı Y uzayına eşlemek üzere $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ bağıntısı $y \in Y$ ve $x_i \in X, \forall i$ için geçerlidir. Y uzayındaki $\tilde{M}$ bulanık kümesi ve $f: X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \rightarrow Y$ fonksiyonu Denklem 2.3’te verilmiştir.

$$\tilde{M} = \{(y, \mu_{\tilde{M}}(y)) | y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X\} \quad (2.3)$$

$X_1, X_2, \dots, X_n$ uzayı içerisindeki bulanık kümeler $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$ ile tanımlandığı durumda $\tilde{M}$ bulanık kümesinin üyelik derecesi Denklem 2.4’te kullanılarak bulunur.

$$\mu_{\tilde{M}}(y) = \begin{cases} \text{eküs}_{(x_1, x_2, \dots, x_n) \in f^{-1}(y)} \text{enk}(\mu_{\tilde{A}_1}(x_1), \dots, \mu_{\tilde{A}_n}(x_n)), & \text{eğer } f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0, & \text{eğer } f^{-1}(y) = \emptyset \end{cases} \quad (2.4)$$

Denklem 2.4’te f^{-1} , f fonksiyonunun tersini ifade etmektedir. $n = 1$ için genelleme ilkesi Denklem 2.5 ile gösterilir.

$$\mu_{\tilde{M}}(y) = \begin{cases} \mu_{\tilde{A}}(f^{-1}(y)), & \text{eğer } f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0, & \text{eğer } f^{-1}(y) = \emptyset \end{cases} \quad (2.5)$$

2.3 Bulanık Kümelerde α Kesimi

$\tilde{A}$ bulanık sayısının α kesimi $\tilde{A}^\alpha$ ile belirtilmektedir. $\tilde{A}^\alpha$, $\alpha \in [1,0]$ olmak üzere, $\tilde{A}$ ’nın üyelik derecesi α değerinden büyük veya eşit olan tüm elemanlarını içeren kümedir. $\tilde{A}$ bulanık sayısının α kesimi Denklem 2.6’de verilmektedir.

$$\tilde{A}^\alpha = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha, 0 \leq \alpha \leq 1\} \quad (2.6)$$

2.4 Bulanık Sayı Kavramı

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin alt kümesidir. bulanık sayılar kullanılarak verilerin belirsizlik içerdği durumlar ifade edilebilir. Bulanık sayılar, sahip oldukları üyelik fonksiyonuna göre sınıflandırılabilir. Sıradan bulanık sayıların üyelik dereceleri $[0,1]$ aralığında kesin sayılar kullanılarak belirtilir (Zadeh, 1965). Sıradan bulanık sayıların belirsizliği tam olarak temsil edemediği durumlarda aralık tip-2 bulanık sayıların kullanılabilir. Aralık tip-2 bulanık sayıların üyelik dereceleri $[0,1]$ aralığındaki aralıklı değerler kullanılarak ifade edilmektedir (Zadeh, 1974).

2.5 Sıradan Bulanık Sayılar

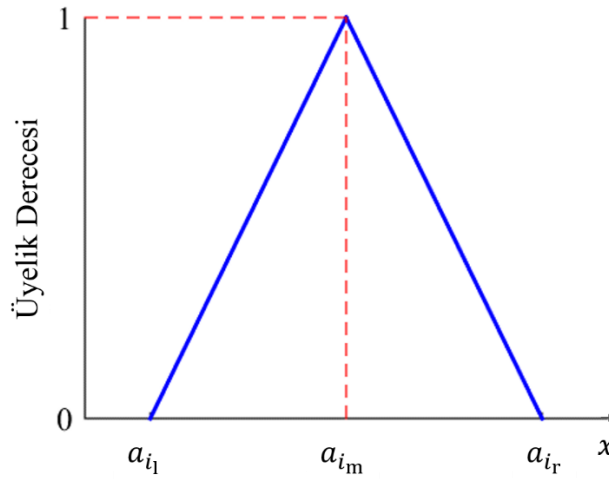
Üyelik dereceleri kesin sayılar ile ifade edilen bulanık sayılardır. Literatürde üçgen bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar, aralık tipi bulanık sayılar, üstel bulanık sayılar ve Gauss bulanık sayıları gibi farklı üyelik fonksiyonuna sahip sıradan bulanık sayılar mevcuttur. Ancak bulanık mühendislik ekonomisi konusundaki çalışmalarda üçgen ve yamuk sıradan bulanık sayılar yoğunlukla kullanılmaktadır.

2.5.1 Üçgen bulanık sayılar

$\tilde{A}_i$ üçgen bulanık sayısının üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}_i}(x)$ ile ifade edilmektedir. $\tilde{A}_i$ sayısının en düşük değeri a_{i_l} , en olası değeri a_{i_m} ve en büyük değeri a_{i_r} ile ifade edilmektedir. $\tilde{A}_i$ üçgen bulanık sayısının üyelik fonksiyonu Denklem 2.7’de verilmiştir (Kaufmann ve Gupta, 1985).

$$\mu_{\tilde{A}_i}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_{i_l} \\ \frac{(x - a_{i_l})}{(a_{i_m} - a_{i_l})}, & a_{i_l} \leq x \leq a_{i_m} \\ \frac{(a_{i_r} - x)}{(a_{i_r} - a_{i_m})}, & a_{i_m} \leq x \leq a_{i_r} \\ 0, & x \geq a_{i_r} \end{cases} \quad (2.7)$$

$\tilde{A}_i$ üçgen bulanık sayısının referans noktaları ve üyelik fonksiyonu Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Üçgen sıradan bulanık sayı.

$\tilde{A}_i$ üçgen bulanık sayısının gösterimi Denklem 2.8’de verilmiştir. Denklem 2.8’de $i = 1,2$ için $\tilde{A}_1$ ve $\tilde{A}_2$ üçgen bulanık sayılar olmak üzere aritmetik işlemler Denklem 2.9-2.14’de gösterilmiştir (Kaufmann ve Gupta, 1985).

$$\tilde{A}_i = (a_{i_l}, a_{i_m}, a_{i_r}) \quad (2.8)$$

Toplama işlemi:

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (a_{1_l} + a_{2_l}, a_{1_m} + a_{2_m}, a_{1_r} + a_{2_r}) \quad (2.9)$$

Çıkarma işlemi:

$$\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = (a_{1_l} - a_{2_l}, a_{1_m} - a_{2_m}, a_{1_r} - a_{2_r}) \quad (2.10)$$

Çarpma işlemi:

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 \cong \begin{cases} (a_{1_l} \times a_{2_l}, a_{1_m} \times a_{2_m}, a_{1_r} \times a_{2_r}) & \text{eğer } \tilde{A}_1 > 0, \tilde{A}_2 > 0 \\ (a_{1_l} \times a_{2_r}, a_{1_m} \times a_{2_m}, a_{1_r} \times a_{2_l}) & \text{eğer } \tilde{A}_1 < 0, \tilde{A}_2 > 0 \\ (a_{1_r} \times a_{2_r}, a_{1_m} \times a_{2_m}, a_{1_l} \times a_{2_l}) & \text{eğer } \tilde{A}_1 < 0, \tilde{A}_2 < 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Bölme işlemi:

$$\tilde{A}_1 \oslash \tilde{A}_2 \cong \begin{cases} (a_{1_l}/a_{2_r}, a_{1_m}/a_{2_m}, a_{1_r}/a_{2_l}) & \text{eğer } \tilde{A}_1 > 0, \tilde{A}_2 > 0 \\ (a_{1_r}/a_{2_r}, a_{1_m}/a_{2_m}, a_{1_l}/a_{2_l}) & \text{eğer } \tilde{A}_1 < 0, \tilde{A}_2 > 0 \\ (a_{1_r}/a_{2_l}, a_{1_m}/a_{2_m}, a_{1_l}/a_{2_r}) & \text{eğer } \tilde{A}_1 < 0, \tilde{A}_2 < 0 \end{cases} \quad (2.12)$$

Tersini alma işlemi

$$\frac{1}{\tilde{A}_1} \cong \left(\frac{1}{a_{1_r}}, \frac{1}{a_{1_m}}, \frac{1}{a_{1_l}} \right) \quad (2.13)$$

Skaler çarpma işlemi

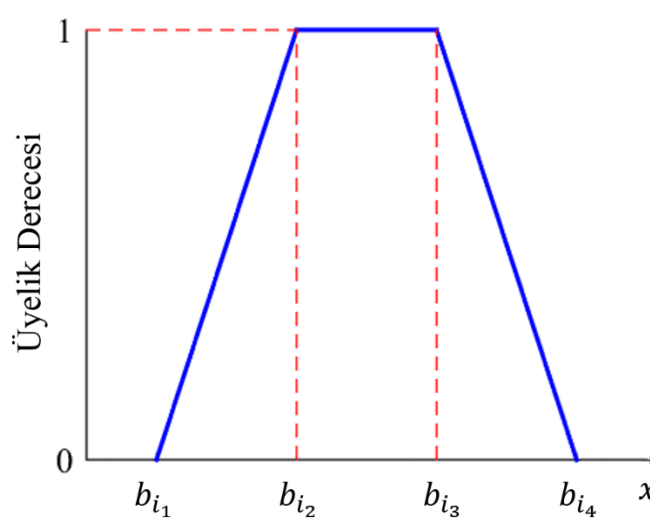
$$k\tilde{A}_1 = \begin{cases} (k \times a_{1_l}, k \times a_{1_m}, k \times a_{1_r}) & \text{eğer } k > 0, k \in \mathbb{R} \\ (k \times a_{1_r}, k \times a_{1_m}, k \times a_{1_l}) & \text{eğer } k < 0, k \in \mathbb{R} \end{cases} \quad (2.14)$$

2.5.2 Yamuk bulanık sayılar

$\tilde{B}_i$ yamuk bulanık sayısının üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{B}_i}(x)$ ile ifade edilmektedir. $\tilde{B}_i$ sayısının en düşük değeri b_{i_1} , en olası değerleri b_{i_2}, b_{i_3} aralığı ve en büyük değeri b_{i_4} ile ifade edilmektedir. $\tilde{B}_i$ yamuk bulanık sayısının üyelik fonksiyonu Denklem 2.15'te verilmiştir (Kaufmann ve Gupta, 1985).

$$\mu_{\tilde{B}_i}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq b_{i_1} \\ \frac{(x - b_{i_1})}{(b_{i_2} - b_{i_1})}, & b_{i_1} \leq x \leq b_{i_2} \\ 1, & b_{i_2} \leq x \leq b_{i_3} \\ \frac{(b_{i_4} - x)}{(b_{i_4} - b_{i_3})}, & b_{i_3} \leq x \leq b_{i_4} \\ 0, & x \geq b_{i_4} \end{cases} \quad (2.15)$$

$\tilde{B}_i$ yamuk bulanık sayısının referans noktaları ve üyelik fonksiyonu Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Yamuk sıradan bulanık sayı.

$\tilde{B}_i$ yamuk bulanık sayısının gösterimi Denklem 2.16'da verilmiştir. Denklem 2.16'da $i = 1, 2$ için $\tilde{B}_1$ ve $\tilde{B}_2$ yamuk bulanık sayılar olmak üzere bu sayılar için aritmetik işlemler Denklem 2.17-2.22'de gösterilmiştir (Kaufmann ve Gupta, 1985).

$$\tilde{B}_i = (b_{i_1}, b_{i_2}, b_{i_3}, b_{i_4}) \quad (2.16)$$

Toplama işlemi:

$$\tilde{B}_1 \oplus \tilde{B}_2 = (b_{1_1} + b_{2_1}, b_{1_2} + b_{2_2}, b_{1_3} + b_{2_3}, b_{1_4} + b_{2_4}) \quad (2.17)$$

Çıkarma işlemi:

$$\tilde{B}_1 \ominus \tilde{B}_2 = (b_{1_1} - b_{2_1}, b_{1_2} - b_{2_2}, b_{1_3} - b_{2_3}, b_{1_4} - b_{2_4}) \quad (2.18)$$

Çarpma işlemi:

$$\tilde{B}_1 \otimes \tilde{B}_2 \cong \begin{cases} (b_{1_1} \times b_{2_1}, b_{1_2} \times b_{2_2}, b_{1_3} \times b_{2_3}, b_{1_4} \times b_{2_4}) & \text{eğer } \tilde{B}_1 > 0, \tilde{B}_2 > 0 \\ (b_{1_1} \times b_{2_4}, b_{1_2} \times b_{2_3}, b_{1_3} \times b_{2_2}, b_{1_4} \times b_{2_1}) & \text{eğer } \tilde{B}_1 < 0, \tilde{B}_2 > 0 \\ (b_{1_4} \times b_{2_4}, b_{1_3} \times b_{2_3}, b_{1_2} \times b_{2_2}, b_{1_1} \times b_{2_1}) & \text{eğer } \tilde{B}_1 < 0, \tilde{B}_2 < 0 \end{cases} \quad (2.19)$$

Bölme işlemi:

$$\tilde{B}_1 \oslash \tilde{B}_2 \cong \begin{cases} (b_{1_1}/b_{2_4}, b_{1_2}/b_{2_3}, b_{1_3}/b_{2_2}, b_{1_4}/b_{2_1}) & \text{eğer } \tilde{B}_1 > 0, \tilde{B}_2 > 0 \\ (b_{1_4}/b_{2_4}, b_{1_3}/b_{2_3}, b_{1_2}/b_{2_2}, b_{1_1}/b_{2_1}) & \text{eğer } \tilde{B}_1 < 0, \tilde{B}_2 > 0 \\ (b_{1_4}/b_{2_1}, b_{1_3}/b_{2_2}, b_{1_2}/b_{2_3}, b_{1_1}/b_{2_4}) & \text{eğer } \tilde{B}_1 < 0, \tilde{B}_2 < 0 \end{cases} \quad (2.20)$$

Tersini alma işlemi

$$\frac{1}{\tilde{B}_1} \cong \left(\frac{1}{b_{1_4}}, \frac{1}{b_{1_3}}, \frac{1}{b_{1_2}}, \frac{1}{b_{1_1}} \right) \quad (2.21)$$

Skaler çarpma işlemi

$$k\tilde{B}_1 = \begin{cases} (k \times b_{1_1}, k \times b_{1_2}, k \times b_{1_3}, k \times b_{1_4}) & \text{eğer } k > 0, k \in \mathbb{R} \\ (k \times b_{1_4}, k \times b_{1_3}, k \times b_{1_2}, k \times b_{1_1}) & \text{eğer } k < 0, k \in \mathbb{R} \end{cases} \quad (2.22)$$

2.6 Aralık Tip-2 Bulanık Sayılar

Aralık tip-2 bulanık kümeler, sıradan bulanık kümelerin uzantısı olarak Zadeh (1974) tarafından önerilmiştir. Aralık tip-2 bulanık kümeleri karakterize etmek için üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktaları ile referans noktalarının yükseklikleri kullanılır (Chen ve Lee, 2010). Aralık tip-2 bulanık kümelerin üyelik dereceleri sıradan bulanık kümeler kullanılarak tanımlanır. Sıradan bulanık kümeler için kesin bir üyelik fonksiyonu tanımlamanın zor olduğu durumlarda aralık tip-2 bulanık kümeler gerekli esnekliği sağlamaktır (Karnik ve Mendel, 2001).

X evrensel kümesine ait bir tip-2 bulanık küme olan $\tilde{A}$ için tanımlanan tip-2 üyelik fonksiyonunu belirten $\mu_{\tilde{A}}$ ve J_x , $[0,1]$ aralığını belirtmek üzere $\tilde{A}$ tip-2 bulanık kümesi Denklem 2.23 ile gösterilir (Zadeh, 1975).

$$\tilde{A} = \left\{ \left((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) \right) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1 \right\} \quad (2.23)$$

$\iint$ kabul edilebilir x ve u değerlerinin birleşimini belirtmek üzere ve $J_x \subseteq [0,1]$ için $\tilde{A}$ aralık tip-2 bulanık kümesi Denklem 2.24'te verilmektedir. Kesikli durum için $\int$, Σ ile değiştirilmelidir (Mendel ve diğ. 2006).

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x, u)}{(x, u)} \quad (2.24)$$

$\tilde{A}$ aralık tip-2 bulanık sayısının üst üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}^U}(x)$ olan ve alt üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}^L}(x)$ olan sıradan bulanık sayılardan oluşur (Mendel ve diğ. 2006). Aralık tip-2 bulanık kümelerde x elemanının üyelik derecesi $[0,1]$ aralığının alt aralığı olan $[\mu_{\tilde{A}^L}(x), \mu_{\tilde{A}^U}(x)]$ aralığıdır (Lv ve diğ. 2009). Aralık tip-2 bulanık sayılar üyelik fonksiyonunun şekline göre sınıflandırılmaktadır. Bulanık mühendislik ekonomisi uygulamalarında üçgen aralık tip-2 bulanık sayılar ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar yoğun olarak kullanılmaktadır.

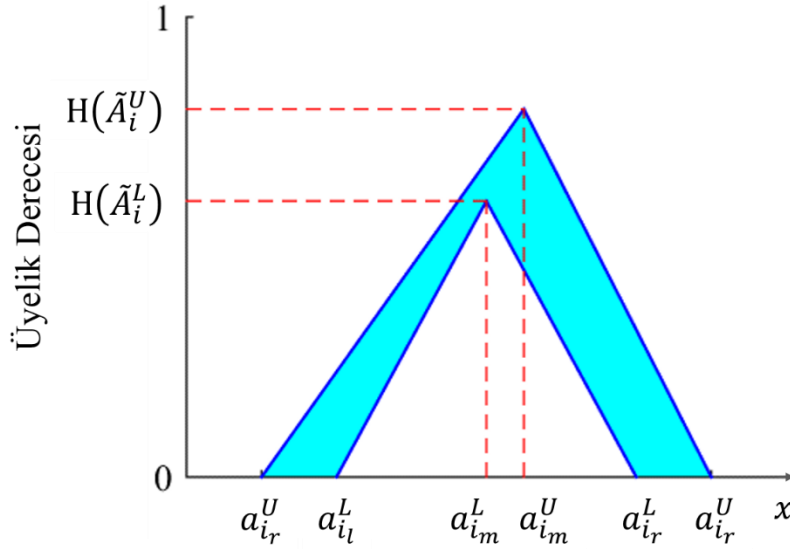
2.6.1 Üçgen aralık tip-2 bulanık sayılar

$\tilde{A}_i$ üçgen aralık tip-2 bulanık sayısının üst kısmını $\tilde{A}_i^U$ sıradan üçgen bulanık sayısı, alt kısmını $\tilde{A}_i^L$ üçgen sıradan bulanık sayısı oluşturmak üzere $\tilde{A}_i$ üçgen aralık tip-2 bulanık sayısının üst üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}_i^U}$ ve alt üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}_i^L}$ ile ifade edilir. $\tilde{A}_i^U$ sayısının yüksekliği olan en büyük üyelik derecesi $H(\tilde{A}_i^U)$ ve referans noktaları $a_{i_l}^U$, $a_{i_m}^U$, $a_{i_r}^U$ olarak; $\tilde{A}_i^L$ sayısının yüksekliği olan en büyük üyelik derecesi $H(\tilde{A}_i^L)$ ve referans noktaları $a_{i_l}^L$, $a_{i_m}^L$, $a_{i_r}^L$ olarak belirtilmesi durumunda $\tilde{A}_i$ sayısının referans noktaları $a_{i_l}^U$, $a_{i_m}^U$, $a_{i_r}^U$, $a_{i_l}^L$, $a_{i_m}^L$, $a_{i_r}^L$ ve yükseklikleri $H(\tilde{A}_i^U)$, $H(\tilde{A}_i^L)$ ile ifade edilir. $\tilde{A}_i$ üçgen aralık tip-2 bulanık sayısının üyelik fonksiyonu Denklem 2.25-2.26'da verilmektedir (Lv ve diğ. 2009).

$$\mu_{\tilde{A}_i^U}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_{i_l}^U \\ H(\tilde{A}_i^U) \frac{(x - a_{i_l}^U)}{(a_{i_m}^U - a_{i_l}^U)}, & a_{i_l}^U \leq x \leq a_{i_m}^U \\ H(\tilde{A}_i^U) \frac{(a_{i_r}^U - x)}{(a_{i_r}^U - a_{i_m}^U)}, & a_{i_m}^U \leq x \leq a_{i_r}^U \\ 0, & x \geq a_{i_r}^U \end{cases} \quad (2.25)$$

$$\mu_{\tilde{A}_i^L}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_{i_l}^L \\ H(\tilde{A}_i^L) \frac{(x - a_{i_l}^L)}{(a_{i_m}^L - a_{i_l}^L)}, & a_{i_l}^L \leq x \leq a_{i_m}^L \\ H(\tilde{A}_i^L) \frac{(a_{i_r}^L - x)}{(a_{i_r}^L - a_{i_m}^L)}, & a_{i_m}^L \leq x \leq a_{i_r}^L \\ 0, & x \geq a_{i_r}^L \end{cases} \quad (2.26)$$

$\tilde{A}_i$, üçgen aralık tip-2 bulanık sayısının referans noktaları ve üyelik fonksiyonu Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Üçgen aralık tip-2 bulanık sayı.

$\tilde{A}_i$ üçgen aralık tip-2 bulanık sayısının gösterimi Denklem 2.27'de verilmiştir. Denklem 2.27'de $i = 1, 2$ için $\tilde{A}_1$ ve $\tilde{A}_2$ üçgen aralık tip-2 bulanık sayılar olmak üzere $k \in \mathbb{R} | k > 0$ ve $n \in \mathbb{N} | n > 0$ için aritmetik işlemler Denklem 2.28-2.35'te gösterilmiştir (Kuo-Ping, 2011).

$$\tilde{A}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = ((a_{i_l}^U, a_{i_m}^U, a_{i_r}^U; H(\tilde{A}_i^U)), (a_{i_l}^L, a_{i_m}^L, a_{i_r}^L; H(\tilde{A}_i^L))) \quad (2.27)$$

Toplama işlemi:

$$\begin{aligned}\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = & \left((a_{1_l}^U + a_{2_l}^U, a_{1_m}^U + a_{2_m}^U, a_{1_r}^U + a_{2_r}^U; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^U), \text{H}(\tilde{A}_2^U))), \right. \\ & \left. (a_{1_l}^L + a_{2_l}^L, a_{1_m}^L + a_{2_m}^L, a_{1_r}^L + a_{2_r}^L; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^L), \text{H}(\tilde{A}_2^L))) \right) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Çıkarma işlemi:

$$\begin{aligned}\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = & \left((a_{1_l}^U - a_{2_l}^U, a_{1_m}^U - a_{2_m}^U, a_{1_r}^U - a_{2_r}^U; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^U), \text{H}(\tilde{A}_2^U))), \right. \\ & \left. (a_{1_l}^L - a_{2_l}^L, a_{1_m}^L - a_{2_m}^L, a_{1_r}^L - a_{2_r}^L; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^L), \text{H}(\tilde{A}_2^L))) \right) \end{aligned} \quad (2.29)$$

Çarpma işlemi:

$$\begin{aligned}\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 \cong & \left((a_{1_l}^U \times a_{2_l}^U, a_{1_m}^U \times a_{2_m}^U, a_{1_r}^U \times a_{2_r}^U; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^U), \text{H}(\tilde{A}_2^U))), \right. \\ & \left. (a_{1_l}^L \times a_{2_l}^L, a_{1_m}^L \times a_{2_m}^L, a_{1_r}^L \times a_{2_r}^L; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^L), \text{H}(\tilde{A}_2^L))) \right) \end{aligned} \quad (2.30)$$

Bölme işlemi:

$$\begin{aligned}\tilde{A}_1 \oslash \tilde{A}_2 \cong & \left((a_{1_l}^U / a_{2_l}^U, a_{1_m}^U / a_{2_m}^U, a_{1_r}^U / a_{2_r}^U; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^U), \text{H}(\tilde{A}_2^U))), \right. \\ & \left. (a_{1_l}^L / a_{2_l}^L, a_{1_m}^L / a_{2_m}^L, a_{1_r}^L / a_{2_r}^L; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^L), \text{H}(\tilde{A}_2^L))) \right) \end{aligned} \quad (2.31)$$

Tersini alma işlemi

$$\frac{1}{\tilde{A}_1} \cong \left(\left(\frac{1}{a_{1_l}^U}, \frac{1}{a_{1_m}^U}, \frac{1}{a_{1_r}^U}; \text{H}(\tilde{A}_1^U) \right), \left(\frac{1}{a_{1_l}^L}, \frac{1}{a_{1_m}^L}, \frac{1}{a_{1_r}^L}; \text{H}(\tilde{A}_1^L) \right) \right) \quad (2.32)$$

Skaler çarpma işlemi

$$\begin{aligned}k\tilde{A}_1 = & \left((k \times a_{1_l}^U, k \times a_{1_m}^U, k \times a_{1_r}^U; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^U), \text{H}(\tilde{A}_2^U))), \right. \\ & \left. (k \times a_{1_l}^L, k \times a_{1_m}^L, k \times a_{1_r}^L; \text{enk}(\text{H}(\tilde{A}_1^L), \text{H}(\tilde{A}_2^L))) \right) \end{aligned} \quad (2.33)$$

Üs alma işlemi

$$\begin{aligned}(\tilde{A}_1)^n \cong & \left(((a_{1_l}^U)^n, (a_{1_m}^U)^n, (a_{1_r}^U)^n; \text{H}(\tilde{A}_1^U)), \right. \\ & \left. ((a_{1_l}^L)^n, (a_{1_m}^L)^n, (a_{1_r}^L)^n; \text{H}(\tilde{A}_1^L)) \right) \end{aligned} \quad (2.34)$$

Kök alma işlemi

$$\sqrt[n]{\tilde{A}_1} \cong \left(\left(\sqrt[n]{a_{1l}^U}, \sqrt[n]{a_{1m}^U}, \sqrt[n]{a_{1r}^U}; H(\tilde{A}_1^U) \right), \right. \\ \left. \left(\sqrt[n]{a_{1l}^L}, \sqrt[n]{a_{1m}^L}, \sqrt[n]{a_{1r}^L}; H(\tilde{A}_1^L) \right) \right) \quad (2.35)$$

2.6.1.1 Üçgen aralık tip-2 bulanık sayıların sıralanması

Lee ve Chen (2008) üçgen aralık tip-2 bulanık sayıları sıralamak için bir yöntem önermişlerdir. $\tilde{A}_i$ üçgen aralık tip-2 bulanık sayı olmak üzere, $\tilde{A}_i$ 'nin göreceli büyüklüğü $\text{Rank}(\tilde{A}_i)$ ile ifade edilmektedir. $\text{Rank}(\tilde{A}_i)$ değerinin hesaplanması Denklem 2.36'da verilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Rank}(\tilde{A}_i) = & M_1(\tilde{A}_i^U) + M_1(\tilde{A}_i^L) + M_2(\tilde{A}_i^U) + M_2(\tilde{A}_i^L) \\ & - \frac{1}{3}(S_1(\tilde{A}_i^U) + S_1(\tilde{A}_i^L) + S_2(\tilde{A}_i^U) + S_2(\tilde{A}_i^L) \\ & + S_3(\tilde{A}_i^U) + S_3(\tilde{A}_i^L)) + H(\tilde{A}_i^U) + H(\tilde{A}_i^L) \end{aligned} \quad (2.36)$$

$M_1(\tilde{A}_i^j)$, $a_{i_l}^j$ ve $a_{i_m}^j$ elemanlarının ortalamasını belirtmektedir. $M_1(\tilde{A}_i^j)$, $j \in \{U, L\}$ için Denklem 2.37 kullanılarak hesaplanır.

$$M_1(\tilde{A}_i^j) = \frac{a_{i_l}^j + a_{i_m}^j}{2} \quad (2.37)$$

$M_2(\tilde{A}_i^j)$, $a_{i_m}^j$ ve $a_{i_r}^j$ elemanlarının ortalamasını belirtmektedir. $M_2(\tilde{A}_i^j)$, $j \in \{U, L\}$ için Denklem 2.38 kullanılarak bulunur.

$$M_2(\tilde{A}_i^j) = \frac{a_{i_m}^j + a_{i_r}^j}{2} \quad (2.38)$$

$S_1(\tilde{A}_i^j)$, $a_{i_l}^j$ ve $a_{i_m}^j$ elemanlarının standart sapmasını belirtmektedir. $S_1(\tilde{A}_i^j)$, $j \in \{U, L\}$ için Denklem 2.39 kullanılarak bulunur.

$$S_1(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{2} \left((a_{i_l}^j - M_1(\tilde{A}_i^j))^2 + (a_{i_m}^j - M_1(\tilde{A}_i^j))^2 \right)} \quad (2.39)$$

$S_2(\tilde{A}_i^j)$, $a_{i_m}^j$ ve $a_{i_r}^j$ elemanlarının standart sapmasını belirtmektedir. $S_{1-2}(\tilde{A}_i^j)$, $j \in \{U, L\}$ için Denklem 2.40 kullanılarak hesaplanır.

$$S_2(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{2} \left((a_{i_m}^j - M_2(\tilde{A}_i^j))^2 + (a_{i_r}^j - M_2(\tilde{A}_i^j))^2 \right)} \quad (2.40)$$

$S_3(\tilde{A}_i^j)$ $a_{i_l}^j$, $a_{i_m}^j$ ve $a_{i_r}^j$ elemanlarının standart sapmasını belirtmektedir. $j \in \{U, L\}$ için $S_3(\tilde{A}_i^j)$ Denklem 2.41 kullanılarak bulunur.

$$S_3(\tilde{A}_i^j) = \left(\frac{1}{3} \left(\left(a_{i_l}^j - \frac{a_{i_l}^j + a_{i_m}^j + a_{i_r}^j}{3} \right)^2 + \left(a_{i_m}^j - \frac{a_{i_l}^j + a_{i_m}^j + a_{i_r}^j}{3} \right)^2 + \left(a_{i_r}^j - \frac{a_{i_l}^j + a_{i_m}^j + a_{i_r}^j}{3} \right)^2 \right) \right)^{1/2} \quad (2.41)$$

$H(\tilde{A}_i^j)$, $j \in \{U, L\}$ için $a_{i_m}^j$ elemanının üyelik derecesini belirtmektedir.

2.6.1.2 Üçgen aralık tip-2 bulanık sayıların durulaştırılması

Kahraman ve diğ. (2014) üçgen aralık tip-2 bulanık sayıları durulaştırmak için bir yöntem önermişlerdir. $\tilde{\tilde{A}}_i$ üçgen aralık tip-2 bulanık sayı olmak üzere, $\tilde{\tilde{A}}_i$ 'nin durulaştırılmış değeri $D\text{TriT}(\tilde{\tilde{A}}_i)$ ile ifade edilmektedir. $D\text{TriT}(\tilde{\tilde{A}}_i)$ değerinin hesaplanması Denklem 2.42'de verilmektedir.

$$D\text{TriT}(\tilde{\tilde{A}}_i) = \frac{H(\tilde{A}_1^U) \frac{(a_{1_l}^U + a_{1_m}^U + a_{1_r}^U)}{3}}{2} + \frac{H(\tilde{A}_1^L) \frac{(a_{1_l}^L + a_{1_m}^L + a_{1_r}^L)}{3}}{2} \quad (2.42)$$

2.6.2 Yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar

$\tilde{\tilde{B}}_i$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayısının üst kısmını $\tilde{B}_i^U$ sıradan yamuk bulanık sayısı, alt kısmını $\tilde{B}_i^L$ yamuk sıradan bulanık sayısı oluşturmak üzere $\tilde{\tilde{B}}_i$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayısının üst üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{B}_i^U}$ ve alt üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{B}_i^L}$ ile ifade edilir. $\tilde{B}_i^U$ sayısının referans noktaları $b_{i_1}^U, b_{i_2}^U, b_{i_3}^U, b_{i_4}^U$ ile yükseklikleri olan $b_{i_2}^U$ ve $b_{i_3}^U$ noktalarının üyelik dereceleri $H_1(\tilde{B}_i^U), H_2(\tilde{B}_i^U)$ olarak; $\tilde{B}_i^L$ sayısının referans noktaları $b_{i_1}^L, b_{i_2}^L, b_{i_3}^L, b_{i_4}^L$ ile yükseklikleri olan $b_{i_2}^L$ ve $b_{i_3}^L$ noktalarının üyelik dereceleri $H_1(\tilde{B}_i^L), H_2(\tilde{B}_i^L)$ olarak belirtilmesi durumunda $\tilde{\tilde{B}}_i$ sayısının referans noktaları $b_{i_1}^U, b_{i_2}^U, b_{i_3}^U, b_{i_4}^U, b_{i_1}^L, b_{i_2}^L, b_{i_3}^L, b_{i_4}^L$ ve yükseklikleri $H_1(\tilde{B}_i^U), H_2(\tilde{B}_i^U), H_1(\tilde{B}_i^L), H_2(\tilde{B}_i^L)$ ile ifade

edilir. $\tilde{\tilde{B}}_i$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayısının üyelik fonksiyonu Denklem 2.43–2.44’te verilmektedir (Lee ve Chen, 2008).

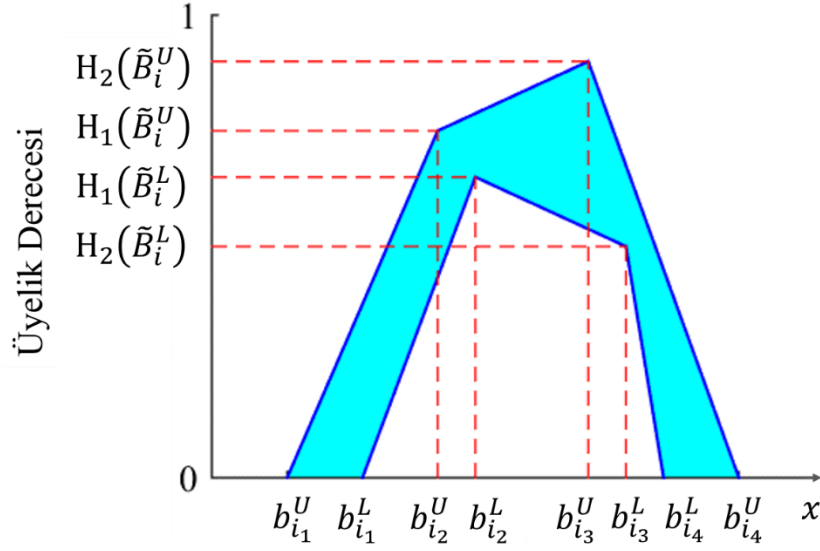
$$\mu_{\tilde{\tilde{B}}_i^U}(x) = \begin{cases} 0, x \leq b_{i_1}^U \\ H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^U) \frac{(x - b_{i_1}^U)}{(b_{i_2}^U - b_{i_1}^U)}, b_{i_1}^U \leq x \leq b_{i_2}^U \\ H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^U) + \frac{(H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^U) - H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^U))(x - b_{i_2}^U)}{(b_{i_3}^U - b_{i_2}^U)}, b_{i_2}^U \leq x \leq b_{i_3}^U, H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^U) \leq H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^U) \\ H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^U) + \frac{(H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^U) - H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^U))(b_{i_3}^U - x)}{(b_{i_3}^U - b_{i_2}^U)}, b_{i_2}^U \leq x \leq b_{i_3}^U, H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^U) \geq H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^U) \\ H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^U) \frac{(b_{i_4}^U - x)}{(b_{i_4}^U - b_{i_3}^U)}, b_{i_3}^U \leq x \leq b_{i_4}^U \\ 0, x \geq b_{i_4}^U \end{cases} \quad (2.43)$$

$$\mu_{\tilde{\tilde{B}}_i^L}(x) = \begin{cases} 0, x \leq b_{i_1}^L \\ H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^L) \frac{(x - b_{i_1}^L)}{(b_{i_2}^L - b_{i_1}^L)}, b_{i_1}^L \leq x \leq b_{i_2}^L \\ H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^L) + \frac{(H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^L) - H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^L))(x - b_{i_2}^L)}{(b_{i_3}^L - b_{i_2}^L)}, b_{i_2}^L \leq x \leq b_{i_3}^L, H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^L) \leq H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^L) \\ H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^L) + \frac{(H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^L) - H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^L))(b_{i_3}^L - x)}{(b_{i_3}^L - b_{i_2}^L)}, b_{i_2}^L \leq x \leq b_{i_3}^L, H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^L) \geq H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^L) \\ H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^L) \frac{(b_{i_4}^L - x)}{(b_{i_4}^L - b_{i_3}^L)}, b_{i_3}^L \leq x \leq b_{i_4}^L \\ 0, x \geq b_{i_4}^L \end{cases} \quad (2.44)$$

$\tilde{\tilde{B}}_i$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayısının gösterimi Denklem 2.45’te verilmiştir. Denklem 2.45’te $i = 1, 2$ için $\tilde{\tilde{B}}_1$ ve $\tilde{\tilde{B}}_2$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar olmak üzere $k \in \mathbb{R} | k > 0$ ve $n \in \mathbb{N} | n > 0$ için aritmetik işlemler Denklem 2.46-2.53’te gösterilmiştir (Lee ve Chen, 2008).

$$\tilde{\tilde{B}}_i = (\tilde{\tilde{B}}_i^U, \tilde{\tilde{B}}_i^L) = \left((b_{i_1}^U, b_{i_2}^U, b_{i_3}^U, b_{i_4}^U; H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^U), H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^U)), \right. \\ \left. (b_{i_1}^L, b_{i_2}^L, b_{i_3}^L, b_{i_4}^L; H_1(\tilde{\tilde{B}}_i^L), H_2(\tilde{\tilde{B}}_i^L)) \right) \quad (2.45)$$

$\tilde{\tilde{B}}_i$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayısının referans noktaları ve üyelik fonksiyonu Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Yamuk aralık tip-2 bulanık sayı.

Toplama işlemi:

$$\begin{aligned} \tilde{\tilde{B}}_1 \oplus \tilde{\tilde{B}}_2 = & \left((b_{1_1}^U + b_{2_1}^U, b_{1_2}^U + b_{2_2}^U, b_{1_3}^U + b_{2_3}^U, b_{1_4}^U + b_{2_4}^U; \right. \\ & \text{enk}(H_1(\tilde{B}_1^U), H_1(\tilde{B}_2^U)), \text{enk}(H_2(\tilde{B}_1^U), H_2(\tilde{B}_2^U))), \\ & (b_{1_1}^L + b_{2_1}^L, b_{1_2}^L + b_{2_2}^L, b_{1_3}^L + b_{2_3}^L, b_{1_4}^L + b_{2_4}^L; \\ & \left. \text{enk}(H_1(\tilde{B}_1^L), H_1(\tilde{B}_2^L)), \text{enk}(H_2(\tilde{B}_1^L), H_2(\tilde{B}_2^L))) \right) \end{aligned} \quad (2.46)$$

Çıkarma işlemi:

$$\begin{aligned} \tilde{\tilde{B}}_1 \ominus \tilde{\tilde{B}}_2 = & \left((b_{1_1}^U - b_{2_1}^U, b_{1_2}^U - b_{2_2}^U, b_{1_3}^U - b_{2_3}^U, b_{1_4}^U - b_{2_4}^U; \right. \\ & \text{enk}(H_1(\tilde{B}_1^U), H_1(\tilde{B}_2^U)), \text{enk}(H_2(\tilde{B}_1^U), H_2(\tilde{B}_2^U))), \\ & (b_{1_1}^L - b_{2_1}^L, b_{1_2}^L - b_{2_2}^L, b_{1_3}^L - b_{2_3}^L, b_{1_4}^L - b_{2_4}^L; \\ & \left. \text{enk}(H_1(\tilde{B}_1^L), H_1(\tilde{B}_2^L)), \text{enk}(H_2(\tilde{B}_1^L), H_2(\tilde{B}_2^L))) \right) \end{aligned} \quad (2.47)$$

Çarpma işlemi:

$$\begin{aligned} \tilde{\tilde{B}}_1 \otimes \tilde{\tilde{B}}_2 \cong & \left((b_{1_1}^U \times b_{2_1}^U, b_{1_2}^U \times b_{2_2}^U, b_{1_3}^U \times b_{2_3}^U, b_{1_4}^U \times b_{2_4}^U; \right. \\ & \text{enk}(H_1(\tilde{B}_1^U), H_1(\tilde{B}_2^U)), \text{enk}(H_2(\tilde{B}_1^U), H_2(\tilde{B}_2^U))), \\ & (b_{1_1}^L \times b_{2_1}^L, b_{1_2}^L \times b_{2_2}^L, b_{1_3}^L \times b_{2_3}^L, b_{1_4}^L \times b_{2_4}^L; \\ & \left. \text{enk}(H_1(\tilde{B}_1^L), H_1(\tilde{B}_2^L)), \text{enk}(H_2(\tilde{B}_1^L), H_2(\tilde{B}_2^L))) \right) \end{aligned} \quad (2.48)$$

Bölme işlemi:

$$\begin{aligned}\tilde{\tilde{B}}_1 \oslash \tilde{\tilde{B}}_2 \cong & \left((b_{1_1}^U/b_{2_1}^U, b_{1_2}^U/b_{2_2}^U, b_{1_3}^U/b_{2_3}^U, b_{1_4}^U/b_{2_4}^U ; \right. \\ & \text{enk}(H_1(\tilde{B}_1^U), H_1(\tilde{B}_2^U)), \text{enk}(H_2(\tilde{B}_1^U), H_2(\tilde{B}_2^U))), \\ & (b_{1_1}^L/b_{2_1}^L, b_{1_2}^L/b_{2_2}^L, b_{1_3}^L/b_{2_3}^L, b_{1_4}^L/b_{2_4}^L ; \\ & \left. \text{enk}(H_1(\tilde{B}_1^L), H_1(\tilde{B}_2^L)), \text{enk}(H_2(\tilde{B}_1^L), H_2(\tilde{B}_2^L))) \right) \end{aligned} \quad (2.49)$$

Tersini alma işlemi

$$\begin{aligned}\frac{1}{\tilde{\tilde{B}}_1} \cong & \left(\left(\frac{1}{b_{1_1}^U}, \frac{1}{b_{1_2}^U}, \frac{1}{b_{1_3}^U}, \frac{1}{b_{1_4}^U} ; H_1(\tilde{B}_1^U), H_2(\tilde{B}_1^U) \right), \right. \\ & \left. \left(\frac{1}{b_{1_1}^L}, \frac{1}{b_{1_2}^L}, \frac{1}{b_{1_3}^L}, \frac{1}{b_{1_4}^L} ; H_1(\tilde{B}_1^L), H_2(\tilde{B}_1^L) \right) \right) \end{aligned} \quad (2.50)$$

Skaler çarpma işlemi

$$\begin{aligned}k\tilde{\tilde{B}}_1 = & \left((k \times b_{1_1}^U, k \times b_{1_2}^U, k \times b_{1_3}^U, k \times b_{1_4}^U ; H_1(\tilde{B}_1^U), H_2(\tilde{B}_1^U)), \right. \\ & \left. (k \times b_{1_1}^L, k \times b_{1_2}^L, k \times b_{1_3}^L, k \times b_{1_4}^L ; H_1(\tilde{B}_1^L), H_2(\tilde{B}_1^L)) \right) \end{aligned} \quad (2.51)$$

Üs alma işlemi

$$\begin{aligned}(\tilde{\tilde{B}}_1)^n \cong & \left(((b_{1_1}^U)^n, (b_{1_2}^U)^n, (b_{1_3}^U)^n, (b_{1_4}^U)^n ; H_1(\tilde{B}_1^U), H_2(\tilde{B}_1^U)), \right. \\ & \left. ((b_{1_1}^L)^n, (b_{1_2}^L)^n, (b_{1_3}^L)^n, (b_{1_4}^L)^n ; H_1(\tilde{B}_1^L), H_2(\tilde{B}_1^L)) \right) \end{aligned} \quad (2.52)$$

Kök alma işlemi

$$\begin{aligned}\sqrt[n]{\tilde{\tilde{B}}_1} \cong & \left(\left(\sqrt[n]{b_{1_1}^U}, \sqrt[n]{b_{1_2}^U}, \sqrt[n]{b_{1_3}^U}, \sqrt[n]{b_{1_4}^U} ; H_1(\tilde{B}_1^U), H_2(\tilde{B}_1^U) \right), \right. \\ & \left. \left(\sqrt[n]{b_{1_1}^L}, \sqrt[n]{b_{1_2}^L}, \sqrt[n]{b_{1_3}^L}, \sqrt[n]{b_{1_4}^L} ; H_1(\tilde{B}_1^L), H_2(\tilde{B}_1^L) \right) \right) \end{aligned} \quad (2.53)$$

2.6.2.1 Yamuk aralık tip-2 bulanık sayıların sıralanması

Lee ve Chen (2008) yamuk aralık tip-2 bulanık sayıları sıralamak için bir yöntem önermişlerdir. $\tilde{\tilde{B}}_i$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayı olmak üzere, $\tilde{\tilde{B}}_i$ 'nin göreceli

büyüklüğü $\text{Rank}(\tilde{\tilde{B}}_i)$ ile ifade edilmektedir. $\text{Rank}(\tilde{\tilde{B}}_i)$ değerinin hesaplanması Denklem 2.54’de verilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Rank}(\tilde{\tilde{B}}_i) = & M_1(\tilde{B}_i^U) + M_1(\tilde{B}_i^L) + M_2(\tilde{B}_i^U) + M_2(\tilde{B}_i^L) + M_3(\tilde{B}_i^U) \\ & + M_3(\tilde{B}_i^L) - \frac{1}{4}(S_1(\tilde{B}_i^U) + S_1(\tilde{B}_i^L) + S_2(\tilde{B}_i^U) + S_2(\tilde{B}_i^L) \\ & + S_3(\tilde{B}_i^U) + S_3(\tilde{B}_i^L) + S_4(\tilde{B}_i^U) + S_4(\tilde{B}_i^L)) + H_1(\tilde{B}_i^U) \\ & + H_1(\tilde{B}_i^L) + H_2(\tilde{B}_i^U) + H_2(\tilde{B}_i^L) \end{aligned} \quad (2.54)$$

$M_p(\tilde{B}_i^j)$, $b_{i_p}^j$ ve $b_{i_{(p+1)}}^j$ elemanlarının ortalamasını belirtmektedir. $1 \leq p \leq 3$ ve $j \in \{U, L\}$ için $M_p(\tilde{B}_i^j)$ Denklem 2.55 kullanılarak bulunur.

$$M_p(\tilde{B}_i^j) = \frac{b_{i_p}^j + b_{i_{(p+1)}}^j}{2} \quad (2.55)$$

$S_q(\tilde{B}_i^j)$, $b_{i_p}^j$ ve $b_{i_{(p+1)}}^j$ elemanlarının standart sapmasını belirtmektedir. $1 \leq p \leq 3$, $1 \leq q \leq 3$ ve $j \in \{U, L\}$ için $S_q(\tilde{B}_i^j)$ Denklem 2.56 kullanılarak hesaplanır.

$$S_q(\tilde{B}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} \left(b_{i_k}^j - \frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} b_{i_k}^j \right)^2} \quad (2.56)$$

$S_4(\tilde{B}_i^j)$ $b_{i_1}^j$, $b_{i_2}^j$, $b_{i_3}^j$ ve $b_{i_4}^j$ elemanlarının standart sapmasını belirtmektedir. $j \in \{U, L\}$ için $S_4(\tilde{B}_i^j)$ Denklem 2.57 kullanılarak bulunur.

$$S_4(\tilde{B}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 \left(b_{i_k}^j - \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 b_{i_k}^j \right)^2} \quad (2.57)$$

$H_p(\tilde{B}_i^j)$, $j \in \{U, L\}$ ve $1 \leq p \leq 2$ için $b_{i_{(p+1)}}^j$ elemanının üyelik derecesini belirtmektedir.

2.6.2.2 Yamuk aralık tip-2 bulanık sayıların durulaştırılması

Kahraman ve diğ. (2014) yamuk aralık tip-2 bulanık sayıları durulaştırmak için bir yöntem önermişlerdir. $\tilde{\tilde{B}}_i$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayı olmak üzere, $\tilde{\tilde{B}}_i$ ’nin

durulaştırılmış değeri $\text{DTraT}(\tilde{B}_i)$ ile ifade edilmektedir. $\text{DTraT}(\tilde{B}_i)$ değerinin hesaplanması Denklem 2.58’de verilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{DTraT}(\tilde{B}_i) = \frac{1}{2} & \left(\left(\frac{b_{1_1}^U + \text{enk}(H_1(\tilde{B}_i^U), H_2(\tilde{B}_i^U)) \times b_{1_2}^U}{4} \right. \right. \\ & + \frac{\text{enb}(H_1(\tilde{B}_i^U), H_2(\tilde{B}_i^U)) \times b_{1_3}^U + b_{1_4}^U}{4} \Bigg) \\ & + \left(\frac{b_{1_1}^L + \text{enk}(H_1(\tilde{B}_i^L), H_2(\tilde{B}_i^L)) \times b_{1_2}^L}{4} \right. \\ & \left. \left. + \frac{\text{enb}(H_1(\tilde{B}_i^L), H_2(\tilde{B}_i^L)) \times b_{1_3}^L + b_{1_4}^L}{4} \right) \right) \end{aligned} \quad (2.58)$$

2.7 Olabilirlik Teorisi

Olabilirlik teorisi, bulanık değişkenler ve olabilirlik dağılımları üzerinden belirsizliklerin modellenmesidir. Olasılık teorisinde rassal değişkenlere kullanılırken, olabilirlik teorisinde tam olmayan, belirsiz, eksik verilerden yararlanılır (Zadeh, 1978). Olabilirlik dağılımında, ξ değişkeni belirsizliği ifade etmek üzere X evrensel kümesinde bulunan her x elemanı için ilgili elemanın olabilirlik derecesi olan $\pi_\xi(x) \in [0,1]$ değeri tanımlanmaktadır. $\tilde{A}$ bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu olan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ kullanılarak olabilirlik dağılımı $\pi_\xi(x) = \mu_{\tilde{A}}(x)$ ile ifade edilmektedir. Bir durumun olamayacağı $\pi_\xi(x) = 0$ ve $\xi = x$ ile belirtilirken gerçekleşebilecek durumlar için $\pi_\xi(x) = 1$ ve $\xi = x$ kullanılır. X evrensel kümesindeki bütün elemanlar için ξ değişkeninin yalnızca bir tanesi gerçekleşecek değeri belirteceğinden dolayı en az bir x elemanı için $\pi_\xi(x) = 1$ ifadesi geçerlidir (Zadeh, 1978).

3. YENİLEME ANALİZİ

3.1 Yenileme Analizindeki Temel Kavramlar

3.1.1 Savunucu ve aday

Yenileme problemlerinde mevcut ekipman savunucu olarak ifade edilirken yenileme için piyasadaki en uygun ekipman aday olarak nitelendirilmektedir. Yenileme analizinde savunucu ve adaydan alınan hizmetin yani faydanın aynı olduğu kabul edilerek maliyetlerin enazlanması amaçlanmaktadır (Park, 2013).

3.1.2 Planlama ufku

Genel olarak bir hizmetin alınması gereken süre planlama ufkuyla ifade edilmektedir. Eğer bir hizmetin ne kadar süre boyunca alınacağına karar verilemiyorsa planlama ufkunun sonsuz olduğu varsayılır. Hizmet süresinin belli olduğu yenileme analizi problemleri gerçek hayat uygulamalarını daha iyi temsil etmektedir (Park, 2013).

3.1.3 Piyasa değeri ve batmış maliyetler

Batmış maliyetler bir varlığın geçmişteki harcamaları ile ilgilidir. Bir ekipmanın yenilenmesi veya tutulması kararı alınırken geçmişteki harcamalar dikkate alınmaz. Hesaba katılması gereken değerler günümüzdeki ve gelecekteki piyasa değerleri ile işletme maliyetleridir (Park, 2013).

3.1.4 Toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti

İlk yatırım bedeli, işletme maliyeti ve hurda değeri kazancının kullanım süresi boyunca her dönem için düzgün ödeme değeri toplamı, toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti olarak belirtilir. Toplam düzgün eşdeğer ödeme maliyeti kullanılarak farklı kullanım ömürlerine sahip savunucu ve aday arasında, kullanım ömürlerinin en küçük ortak katı alınmadan kıyaslama yapılabilir (Blank ve Tarquin, 2012).

3.1.5 Ekonomik kullanım ömrü

Bir ekipmanın satın alınması ve kullanılması sonucundaki en düşük toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetinin elde edildiği kullanım süresi, ekonomik kullanım ömrü ile ifade edilmektedir (Blank ve Tarquin, 2012).

3.1.6 Teknolojinin ilerlemesi

Sonsuz planlama ufkunda aynı hizmetin alınabileceği savunucunun ve adayın piyasa değerindeki ve yıllık işletme maliyetindeki değişimin kullanım süresi boyunca tekrar ederek aynı kalacağı ve gelecekte daha gelişmiş bir adayın olmayacağı yani bütün adayların aynı kalacağı varsayımında bulunulur. Bu varsayımda teknolojideki değişimler ihmal edilmiştir. Ancak gerçek hayatta genellikle teknolojinin ilerlemesiyle piyasadaki ekipmanlar daha etkin hale gelerek, işletme maliyetleri ve ilk yatırım maliyeti azalmaktadır. Gelecekte daha gelişmiş ekipmanların piyasaya çıkacağının muhtemel olması dolayısıyla ileriki dönemlerde mevcut adaydan daha gelişmiş bir aday bulunabilir. Teknolojideki değişimlerin dikkate alınabilmesi için savunucunun yenilenebileceği en uygun aday ve bu adaya ait piyasa değerleri ve işletme maliyetleri her dönem güncellenerek yenileme analizi tekrarlanmalıdır (Park, 2013).

3.1.7 Savunucunun güncel maliyetleri

Gelecekte savunucunun piyasa değeri ve işletme maliyeti teknolojideki değişimler, öngörülemez eskime ve onlarım maliyetleri gibi etkenlerden dolayı değişebilmektedir. Savunucunun piyasa değerindeki azalma ve işletme maliyetlerindeki artış şiddetlenebileceğinden dolayı mevcut ekipmanın beklenen durumdan daha erken değiştirilmesi gerekebilir. Bu yüzden yenileme analizi, savunucunun piyasa değeri ve maliyetleri her dönem güncellenerek tekrarlanmalıdır.

3.2 Ekonomik Kullanım Ömrünün Belirlenmesi

Genellikle bir ekipman satın alındığında, ekipmanın ne kadar süre kullanılacağına karar verilmemektedir. Yenileme analizinde özel durumlar dışında bir ekipmanın işletme maliyetlerinin kullanım süresi boyunca artacağı ve piyasa değerinin azalacağını kabul edilerek, ekipmanın kalan kullanım ömrü yerine ekonomik kullanım ömrü kavramı dikkate alınmaktadır. Aynı hizmeti sağlayan savunucu ve adayın ekonomik kullanım ömrünü belirleyebilmek için hurda değeri olarak kullanılacak olan

her yıl için piyasa değerlerinin ve yıllık işletme maliyetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yenileme problemlerinde, savunucu ve adayın en tercih edilen durum olan en düşük toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetine katlanılarak kullanılması durumuyla ilgilenildiğinden dolayı ekonomik kullanım ömrü kullanılır. Bir ekipmanın k yıl kullanılmasının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti olan $EUAC_k$ Denklem 3.1 yardımıyla hesaplanır (Blank ve Tarquin, 2012).

$$EUAC_k = CR_k + EAO C_k \quad (3.1)$$

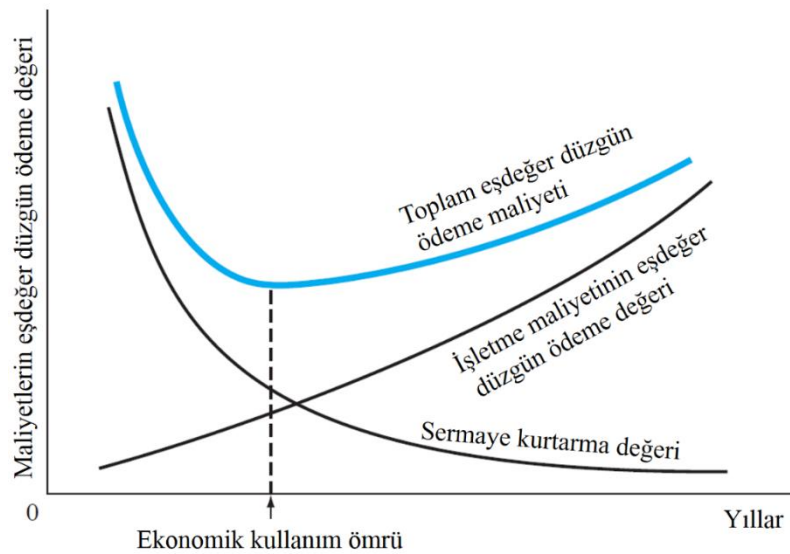
Burada ekipmanın k yıl tutulmasının sermaye kurtarma değeri CR_k ve işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri $EAO C_k$ ile belirtilmektedir. İlk yatırım maliyeti olan FC ve k . yıldaki hurda değerini belirten SV_k kullanılarak ekipmanın k yıl tutulmasının sermaye kurtarma değeri Denklem 3.2 ile hesaplanır (Blank ve Tarquin, 2012).

$$CR_k = -FC(A/P, i, k) + SV_k(A/F, i, k) \quad (3.2)$$

Ekipmanın k yıl tutulmasının işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri, ekipmanın j . yıldaki işletme maliyetini belirten AOC_j kullanılarak, Denklem 3.3 ile hesaplanır (Blank ve Tarquin, 2012).

$$EAO C_k = \left(\sum_{j=1}^k AOC_j(P/F, i, j) \right) (A/P, i, k) \quad (3.3)$$

Ekonomik kullanım ömrü, sermaye kurtarma değeri, işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri ve toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti Şekil 3.1’de gösterilmiştir (Blank ve Tarquin, 2012).



Şekil 3.1 : Ekonomik kullanım ömrü.

3.3 Yenileme Kararları

Yenileme kararları alınırken iki durum hakkında karar verilmesi gerekmektedir. İlk durum bir ekipmanın piyasada aynı hizmeti verebilecek daha gelişmiş bir adayla yenilenmesine gerek olup olmadığıdır. İkinci durum ise eğer mevcut ekipmanın yenilenmesine karar verilirse ne zaman yenilenmesi gerektiğidir. Genellikle kullanımda olan ekipmanların kullanım ömrü boyunca işletme maliyetleri artarak piyasa değeri azalacağından ilk durum için savunucunun yakın gelecekte bir adayla yenilenmesi gerekir. Ancak ikinci durumda eğer planlama ufku belirli değilse yenilemenin ne zaman yapılması gerektiğini belirlemek için savunucu ve adayın ekonomik kullanım ömrünün belirlenerek, savunucu ve adayın ekonomik kullanım ömründeki toplam yıllık maliyetin karşılaştırılması gerekir. Planlama ufkunun belirli olduğu durumlarda ise bütün alternatifler için şimdiki değer analizi yapılarak en düşük maliyetli alternatif seçilmelidir (Demircan, 2004).

3.3.1 Sonsuz planlama döneminde yenileme stratejileri

Teknolojideki değişimin ihmal edildiği durumlarda aday olabilecek bir ekipmanın her dönem satın alınabileceği ve ilk yatırım maliyetinin ve piyasa değerinin sadece ekipmanın kullanım süresine bağlı olduğu kabul edilir. Bu durumda savunucu ve adayın sonsuz bir sürede ekonomik kullanım ömrü kadar kullanılıp satıldıktan sonra yeniden satın alınacağı varsayılmaktadır (Park, 2013).

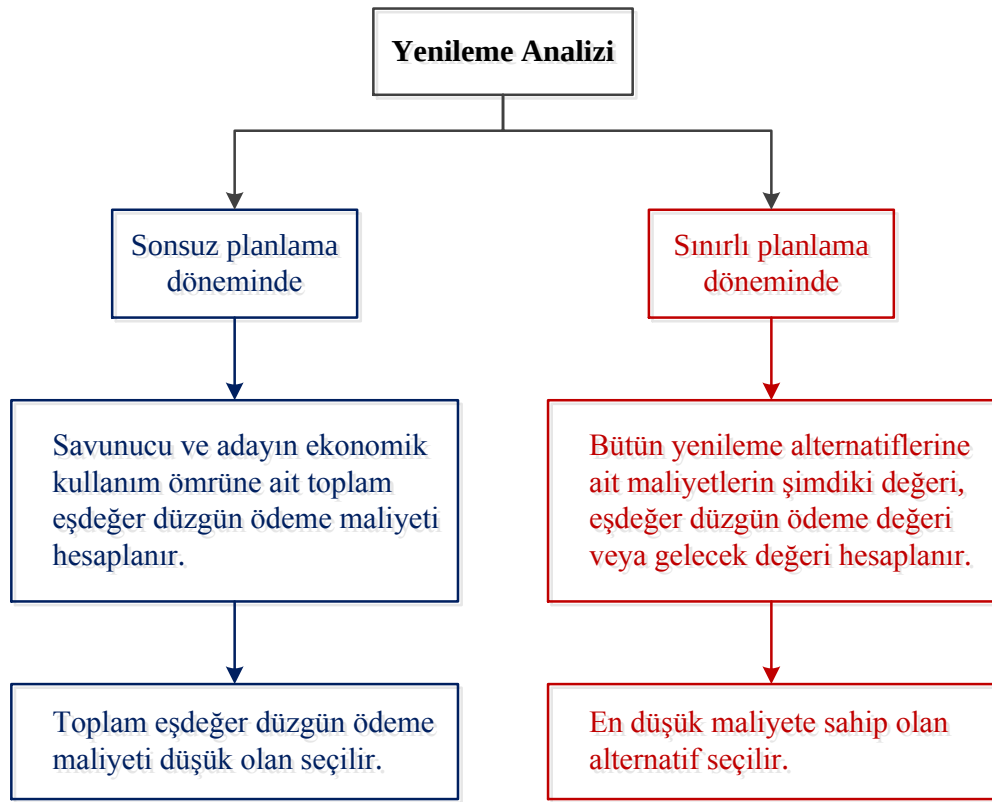
3.3.2 Sınırlı planlama döneminde yenileme stratejileri

Alınması gereken hizmet süresinin belirli olduğu durumlar için yapılan yenileme analizinde bütün yenileme durumları sıralanarak her alternatif için şimdiki değer analizi yapılır. En düşük maliyetli yenileme alternatifine göre savunucunun yenilenmesi gerekiyorsa ne zaman yenilenmesi gerektiğine karar verilir (Park, 2013).

3.4 Savunucu Ve Adayın Karşılaştırılması

Yenileme kararlarının doğru olarak verilebilmesi için teknolojideki değişimler ve öngörülemeyen eskime ve arıza durumlarını dikkate alabilmek için yenileme analizinin her dönem savunucu ve adayın güncellenen piyasa değerleri ve işletme maliyetleri kullanılarak tekrarlanması gerekir. Yenileme analizinde kullanılacak güncel piyasa değerleri ve işletme maliyetleri belirlenirken sadece gelecekteki değerler

dikkate alınmalıdır dolayısıyla geçmişteki değerler veya batmış maliyetler kullanılmamalıdır. Yenileme problemlerinde savunucunun ve adayının ekonomik kullanım süreleri farklı olabilir. Eşdeğer düzgün ödeme yöntemi, hem farklı ekonomik kullanım sürelerindeki yıllık maliyetlerin değerlendirilmesi hem de sonsuz planlama ufku içerisindeki yenileme problemlerinde savunucu ve adaya ait nakit akışlarının ekonomik kullanım süresi boyunca tekrar etmesi durumundaki yenileme kararlarının alınması durumlarında karar vericiye kolaylık sağlamaktadır. Şekil 3.2’de sonsuz planlama döneminde ve sınırlı planlama döneminde yenileme analizi için akış diyagramı verilmiştir (Blank ve Tarquin, 2012).



Şekil 3.2 : Yenileme kararının alınması.

3.5 Nakit Akışı Ve Fırsat Maliyeti Yaklaşımı

Yenileme analizi yapılırken nakit akışı yaklaşımı ve fırsat maliyeti yaklaşımı kullanılabilir. Nakit akışı yaklaşımında savunucu ve adayın piyasa değerleri ve işletme maliyetleri birbirinden ayrı şekilde ele alınarak ve toplam yıllık işletme maliyetleri eşdeğer düzgün ödeme analizi veya şimdiki değer analizi kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Fırsat maliyeti yaklaşımında ise savunucunun hurda değeri, savunucuyu tutmak için gereken fazladan bir yatırım olarak ele alınarak bu değer

savunucunun toplam yıllık maliyetinden çıkarılmak yerine adayın ilk yatırım maliyetinden çıkarılmaktadır. Bu durumda hesaplanan savunucu ve adayın toplam yıllık işletme maliyetleri eşdeğer düzgün ödeme analizi veya şimdiki değer analizi kullanılarak karşılaştırılmaktadır (Park, 2013).

3.6 Yenileme Analizi Örneği

Faiz oranının %9 olduğu piyasa koşullarında bir ekipmana ait piyasa değerleri ve işletme maliyetleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Ekipmanın yıllara göre sermaye kurtarma değerini, işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini ve toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini hesaplayarak ekonomik kullanım ömrünü belirleyiniz.

Çizelge 3.1 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.

Yıl	Piyasa Değeri (TL)	İşletme Maliyeti (TL)
1	80000	-10000
2	65500	-12500
3	55500	-15000
4	45000	-20500
5	30500	-25500

Ekipmanın k yıl kullanılmasının sermaye kurtarma değerini belirten CR_k değeri Denklem 3.1 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 CR_1 &= -100000(A/P, 9\%, 1) + 80000(A/F, 9\%, 1) \\
 &= -100000 \times \left(\frac{0.09 \times (1 + 0.09)^1}{(1 + 0.09)^1 - 1} \right) + 80000 \times \left(\frac{0.09}{(1 + 0.09)^1 - 1} \right) \\
 &= -29000 \text{ TL} \\
 CR_2 &= -100000(A/P, 9\%, 2) + 65500(A/F, 9\%, 2) \\
 &= -100000 \times \left(\frac{0.09 \times (1 + 0.09)^2}{(1 + 0.09)^2 - 1} \right) + 65500 \times \left(\frac{0.09}{(1 + 0.09)^2 - 1} \right) \\
 &= -25507 \text{ TL} \\
 CR_3 &= -100000(A/P, 9\%, 3) + 55500(A/F, 9\%, 3) \\
 &= -100000 \times \left(\frac{0.09 \times (1 + 0.09)^3}{(1 + 0.09)^3 - 1} \right) + 55500 \times \left(\frac{0.09}{(1 + 0.09)^3 - 1} \right)
 \end{aligned}$$

$$= -22575 \text{ TL}$$

$$CR_4 = -100000(A/P, 9\%, 4) + 45000(A/F, 9\%, 4)$$

$$= -100000 \times \left(\frac{0.09 \times (1 + 0.09)^4}{(1 + 0.09)^4 - 1} \right) + 45000 \times \left(\frac{0.09}{(1 + 0.09)^4 - 1} \right)$$

$$= -21027 \text{ TL}$$

$$CR_5 = -100000(A/P, 9\%, 5) + 30500(A/F, 9\%, 5)$$

$$= -100000 \times \left(\frac{0.09 \times (1 + 0.09)^5}{(1 + 0.09)^5 - 1} \right) + 30500 \times \left(\frac{0.09}{(1 + 0.09)^5 - 1} \right)$$

$$= -20613 \text{ TL}$$

Ekipmanın k yıl kullanılmasının işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $EAOC_k$ değeri Denklem 3.2 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$EAOC_1 = -10000 \text{ TL}$$

$$EAOC_2 = -(10000(P/F, 9\%, 1) + 12500(P/F, 9\%, 2))(A/P, 9\%, 2)$$

$$= -\left(\frac{10000}{1.09^1} + \frac{12500}{1.09^2} \right) \left(\frac{0.09 \times (1 + 0.09)^2}{(1 + 0.09)^2 - 1} \right)$$

$$= -11196 \text{ TL}$$

$$EAOC_3 = -(10000(P/F, 9\%, 1) + 12500(P/F, 9\%, 2)$$

$$+ 15000(P/F, 9\%, 3))(A/P, 9\%, 3)$$

$$= -\left(\frac{10000}{1.09^1} + \frac{12500}{1.09^2} + \frac{15000}{1.09^3} \right) \left(\frac{0.09 \times (1 + 0.09)^3}{(1 + 0.09)^3 - 1} \right)$$

$$= -12357 \text{ TL}$$

$$EAOC_4 = -(10000(P/F, 9\%, 1) + 12500(P/F, 9\%, 2)$$

$$+ 15000(P/F, 9\%, 3) + 20500(P/F, 9\%, 4))(A/P, 9\%, 4)$$

$$= -\left(\frac{10000}{1.09^1} + \frac{12500}{1.09^2} + \frac{15000}{1.09^3} + \frac{20500}{1.09^4} \right) \left(\frac{0.09 \times (1 + 0.09)^4}{(1 + 0.09)^4 - 1} \right)$$

$$= -14137 \text{ TL}$$

$$\begin{aligned}
EAOC_5 &= -(10000(P/F, 9\%, 1) + 12500(P/F, 9\%, 2) \\
&\quad + 15000(P/F, 9\%, 3) + 20500(P/F, 9\%, 4) \\
&\quad + 25500(P/F, 9\%, 5))(A/P, 9\%, 5) \\
&= -\left(\frac{10000}{1.09^1} + \frac{12500}{1.09^2} + \frac{15000}{1.09^3} + \frac{20500}{1.09^4} \right. \\
&\quad \left. + \frac{25500}{1.09^5}\right)\left(\frac{0.09 \times (1 + 0.09)^5}{(1 + 0.09)^5 - 1}\right) \\
&= -16036 \text{ TL}
\end{aligned}$$

Ekipmanın k yıl kullanılmasının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $EUAC_k$ değeri Denklem 3.3 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanarak Çizelge 3.2 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.2 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.

Yıl (k)	CR_k	$EAOC_k$	$EUAC_k$
1	-29000	-10000	-39000
2	-25507	-11196	-36703
3	-22575	-12357	-34932
4	-21027	-14137	-35164
5	-20613	-16036	-36649

Ekipmanın en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyeti olan 34932 TL 3. yılda olduğundan ekonomik kullanım ömrü 3 yıldır. Yenileme kararının doğru olarak alınabilmesi için teknolojiadaki değişimler, öngörülemeyen eskime ve arıza durumları da dikkate alınarak yenileme analizinin ekipmanın güncellenen piyasa değerleri ve işletme maliyetleri kullanılarak tekrarlanması gerekir.

4. ARALIK TİP-2 BULANIK YATIRIM ANALİZİ

Aralık tip-2 bulanık faiz oranı, dönemsel nakit akışı, ilk yatırım maliyeti, net şimdiki değer ve eşdeğer düzgün ödeme değeri verileri matris formunda ele alınarak yatırım analizi hesaplamalarının düzenli bir şekilde yapılabilmesi ve geliştirilen modelin farklı problem büyüklüklerine adapte olması sağlanmıştır.

4.1 Üçgen Aralık Tip-2 Bulanık Yatırım Analizi

4.1.1 Faiz oranı

Üçgen aralık tip-2 bulanık faiz oranını belirten $\tilde{\mathbf{I}}$, $n \times 8$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.1’de verilmektedir.

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} i_{1l}^U & i_{1m}^U & i_{1r}^U & H_{1i}^U & i_{1l}^L & i_{1m}^L & i_{1r}^L & H_{1i}^L \\ i_{2l}^U & i_{2m}^U & i_{2r}^U & H_{2i}^U & i_{2l}^L & i_{2m}^L & i_{2r}^L & H_{2i}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{tl}^U & i_{tm}^U & i_{tr}^U & H_{ti}^U & i_{tl}^L & i_{tm}^L & i_{tr}^L & H_{ti}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{nl}^U & i_{nm}^U & i_{nr}^U & H_{ni}^U & i_{nl}^L & i_{nm}^L & i_{nr}^L & H_{ni}^L \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$\tilde{\mathbf{I}}^U$ ve $\tilde{\mathbf{I}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren $n \times 4$ boyutunda matrisler olmak üzere $\tilde{\mathbf{I}}$ matrisi Denklem 4.2 ile ifade edilmektedir.

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}}^U & \tilde{\mathbf{I}}^L \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$\mathbf{i}_l^U, \mathbf{i}_m^U, \mathbf{i}_r^U, \mathbf{H}_i^U, \mathbf{i}_l^L, \mathbf{i}_m^L, \mathbf{i}_r^L, \mathbf{H}_i^L$ n boyutunda vektörler olmak üzere $\tilde{\mathbf{I}}$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 4.3’te tanımlanmaktadır.

$$\tilde{\mathbf{I}} = [\mathbf{i}_l^U \quad \mathbf{i}_m^U \quad \mathbf{i}_r^U \quad \mathbf{H}_i^U \quad \mathbf{i}_l^L \quad \mathbf{i}_m^L \quad \mathbf{i}_r^L \quad \mathbf{H}_i^L] \quad (4.3)$$

t . dönemdeki üçgen aralık tip-2 bulanık faiz oranını belirten ve $\tilde{\mathbf{I}}$ matrisinin t . satırı olan $\tilde{\mathbf{i}}_t$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.4’de verilmektedir.

$$\tilde{\mathbf{i}}_t = [i_{tl}^U \quad i_{tm}^U \quad i_{tr}^U \quad H_{ti}^U \quad i_{tl}^L \quad i_{tm}^L \quad i_{tr}^L \quad H_{ti}^L] \quad (4.4)$$

$\tilde{\mathbf{I}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 4.5’teki biçimde ifade edilir.

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}}_1 \\ \tilde{\mathbf{I}}_2 \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{I}}_t \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{I}}_n \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

4.1.2 Dönemsel nakit akışı

Üçgen aralık tip-2 bulanık dönemsel nakit akışını belirten $\widetilde{\mathbf{CF}}$, $n \times 8$ boyutunda matris olmak Denklem 4.6'de verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{CF}} = \begin{bmatrix} cf_{1l}^U & cf_{1m}^U & cf_{1r}^U & H_{1cf}^U & cf_{1l}^L & cf_{1m}^L & cf_{1r}^L & H_{1cf}^L \\ cf_{2l}^U & cf_{2m}^U & cf_{2r}^U & H_{2cf}^U & cf_{2l}^L & cf_{2m}^L & cf_{2r}^L & H_{2cf}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cf_{tl}^U & cf_{tm}^U & cf_{tr}^U & H_{tcf}^U & cf_{tl}^L & cf_{tm}^L & cf_{tr}^L & H_{tcf}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cf_{nl}^U & cf_{nm}^U & cf_{nr}^U & H_{n cf}^U & cf_{nl}^L & cf_{nm}^L & cf_{nr}^L & H_{n cf}^L \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$\widetilde{\mathbf{CF}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{CF}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren $n \times 4$ boyutunda matrisler olmak üzere $\widetilde{\mathbf{CF}}$ matrisi Denklem 4.7 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{CF}} = [\widetilde{\mathbf{CF}}^U \quad \widetilde{\mathbf{CF}}^L] \quad (4.7)$$

$\mathbf{cf}_l^U, \mathbf{cf}_m^U, \mathbf{cf}_r^U, \mathbf{H}_{cf}^U, \mathbf{cf}_l^L, \mathbf{cf}_m^L, \mathbf{cf}_r^L, \mathbf{H}_{cf}^L$ n boyutunda vektörler olmak üzere $\widetilde{\mathbf{CF}}$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 4.8'de tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\mathbf{CF}} = [\mathbf{cf}_l^U \quad \mathbf{cf}_m^U \quad \mathbf{cf}_r^U \quad \mathbf{H}_{cf}^U \quad \mathbf{cf}_l^L \quad \mathbf{cf}_m^L \quad \mathbf{cf}_r^L \quad \mathbf{H}_{cf}^L] \quad (4.8)$$

t . dönemdeki üçgen aralık tip-2 bulanık dönemsel nakit akışını belirten ve $\widetilde{\mathbf{CF}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{\mathbf{cf}}_t$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.9'da verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{cf}}_t = [cf_{tl}^U \quad cf_{tm}^U \quad cf_{tr}^U \quad H_{tcf}^U \quad cf_{tl}^L \quad cf_{tm}^L \quad cf_{tr}^L \quad H_{tcf}^L] \quad (4.9)$$

$\widetilde{\mathbf{CF}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 4.10'teki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{cf}}}_1 \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{cf}}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{cf}}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{cf}}}_n \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

4.1.3 İlk yatırım maliyeti

$t = 0$ anındaki üçgen aralık tip-2 bulanık ilk yatırım maliyetini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.11'de verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}} = [FC_l^U \quad FC_m^U \quad FC_r^U \quad H_{FC}^U \quad FC_l^L \quad FC_m^L \quad FC_r^L \quad H_{FC}^L] \quad (4.11)$$

olarak gösterilir.

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}^U$ ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren 1×4 boyutunda matrisler olmak üzere $\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}$ matrisi Denklem 4.12 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}} = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}^L] \quad (4.12)$$

4.1.4 Net şimdiki değer

Sarı ve Kahraman (2015) üçgen aralık tip-2 bulanık net şimdiki değer analizini geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, t . dönemdeki nakit akışı $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_t = ((cf_{t_l}^U, cf_{t_m}^U, cf_{t_r}^U; H(\widetilde{\widetilde{cf}}_t^U)), (cf_{t_l}^L, cf_{t_m}^L, cf_{t_r}^L; H(\widetilde{\widetilde{cf}}_t^L)))$ ve faiz oranı $V\tilde{i} > 0$ için $\tilde{I}_t = ((i_{t_l}^U, i_{t_m}^U, i_{t_r}^U; H(\tilde{i}_t^U)), (i_{t_l}^L, i_{t_m}^L, i_{t_r}^L; H(\tilde{i}_t^L)))$ üçgen aralık tip-2 bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Denklem 4.13'te $\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}$ ile belirtilen üçgen aralık tip-2 bulanık net şimdiki değer verilmektedir.

$$\begin{aligned} \widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}} = & \left(\left(\sum_{t=1}^n \left(\frac{\text{enb}(cf_{t_l}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^U)} + \frac{\text{enk}(cf_{t_l}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_l}^U)} \right) + cf_{0_l}^U, \right. \right. \\ & \left. \left. \sum_{t=1}^n \left(\frac{cf_{t_m}^U}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_m}^U)} \right) + cf_{0_m}^U, \right. \right. \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_r}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_l}^U)} + \frac{enk(cf_{t_r}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^U)} \right) + cf_{0_r}^U; \\
& \text{enk}(H(\widetilde{cf}_t^U), H(\widetilde{i}_t^U))), \\
& \left(\sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_l}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^L)} + \frac{enk(cf_{t_l}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_l}^L)} \right) + cf_{0_l}^L, \right. \\
& \sum_{t=1}^n \left(\frac{cf_{t_m}^L}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_m}^L)} \right) + cf_{0_m}^L, \\
& \left. \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_r}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_l}^L)} + \frac{enk(cf_{t_r}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^L)} \right) + cf_{0_r}^L; \right. \\
& \left. \text{enk}(H(\widetilde{cf}_t^L), H(\widetilde{i}_t^L))) \right)
\end{aligned}$$

Üçgen aralık tip-2 bulanık net şimdiki değeri belirten $\widetilde{\mathbf{NPV}}$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.14 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{NPV}} = [\widetilde{\mathbf{NPV}}^U \quad \widetilde{\mathbf{NPV}}^L] \quad (4.14)$$

$\widetilde{\mathbf{NPV}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{NPV}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren 1×4 boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 4.15 ve Denklem 4.16'da verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{NPV}}^U = [NPV_l^U \quad NPV_m^U \quad NPV_r^U \quad H_{NPV}^U] \quad (4.15)$$

$$\widetilde{\mathbf{NPV}}^L = [NPV_l^L \quad NPV_m^L \quad NPV_r^L \quad H_{NPV}^L] \quad (4.16)$$

Denklem 4.13 yardımıyla, $\widetilde{\mathbf{NPV}}$ matrisinin elemanları Denklem 4.17-4.24 ile hesaplanır.

$$NPV_l^U = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_l}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^U)} + \frac{enk(cf_{t_l}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_l}^U)} \right) + FC_l^U \quad (4.17)$$

$$NPV_m^U = \sum_{t=1}^n \left(\frac{cf_{t_m}^U}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_m}^U)} \right) + FC_m^U \quad (4.18)$$

$$NPV_r^U = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_r}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^U)} + \frac{enk(cf_{t_r}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^U)} \right) + FC_r^U \quad (4.19)$$

$$H_{NPV}^U = enk(enk(enk(\mathbf{H}_f^U, \mathbf{H}_i^U)), H_{FC}^U) \quad (4.20)$$

$$NPV_l^L = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_l}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_l}^L)} + \frac{enk(cf_{t_l}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_l}^L)} \right) + FC_l^L \quad (4.21)$$

$$NPV_m^L = \sum_{t=1}^n \left(\frac{cf_{t_m}^L}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_m}^L)} \right) + FC_m^L \quad (4.22)$$

$$NPV_r^L = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_r}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^L)} + \frac{enk(cf_{t_r}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^L)} \right) + FC_r^L \quad (4.23)$$

$$H_{NPV}^L = enk(enk(enk(\mathbf{H}_f^L, \mathbf{H}_i^L)), H_{FC}^L) \quad (4.24)$$

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}$ ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{I}}}$ matrisi $n \times 8$ boyutunda, $\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}$ matrisi 1×8 boyutunda olmak üzere 1×8 boyutundaki $\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}$ matrisi NPV fonksiyonu kullanılarak Denklem 4.25 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}} = \text{NPV}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{I}}}) \quad (4.25)$$

4.1.5 Eşdeğer düzgün ödeme değeri

Sarı ve Kahraman (2015) üçgen aralık tip-2 eşdeğer düzgün ödeme analizini geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, net şimdiki değeri $\widetilde{\widetilde{NPV}} = ((NPV_l^U, NPV_m^U, NPV_r^U; H(\widetilde{NPV}^U)), (NPV_l^L, NPV_m^L, NPV_r^L; H(\widetilde{NPV}^L)))$ ve bütün dönemlerde aynı olan faiz oranı $\tilde{i} > 0$ için $\tilde{i} = ((i_l^U, i_m^U, i_r^U; H(\tilde{i}^U)), (i_l^L, i_m^L, i_r^L; H(\tilde{i}^L)))$, üçgen aralık tip-2 bulanık sayılarıyla ifade edilmiştir. Denklem 4.26'da $\widetilde{\widetilde{EU\ddot{A}V}}$ ile belirtilen üçgen aralık tip-2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme değeri verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{EU\ddot{A}V}} = \left(\left(NPV_l^U \frac{(1 + i_r^U)^n i_r^U}{(1 + i_r^U)^n - 1}, NPV_m^U \frac{(1 + i_m^U)^n i_m^U}{(1 + i_m^U)^n - 1} \right. \right. \quad (4.26)$$

$$NPV_r^U \frac{(1+i_l^U)^n i_l^U}{(1+i_l^U)^n - 1}; \text{enk}(\text{H}(\widetilde{NPV}^U), \text{H}(\tilde{i}^U)))$$

$$\left(NPV_l^L \frac{(1+i_r^L)^n i_r^L}{(1+i_r^L)^n - 1}, NPV_m^L \frac{(1+i_m^L)^n i_m^L}{(1+i_m^L)^n - 1}, \right.$$

$$\left. NPV_r^L \frac{(1+i_l^L)^n i_l^L}{(1+i_l^L)^n - 1}; \text{enk}(\text{H}(\widetilde{NPV}^L), \text{H}(\tilde{i}^L))) \right)$$

Üçgen aralık tip-2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\mathbf{EUAV}}$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.27 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EUAV}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{EUAV}}^U & \widetilde{\mathbf{EUAV}}^L \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

$\widetilde{\mathbf{EUAV}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{EUAV}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren 1×4 boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 4.28 ve Denklem 4.29'da verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EUAV}}^U = [EUAV_l^U \quad EUAV_m^U \quad EUAV_r^U \quad H_{EUAV}^U] \quad (4.28)$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAV}}^L = [EUAV_l^L \quad EUAV_m^L \quad EUAV_r^L \quad H_{EUAV}^L] \quad (4.29)$$

1. dönem ile n. dönemi kapsayan üçgen aralık tip-2 bulanık ortalama faiz oranının referans noktaları geometrik ortalama kullanılarak, üyelik derecelerinin ise en küçük değeri alınarak Denklem 4.30-4.37 ile hesaplanır.

$$i_l^U = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_l}^U \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.30)$$

$$i_m^U = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_m}^U \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.31)$$

$$i_r^U = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_r}^U \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.32)$$

$$H_i^U = \text{enk}(\mathbf{H}_i^U) \quad (4.33)$$

$$i_t^L = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_l}^L \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.34)$$

$$i_m^L = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_m}^L \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.35)$$

$$i_r^L = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_r}^L \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.36)$$

$$H_i^L = enk(\mathbf{H}_i^L) \quad (4.37)$$

Denklem 4.26 yardımıyla, $\widetilde{\mathbf{EUA}\mathbf{V}}$ matrisinin elemanları Denklem 4.38-4.45 ile hesaplanır.

$$EUAV_l^U = \frac{enb(NPV_l^U, 0) (1 + i_r^U)^n i_r^U}{(1 + i_r^U)^n - 1} + \frac{enk(NPV_l^U, 0) (1 + i_l^U)^n i_l^U}{(1 + i_l^U)^n - 1} \quad (4.38)$$

$$EUAV_m^U = NPV_m^U \frac{(1 + i_m^U)^n i_m^U}{(1 + i_m^U)^n - 1} \quad (4.39)$$

$$EUAV_r^U = \frac{enb(NPV_r^U, 0) (1 + i_l^U)^n i_l^U}{(1 + i_l^U)^n - 1} + \frac{enk(NPV_r^U, 0) (1 + i_r^U)^n i_r^U}{(1 + i_r^U)^n - 1} \quad (4.40)$$

$$H_{EUAV}^L = enk(H_{NPV}^U, H_i^U) \quad (4.41)$$

$$EUAV_l^L = \frac{enb(NPV_l^L, 0) (1 + i_r^L)^n i_r^L}{(1 + i_r^L)^n - 1} + \frac{enk(NPV_l^L, 0) (1 + i_l^L)^n i_l^L}{(1 + i_l^L)^n - 1} \quad (4.42)$$

$$EUAV_m^L = NPV_m^L \frac{(1 + i_m^L)^n i_m^L}{(1 + i_m^L)^n - 1} \quad (4.43)$$

$$EUAV_r^L = \frac{enb(NPV_r^L, 0) (1 + i_l^L)^n i_l^L}{(1 + i_l^L)^n - 1} + \frac{enk(NPV_r^L, 0) (1 + i_r^L)^n i_r^L}{(1 + i_r^L)^n - 1} \quad (4.44)$$

$$H_{EUAV}^L = enk(H_{NPV}^L, H_i^L) \quad (4.45)$$

$\widetilde{\text{NPV}}$ ve $\tilde{\text{I}}$ matrisi $n \times 8$ boyutunda, n pozitif ve $\tilde{\text{I}}$ matrisinin satır sayısından büyük olmayan bir doğal sayı olmak üzere 1×8 boyutundaki $\widetilde{\text{EUAV}}$ matrisi EUAV fonksiyonu kullanılarak Denklem 4.46 veya Denklem 4.47 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\text{EUAV}} = \text{EUAV}(\widetilde{\text{NPV}}, \tilde{\text{I}}, n) \quad (4.46)$$

$$\widetilde{\text{EUAV}} = \text{EUAV}(\text{NPV}(\widetilde{\text{CF}}, \widetilde{\text{FC}}, \tilde{\text{I}}), \tilde{\text{I}}, n) \quad (4.47)$$

4.1.6 Üçgen aralık tip-2 bulanık yatırım analizi uygulaması

Durağan piyasa koşullarında, beklenen faiz oranlarının ve beklenen nakit akışlarının üçgen aralık tip-2 bulanık sayılarla tanımlanarak Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verildiği bir yatırımın üçgen aralık tip-2 bulanık net şimdiki değerini ve eşdeğer düzgün ödeme değerini hesaplayınız.

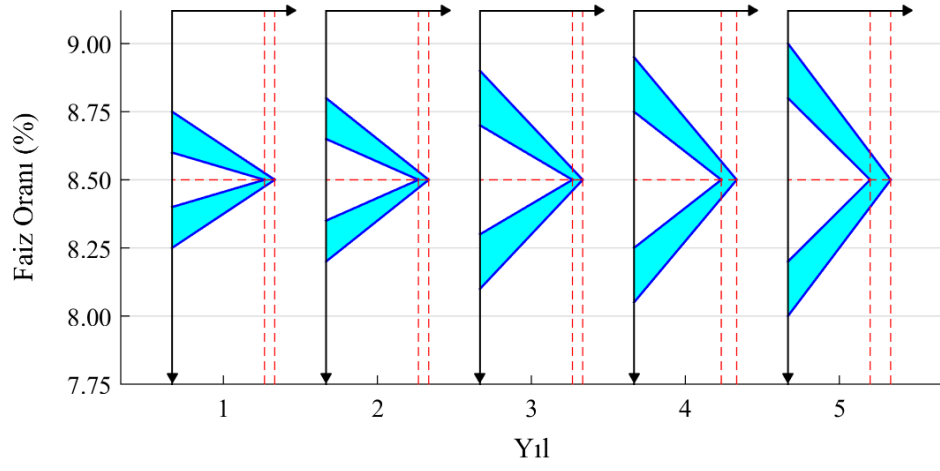
Çizelge 4.1 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.

Yıl	Faiz Oranı (%)
1	((8.25, 8.50, 8.75; 1.00), (8.40, 8.50, 8.60; 0.90))
2	((8.20, 8.50, 8.80; 1.00), (8.35, 8.50, 8.65; 0.90))
3	((8.10, 8.50, 8.90; 1.00), (8.30, 8.50, 8.70; 0.90))
4	((8.05, 8.50, 8.95; 1.00), (8.25, 8.50, 8.75; 0.85))
5	((8.00, 8.50, 9.00; 1.00), (8.20, 8.50, 8.80; 0.80))

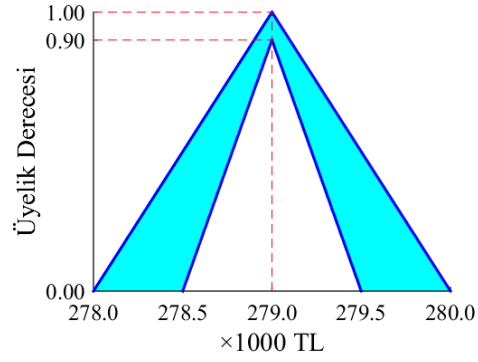
Çizelge 4.2 : Nakit akışı.

Yıl	Nakit Akışı ($\times 1000 \text{ TL}$)
0	((-280.0, -279.0, -278.0; 1.00), (-279.5, -279.0, -278.5; 0.90))
1	((73.5, 75.0, 76.0; 1.00), (74.0, 75.0, 75.5; 0.90))
2	((69.0, 71.0, 73.0; 1.00), (70.0, 71.0, 72.0; 0.90))
3	((65.3, 68.0, 70.4; 1.00), (66.5, 68.0, 69.0; 0.90))
4	((69.0, 72.0, 75.0; 1.00), (70.4, 72.0, 73.6; 0.85))
5	((65.2, 69.0, 71.8; 1.00), (66.5, 68.5, 70.5; 0.80))

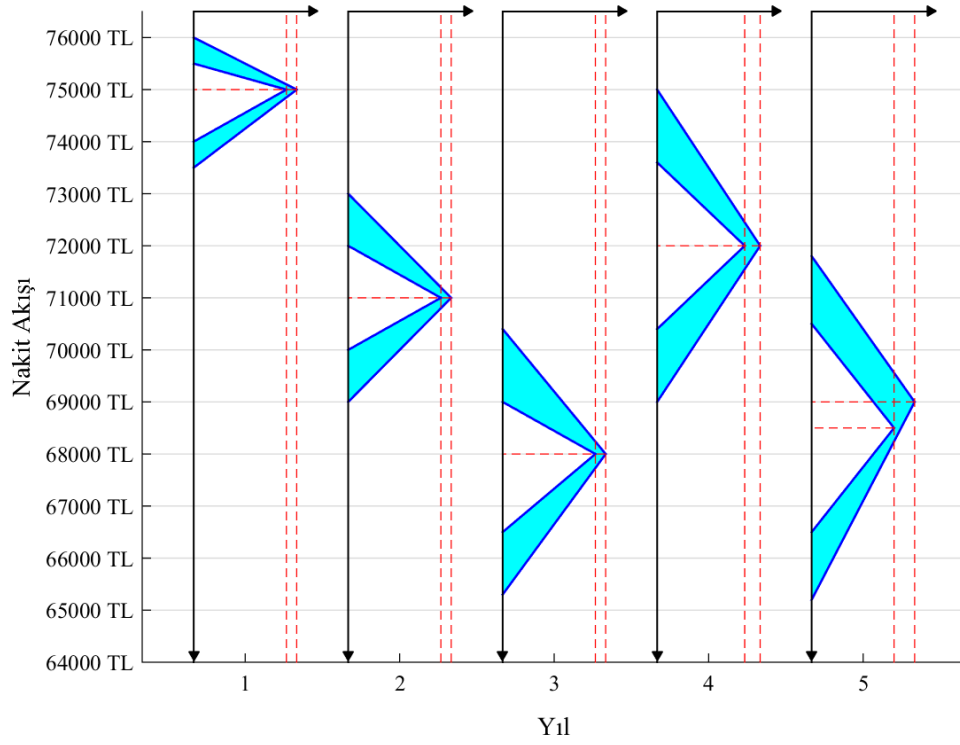
Yıllara göre faiz oranı Şekil 4.1’de, ilk yatırım maliyeti Şekil 4.2’de ve yatırıma ait nakit akışı Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.



Şekil 4.2 : İlk yatırım maliyeti.



Şekil 4.3 : Nakit akışı.

Üçgen aralık tip-2 faiz oranı, ilk yatırım maliyeti ve nakit akışı verileri aşağıda matris formunda yazılmıştır.

Faiz oranı

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} 0.0825 & 0.0850 & 0.0875 & 1.00 & 0.0840 & 0.0850 & 0.0860 & 0.90 \\ 0.0820 & 0.0850 & 0.0880 & 1.00 & 0.0835 & 0.0850 & 0.0865 & 0.90 \\ 0.0810 & 0.0850 & 0.0890 & 1.00 & 0.0830 & 0.0850 & 0.0870 & 0.90 \\ 0.0805 & 0.0850 & 0.0895 & 1.00 & 0.0825 & 0.0850 & 0.0875 & 0.85 \\ 0.0800 & 0.0850 & 0.0900 & 1.00 & 0.0820 & 0.0850 & 0.0880 & 0.80 \end{bmatrix}$$

İlk yatırım maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{FC}} = [\widetilde{\mathbf{FC}}^U \quad \widetilde{\mathbf{FC}}^L]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^U = [-280000 \quad -279000 \quad -278000 \quad 1.00]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^L = [-279500 \quad -279000 \quad -278500 \quad 0.90]$$

Nakit akışı

$$\widetilde{\mathbf{CF}} = \begin{bmatrix} 73500 & 75000 & 76000 & 1.00 & 74000 & 75000 & 75500 & 0.90 \\ 69000 & 71000 & 73000 & 1.00 & 70000 & 71000 & 72000 & 0.90 \\ 65300 & 68000 & 70400 & 1.00 & 66500 & 68000 & 69000 & 0.90 \\ 69000 & 72000 & 75000 & 1.00 & 70400 & 72000 & 73600 & 0.85 \\ 65200 & 69000 & 71800 & 1.00 & 66500 & 68500 & 70500 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Üçgen aralık tip-2 bulanık net şimdiki değeri belirten $\widetilde{\mathbf{NPV}}$ matrisi, NPV fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{NPV}} = \text{NPV}(\widetilde{\mathbf{CF}}, \widetilde{\mathbf{FC}}, \tilde{\mathbf{I}})$$

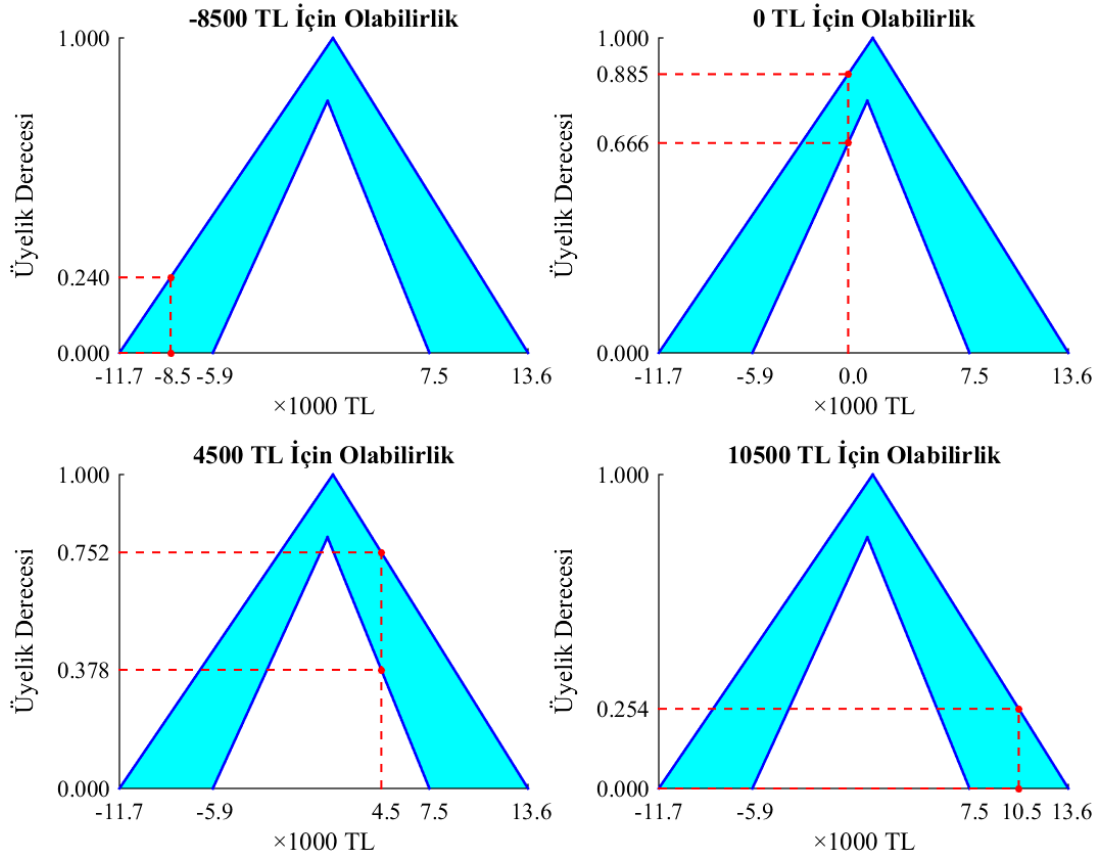
$$\widetilde{\mathbf{NPV}} = [-11657 \quad 1515 \quad 13553 \quad 1.00 \quad -5894 \quad 1182 \quad 7469 \quad 0.80]$$

Üçgen aralık tip-2 bulanık net şimdiki değerin durulaştırılmış değerini belirten $\text{DTriT}(\widetilde{\mathbf{NPV}})$ Denklem 2.42 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{DTriT}(\widetilde{\mathbf{NPV}}) &= \frac{1.00 \frac{(-11657 + 1515 + 13553)}{3}}{2} \\ &\quad + \frac{0.80 \frac{(-5894 + 1182 + 7469)}{3}}{2} \end{aligned}$$

$$\text{DTriT}(\widetilde{\mathbf{NPV}}) = 936 \text{ TL}$$

Net şimdiki değerlerin -8500 TL, 0 TL, 4500 TL ve 10500 TL olabilirliği Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Seçilen net şimdiki değerlerin olabilirlikleri.

Üçgen aralık tip-2 eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\mathbf{EUAV}}$ matrisi, EUAV fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{EUAV}} = \mathbf{EUAV}(\widetilde{\mathbf{NPV}}, \widetilde{\mathbf{I}}, 5)$$

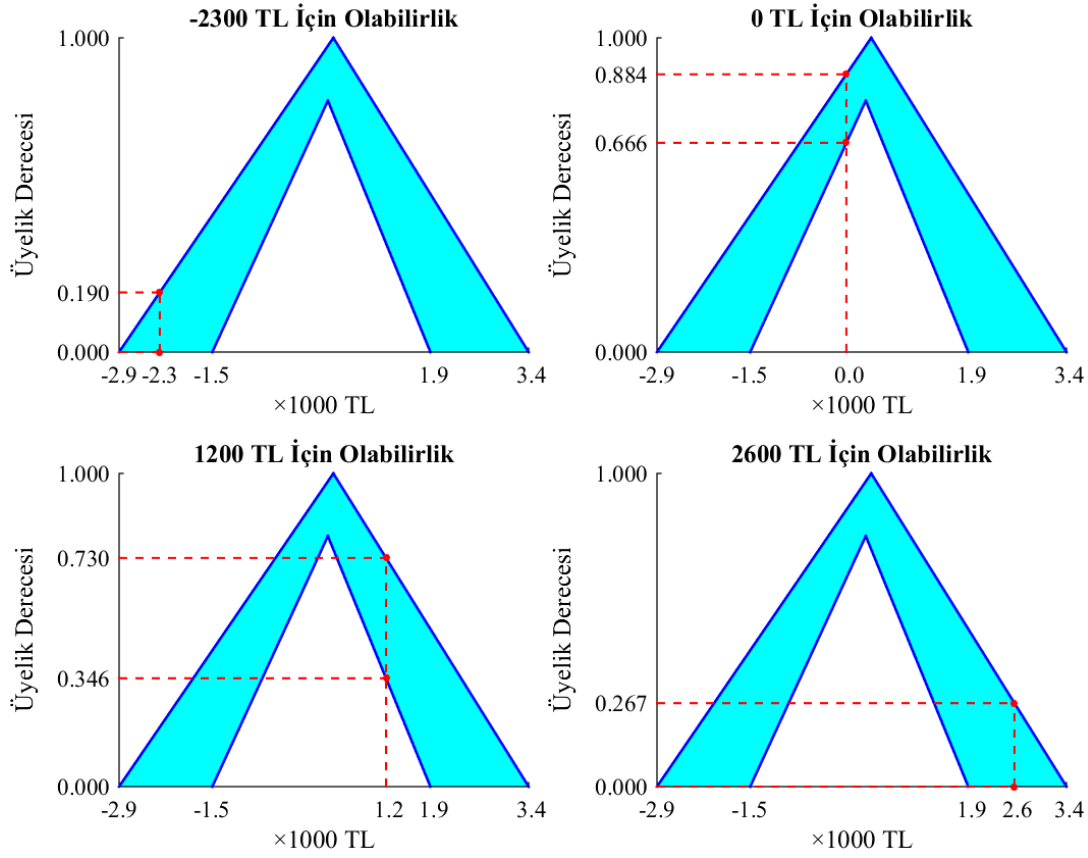
$$\widetilde{\mathbf{EUAV}} = [-2929 \quad 384 \quad 3405 \quad 1.00 \quad -1488 \quad 300 \quad 1885 \quad 0.80]$$

Üçgen aralık tip-2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme değerinin durulaştırılmış değerini belirten $\text{DTriT}(\widetilde{\mathbf{EUAV}})$ Denklem 2.42 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{DTriT}(\widetilde{\mathbf{EUAV}}) &= \frac{1.00 \frac{(-2929 + 384 + 3405)}{3}}{2} \\ &\quad + \frac{0.80 \frac{(-1488 + 300 + 1885)}{3}}{2} \end{aligned}$$

$$\text{DTriT}(\widetilde{\mathbf{EUAV}}) = 236 \text{ TL}$$

Eşdeğer düzgün ödeme değerinin -2300 TL, 0 TL, 1200 TL ve 2600 TL olabilirliği Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Seçilen eşdeğer düzgün ödeme değerlerinin olabilirlikleri.

4.2 Yamuk Aralık Tip-2 Bulanık Yatırım Analizi

4.2.1 Faiz oranı

Yamuk aralık tip-2 bulanık faiz oranını belirten $\tilde{\mathbf{I}}$, $n \times 12$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.48 ile ifade edilmektedir.

$$\tilde{\mathbf{I}} = [\tilde{\mathbf{I}}^U \quad \tilde{\mathbf{I}}^L] \quad (4.48)$$

$\tilde{\mathbf{I}}^U$ ve $\tilde{\mathbf{I}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 4.49 ve Denklem 4.50’de verilmektedir.

$$\tilde{\mathbf{I}}^U = \begin{bmatrix} i_{1_1}^U & i_{1_2}^U & i_{1_3}^U & i_{1_4}^U & H_{1_i}^{1^U} & H_{1_i}^{2^U} \\ i_{2_1}^U & i_{2_2}^U & i_{2_3}^U & i_{2_4}^U & H_{2_i}^{1^U} & H_{2_i}^{2^U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{t_1}^U & i_{t_2}^U & i_{t_3}^U & i_{t_4}^U & H_{t_i}^{1^U} & H_{t_i}^{2^U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{n_1}^U & i_{n_2}^U & i_{n_3}^U & i_{n_4}^U & H_{n_i}^{1^U} & H_{n_i}^{2^U} \end{bmatrix} \quad (4.49)$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^L = \begin{bmatrix} i_{1_1}^L & i_{1_2}^L & i_{1_3}^L & i_{1_4}^L & H_{1_i}^{1^L} & H_{1_i}^{2^L} \\ i_{2_1}^L & i_{2_2}^L & i_{2_3}^L & i_{2_4}^L & H_{2_i}^{1^L} & H_{2_i}^{2^L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{t_1}^L & i_{t_2}^L & i_{t_3}^L & i_{t_4}^L & H_{t_i}^{1^L} & H_{t_i}^{2^L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{n_1}^L & i_{n_2}^L & i_{n_3}^L & i_{n_4}^L & H_{n_i}^{1^L} & H_{n_i}^{2^L} \end{bmatrix} \quad (4.50)$$

$\mathbf{i}_1^U, \mathbf{i}_2^U, \mathbf{i}_3^U, \mathbf{i}_4^U, \mathbf{H}_i^{1^U}, \mathbf{H}_i^{2^U}, \mathbf{i}_1^L, \mathbf{i}_2^L, \mathbf{i}_3^L, \mathbf{i}_4^L, \mathbf{H}_i^{1^L}, \mathbf{H}_i^{2^L}$ n boyutunda vektörler olmak üzere $\tilde{\mathbf{I}}^U$ ve $\tilde{\mathbf{I}}^L$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 4.50 ve Denklem 4.51’de tanımlanmaktadır.

$$\tilde{\mathbf{I}}^U = [\mathbf{i}_1^U \quad \mathbf{i}_2^U \quad \mathbf{i}_3^U \quad \mathbf{i}_4^U \quad \mathbf{H}_i^{1^U} \quad \mathbf{H}_i^{2^U}] \quad (4.51)$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^L = [\mathbf{i}_1^L \quad \mathbf{i}_2^L \quad \mathbf{i}_3^L \quad \mathbf{i}_4^L \quad \mathbf{H}_i^{1^L} \quad \mathbf{H}_i^{2^L}] \quad (4.52)$$

t . dönemdeki yamuk aralık tip-2 bulanık faiz oranını belirten ve $\tilde{\mathbf{I}}$ matrisinin t . satırı olan $\tilde{\mathbf{i}}_t$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.53-4.55’te verilmektedir.

$$\tilde{\mathbf{i}}_t = [\tilde{\mathbf{i}}_t^U \quad \tilde{\mathbf{i}}_t^L] \quad (4.53)$$

$$\tilde{\mathbf{i}}_t^U = [i_{t_1}^U \quad i_{t_2}^U \quad i_{t_3}^U \quad i_{t_4}^U \quad H_{t_i}^{1^U} \quad H_{t_i}^{2^U}] \quad (4.54)$$

$$\tilde{\mathbf{i}}_t^L = [i_{t_1}^L \quad i_{t_2}^L \quad i_{t_3}^L \quad i_{t_4}^L \quad H_{t_i}^{1^L} \quad H_{t_i}^{2^L}] \quad (4.55)$$

$\tilde{\mathbf{I}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 4.56’daki biçimde ifade edilir.

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{i}}_1 \\ \tilde{\mathbf{i}}_2 \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{i}}_t \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{i}}_n \end{bmatrix} \quad (4.56)$$

4.2.2 Dönemsel nakit akışı

Yamuk aralık tip-2 bulanık dönemsel nakit akışını belirten $\widetilde{\mathbf{CF}}$, $n \times 12$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.57 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{CF}} = [\widetilde{\mathbf{CF}}^U \quad \widetilde{\mathbf{CF}}^L] \quad (4.57)$$

$\widetilde{\mathbf{CF}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{CF}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 4.58 ve Denklem 4.59'da verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{CF}}^U = \begin{bmatrix} cf_{1_1}^U & cf_{1_2}^U & cf_{1_3}^U & cf_{1_4}^U & H_{1_{cf}}^{1U} & H_{1_{cf}}^{2U} \\ cf_{2_1}^U & cf_{2_2}^U & cf_{2_3}^U & cf_{2_4}^U & H_{2_{cf}}^{1U} & H_{2_{cf}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cf_{t_1}^U & cf_{t_2}^U & cf_{t_3}^U & cf_{t_4}^U & H_{t_{cf}}^{1U} & H_{t_{cf}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cf_{n_1}^U & cf_{n_2}^U & cf_{n_3}^U & cf_{n_4}^U & H_{n_{cf}}^{1U} & H_{n_{cf}}^{2U} \end{bmatrix} \quad (4.58)$$

$$\widetilde{\mathbf{CF}}^L = \begin{bmatrix} cf_{1_1}^L & cf_{1_2}^L & cf_{1_3}^L & cf_{1_4}^L & H_{1_{cf}}^{1L} & H_{1_{cf}}^{2L} \\ cf_{2_1}^L & cf_{2_2}^L & cf_{2_3}^L & cf_{2_4}^L & H_{2_{cf}}^{1L} & H_{2_{cf}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cf_{t_1}^L & cf_{t_2}^L & cf_{t_3}^L & cf_{t_4}^L & H_{t_{cf}}^{1L} & H_{t_{cf}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cf_{n_1}^L & cf_{n_2}^L & cf_{n_3}^L & cf_{n_4}^L & H_{n_{cf}}^{1L} & H_{n_{cf}}^{2L} \end{bmatrix} \quad (4.59)$$

$cf_1^U, cf_2^U, cf_3^U, cf_4^U, H_{cf}^{1U}, H_{cf}^{2U}, cf_1^L, cf_2^L, cf_3^L, cf_4^L, H_{cf}^{1L}, H_{cf}^{2L}$ n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\mathbf{CF}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{CF}}^L$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 4.60 ve Denklem 4.61'de tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\mathbf{CF}}^U = [cf_1^U \quad cf_2^U \quad cf_3^U \quad cf_4^U \quad H_{cf}^{1U} \quad H_{cf}^{2U}] \quad (4.60)$$

$$\widetilde{\mathbf{CF}}^L = [cf_1^L \quad cf_2^L \quad cf_3^L \quad cf_4^L \quad H_{cf}^{1L} \quad H_{cf}^{2L}] \quad (4.61)$$

t . dönemdeki yamuk aralık tip-2 bulanık dönemsel nakit akışını belirten ve $\widetilde{\mathbf{CF}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{\mathbf{cf}}_t$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.62-4.64'te verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{cf}}_t = [\widetilde{\mathbf{cf}}_t^U \quad \widetilde{\mathbf{cf}}_t^L] \quad (4.62)$$

$$\widetilde{\mathbf{cf}}_t^U = \begin{bmatrix} cf_{t_1}^U & cf_{t_2}^U & cf_{t_3}^U & cf_{t_4}^U & H_{t_{cf}}^{1U} & H_{t_{cf}}^{2U} \end{bmatrix} \quad (4.63)$$

$$\widetilde{\mathbf{cf}}_t^L = \begin{bmatrix} cf_{t_1}^L & cf_{t_2}^L & cf_{t_3}^L & cf_{t_4}^L & H_{t_{cf}}^{1L} & H_{t_{cf}}^{2L} \end{bmatrix} \quad (4.64)$$

$\widetilde{\mathbf{CF}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 4.65'teki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{CF}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{cf}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{cf}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cf}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cf}}_n \end{bmatrix} \quad (4.65)$$

4.2.3 İlk yatırım maliyeti

$t = 0$ anındaki yamuk aralık tip-2 bulanık ilk yatırım maliyetini belirten $\widetilde{\mathbf{FC}}$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.66 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{FC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{FC}}^U & \widetilde{\mathbf{FC}}^L \end{bmatrix} \quad (4.66)$$

$\widetilde{\mathbf{FC}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{FC}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 4.67 ve Denklem 4.68'de verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^U = \begin{bmatrix} FC_1^U & FC_2^U & FC_3^U & FC_4^U & H_{FC}^{1U} & H_{FC}^{2U} \end{bmatrix} \quad (4.67)$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^L = \begin{bmatrix} FC_1^L & FC_2^L & FC_3^L & FC_4^L & H_{FC}^{1L} & H_{FC}^{2L} \end{bmatrix} \quad (4.68)$$

4.2.4 Şimdiki değer

Sarı ve Kahraman (2015) yamuk aralık tip-2 bulanık net şimdiki değer analizini geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, t . dönemdeki nakit akışı $\widetilde{\mathbf{CF}}_t = ((cf_{t_1}^U, cf_{t_2}^U, cf_{t_3}^U, cf_{t_4}^U; H_1(\widetilde{cf}_t^U), H_2(\widetilde{cf}_t^U)), (cf_{t_1}^L, cf_{t_2}^L, cf_{t_3}^L, cf_{t_4}^L; H_1(\widetilde{cf}_t^L), H_2(\widetilde{cf}_t^L)))$ ve faiz oranı $\tilde{i}_t = ((i_{t_1}^U, i_{t_2}^U, i_{t_3}^U, i_{t_4}^U; H_1(\tilde{i}_t^U), H_2(\tilde{i}_t^U)), (i_{t_1}^L, i_{t_2}^L, i_{t_3}^L, i_{t_4}^L; H_1(\tilde{i}_t^L), H_2(\tilde{i}_t^L)))$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayılarıyla ifade edilmiştir. Denklem 4.69'da $\widetilde{\mathbf{NPV}}$ ile belirtilen yamuk aralık tip-2 bulanık net şimdiki değer verilmektedir.

$$\begin{aligned}
\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}} = & \left(\left(\sum_{t=1}^n \left(\frac{\text{enb}(cf_{t_1}^U, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^U)} + \frac{\text{enk}(cf_{t_1}^U, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^U)} \right) + cf_{0_1}^U, \right. \right. \\
& \sum_{t=1}^n \left(\frac{\text{enb}(cf_{t_2}^U, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^U)} + \frac{\text{enk}(cf_{t_2}^U, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^U)} \right) + cf_{0_2}^U, \\
& \sum_{t=1}^n \left(\frac{\text{enb}(cf_{t_3}^U, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^U)} + \frac{\text{enk}(cf_{t_3}^U, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^U)} \right) + cf_{0_3}^U, \\
& \sum_{t=1}^n \left(\frac{\text{enb}(cf_{t_4}^U, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^U)} + \frac{\text{enk}(cf_{t_4}^U, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^U)} \right) + cf_{0_4}^U; \\
& \text{enk}(H_1(\widetilde{cf}_t^U), H_1(\widetilde{i}_t^U)), \text{enk}(H_2(\widetilde{cf}_t^U), H_2(\widetilde{i}_t^U))), \\
& \left(\sum_{t=1}^n \left(\frac{\text{enb}(cf_{t_1}^L, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^L)} + \frac{\text{enk}(cf_{t_1}^L, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^L)} \right) + cf_{0_1}^L, \right. \\
& \sum_{t=1}^n \left(\frac{\text{enb}(cf_{t_2}^L, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^L)} + \frac{\text{enk}(cf_{t_2}^L, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^L)} \right) + cf_{0_2}^L, \\
& \sum_{t=1}^n \left(\frac{\text{enb}(cf_{t_3}^L, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^L)} + \frac{\text{enk}(cf_{t_3}^L, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^L)} \right) + cf_{0_3}^L, \\
& \sum_{t=1}^n \left(\frac{\text{enb}(cf_{t_4}^L, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^L)} + \frac{\text{enk}(cf_{t_4}^L, 0)}{\Pi_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^L)} \right) + cf_{0_4}^L; \\
& \left. \left. \text{enk}(H_1(\widetilde{cf}_t^L), H_1(\widetilde{i}_t^L)), \text{enk}(H_2(\widetilde{cf}_t^L), H_2(\widetilde{i}_t^L))) \right) \right) \quad (4.69)
\end{aligned}$$

Yamuk aralık tip-2 bulanık şimdiki değeri belirten $\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.70 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}} = [\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}^U \quad \widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}^L] \quad (4.70)$$

$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}^U$ ve $\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren 1×6 boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 4.71 ve Denklem 4.72'de verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}^U = [NPV_1^U \quad NPV_2^U \quad NPV_3^U \quad NPV_4^U \quad H_{NPV}^{1U} \quad H_{NPV}^{2U}] \quad (4.71)$$

$$\widetilde{\mathbf{NPV}}^L = [NPV_1^L \quad NPV_2^L \quad NPV_3^L \quad NPV_4^L \quad H_{NPV}^{1L} \quad H_{NPV}^{2L}] \quad (4.72)$$

Denklem 4.69 yardımıyla, $\widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V}$ matrisinin elemanları Denklem 4.73-4.84 ile hesaplanır.

$$NPV_1^U = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_1}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^U)} + \frac{enk(cf_{t_1}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^U)} \right) + FC_1^U \quad (4.73)$$

$$NPV_2^U = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_2}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^U)} + \frac{enk(cf_{t_2}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^U)} \right) + FC_2^U \quad (4.74)$$

$$NPV_3^U = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_3}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^U)} + \frac{enk(cf_{t_3}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^U)} \right) + FC_3^U \quad (4.75)$$

$$NPV_4^U = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_4}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^U)} + \frac{enk(cf_{t_4}^U, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^U)} \right) + FC_4^U \quad (4.76)$$

$$H_{NPV}^{1U} = \text{enk} \left(\text{enk} \left(\text{enk} \left(\mathbf{H}_{cf}^{1U}, \mathbf{H}_i^{1U} \right) \right), H_{FC}^{1U} \right) \quad (4.77)$$

$$H_{NPV}^{2U} = \text{enk} \left(\text{enk} \left(\text{enk} \left(\mathbf{H}_{cf}^{2U}, \mathbf{H}_i^{2U} \right) \right), H_{FC}^{2U} \right) \quad (4.78)$$

$$NPV_1^L = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(f_{t_1}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^L)} + \frac{enk(f_{t_1}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^L)} \right) + FC_1^L \quad (4.79)$$

$$NPV_2^L = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_2}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^L)} + \frac{enk(cf_{t_2}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^L)} \right) + FC_2^L \quad (4.80)$$

$$NPV_3^L = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_3}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^L)} + \frac{enk(cf_{t_3}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^L)} \right) + FC_3^L \quad (4.81)$$

$$NPV_4^L = \sum_{t=1}^n \left(\frac{enb(cf_{t_4}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^L)} + \frac{enk(cf_{t_4}^L, 0)}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^L)} \right) + FC_4^L \quad (4.82)$$

$$H_{NPV}^{1L} = \text{enk} \left(\text{enk} \left(\text{enk} \left(\mathbf{H}_{cf}^{1L}, \mathbf{H}_i^{1L} \right) \right), H_{FC}^{1L} \right) \quad (4.83)$$

$$H_{NPV}^{2L} = \text{enk} \left(\text{enk} \left(\text{enk} \left(\mathbf{H}_{cf}^{2L}, \mathbf{H}_i^{2L} \right) \right), H_{FC}^{2L} \right) \quad (4.84)$$

$\widetilde{\mathbf{CF}}$ ve $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisi $n \times 12$ boyutunda, $\widetilde{\mathbf{FC}}$ matrisi 1×12 boyutunda olmak üzere 1×12 boyutundaki $\widetilde{\mathbf{NPV}}$ matrisi NPV fonksiyonu kullanılarak Denklem 4.85 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{NPV}} = \text{NPV} \left(\widetilde{\mathbf{CF}}, \widetilde{\mathbf{FC}}, \widetilde{\mathbf{I}} \right) \quad (4.85)$$

4.2.5 Eşdeğer düzgün ödeme değeri

Sarı ve Kahraman (2015) yamuk aralık tip-2 eşdeğer düzgün ödeme analizini geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, net şimdiki değeri

$\widetilde{\mathbf{NPV}} = (NPV_1^U, NPV_2^U, NPV_3^U, NPV_4^U; H_1(\widetilde{\mathbf{NPV}}^U), H_2(\widetilde{\mathbf{NPV}}^U)), (NPV_1^L, NPV_2^L, NPV_3^L, NPV_4^L; H_1(\widetilde{\mathbf{NPV}}^L), H_2(\widetilde{\mathbf{NPV}}^L))$ ve bütün dönemlerde aynı olan faiz oranı $\widetilde{i} = ((i_1^U, i_2^U, i_3^U, i_4^U; H_1(\widetilde{i}^U), H_2(\widetilde{i}^U)), (i_1^L, i_2^L, i_3^L, i_4^L; H_1(\widetilde{i}^L), H_2(\widetilde{i}^L)))$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayılarıyla ifade edilmiştir. Denklem 4.86'da $\widetilde{\mathbf{EUA\ddot{V}}}$ ile belirtilen yamuk aralık tip-2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme değeri verilmektedir.

$$\begin{aligned} \widetilde{\mathbf{EUA\ddot{V}}} = & \left(\left(NPV_1^U \frac{(1+i_4^U)^n i_4^U}{(1+i_4^U)^n - 1}, NPV_2^U \frac{(1+i_3^U)^n i_3^U}{(1+i_3^U)^n - 1}, \right. \right. \\ & NPV_3^U \frac{(1+i_2^U)^n i_2^U}{(1+i_2^U)^n - 1}, NPV_4^U \frac{(1+i_1^U)^n i_1^U}{(1+i_1^U)^n - 1}; \\ & \text{enk}(H_1(\widetilde{\mathbf{NPV}}^U), H_1(\widetilde{i}^U)), \text{enk}(H_2(\widetilde{\mathbf{NPV}}^U), H_2(\widetilde{i}^U))), \\ & \left(NPV_1^L \frac{(1+i_4^L)^n i_4^L}{(1+i_4^L)^n - 1}, NPV_2^L \frac{(1+i_3^L)^n i_3^L}{(1+i_3^L)^n - 1}, \right. \\ & NPV_3^L \frac{(1+i_2^L)^n i_2^L}{(1+i_2^L)^n - 1}, NPV_4^L \frac{(1+i_1^L)^n i_1^L}{(1+i_1^L)^n - 1}; \\ & \left. \left. \text{enk}(H_1(\widetilde{\mathbf{NPV}}^L), H_1(\widetilde{i}^L)), \text{enk}(H_2(\widetilde{\mathbf{NPV}}^L), H_2(\widetilde{i}^L)) \right) \right) \end{aligned} \quad (4.86)$$

Yamuk aralık tip-2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\mathbf{EUA\ddot{V}}}$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 4.87 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EUA\ddot{V}}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{EUA\ddot{V}}}^U & \widetilde{\mathbf{EUA\ddot{V}}}^L \end{bmatrix} \quad (4.87)$$

$\widetilde{\mathbf{EUAV}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{EUAV}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren 1×6 boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 4.88 ve Denklem 4.89'da verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EUAV}}^U = [EUAV_1^U \quad EUAV_2^U \quad EUAV_3^U \quad EUAV_4^U \quad H_{EUAV}^{1U} \quad H_{EUAV}^{2U}] \quad (4.88)$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAV}}^L = [EUAV_1^L \quad EUAV_2^L \quad EUAV_3^L \quad EUAV_4^L \quad H_{EUAV}^{1L} \quad H_{EUAV}^{2L}] \quad (4.89)$$

1. dönem ile n. dönemi kapsayan yamuk aralık tip-2 bulanık ortalama faiz oranının referans noktaları geometrik ortalama kullanılarak, üyelik derecelerinin ise en küçük değeri alınarak Denklem 4.90-4.101 ile hesaplanır.

$$i_1^U = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_1}^U \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.90)$$

$$i_2^U = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_2}^U \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.91)$$

$$i_3^U = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_3}^U \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.92)$$

$$i_4^U = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_4}^U \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.93)$$

$$H_i^{1U} = \text{enk}(\mathbf{H}_i^{1U}) \quad (4.94)$$

$$H_i^{2U} = \text{enk}(\mathbf{H}_i^{2U}) \quad (4.95)$$

$$i_1^L = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_1}^L \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.96)$$

$$i_2^L = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_2}^L \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.97)$$

$$i_3^L = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_3}^L \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.98)$$

$$i_4^L = \left(\prod_{t=1}^n i_{t_4}^L \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.99)$$

$$H_i^{1L} = \text{enk} \left(\mathbf{H}_i^{1U} \right) \quad (4.100)$$

$$H_i^{2L} = \text{enk} \left(\mathbf{H}_i^{2U} \right) \quad (4.101)$$

Denklem 4.86 yardımıyla, $\widetilde{\mathbf{EUAV}}$ matrisinin elemanları Denklem 4.102-4.113 ile hesaplanır.

$$EUAV_1^U = \frac{\text{enb}(NPV_1^U, 0) (1 + i_4^U)^n i_4^U}{(1 + i_4^U)^n - 1} + \frac{\text{enk}(NPV_1^U, 0) (1 + i_1^U)^n i_1^U}{(1 + i_1^U)^n - 1} \quad (4.102)$$

$$EUAV_2^U = \frac{\text{enb}(NPV_2^U, 0) (1 + i_3^U)^n i_3^U}{(1 + i_3^U)^n - 1} + \frac{\text{enk}(NPV_2^U, 0) (1 + i_2^U)^n i_2^U}{(1 + i_2^U)^n - 1} \quad (4.103)$$

$$EUAV_3^U = \frac{\text{enb}(NPV_3^U, 0) (1 + i_2^U)^n i_2^U}{(1 + i_2^U)^n - 1} + \frac{\text{enk}(NPV_3^U, 0) (1 + i_3^U)^n i_3^U}{(1 + i_3^U)^n - 1} \quad (4.104)$$

$$EUAV_4^U = \frac{\text{enb}(NPV_4^U, 0) (1 + i_1^U)^n i_1^U}{(1 + i_1^U)^n - 1} + \frac{\text{enk}(NPV_4^U, 0) (1 + i_4^U)^n i_4^U}{(1 + i_4^U)^n - 1} \quad (4.105)$$

$$H_{EUAV}^{1U} = \text{enk} \left(H_{NPV}^{1U}, H_i^{1U} \right) \quad (4.106)$$

$$H_{EUAV}^{2U} = \text{enk} \left(H_{NPV}^{2U}, H_i^{2U} \right) \quad (4.107)$$

$$EUAV_1^L = \frac{\text{enb}(NPV_1^L, 0) (1 + i_4^L)^n i_4^L}{(1 + i_4^L)^n - 1} + \frac{\text{enk}(NPV_1^L, 0) (1 + i_1^L)^n i_1^L}{(1 + i_1^L)^n - 1} \quad (4.108)$$

$$EUAV_2^L = \frac{\text{enb}(NPV_2^L, 0) (1 + i_3^L)^n i_3^L}{(1 + i_3^L)^n - 1} + \frac{\text{enk}(NPV_2^L, 0) (1 + i_2^L)^n i_2^L}{(1 + i_2^L)^n - 1} \quad (4.109)$$

$$EUAV_3^L = \frac{\text{enb}(NPV_3^L, 0) (1 + i_2^L)^n i_2^L}{(1 + i_2^L)^n - 1} + \frac{\text{enk}(NPV_3^L, 0) (1 + i_3^L)^n i_3^L}{(1 + i_3^L)^n - 1} \quad (4.110)$$

$$EUAV_4^L = \frac{enb(NPV_4^L, 0) (1 + i_1^L)^n i_1^L}{(1 + i_1^L)^n - 1} + \frac{enk(NPV_4^L, 0) (1 + i_4^L)^n i_4^L}{(1 + i_4^L)^n - 1} \quad (4.111)$$

$$H_{EUAV}^{1L} = enk(H_{NPV}^{1L}, H_i^{1L}) \quad (4.112)$$

$$H_{EUAV}^{2L} = enk(H_{NPV}^{2L}, H_i^{2L}) \quad (4.113)$$

$\widetilde{NPV}$ ve $\widetilde{I}$ matrisi $n \times 12$ boyutunda, n pozitif ve $\widetilde{I}$ matrisinin satır sayısından büyük olmayan bir doğal sayı olmak üzere 1×12 boyutundaki $\widetilde{EUAV}$ matrisi EUAV fonksiyonu kullanılarak Denklem 4.114 veya Denklem 4.115 ile hesaplanır.

$$\widetilde{EUAV} = EUAV(\widetilde{NPV}, \widetilde{I}, n) \quad (4.114)$$

$$\widetilde{EUAV} = EUAV(NPV(\widetilde{CF}, \widetilde{FC}, \widetilde{I}), \widetilde{I}, n) \quad (4.115)$$

4.2.6 Yamuk aralık tip-2 bulanık yatırım analizi uygulaması

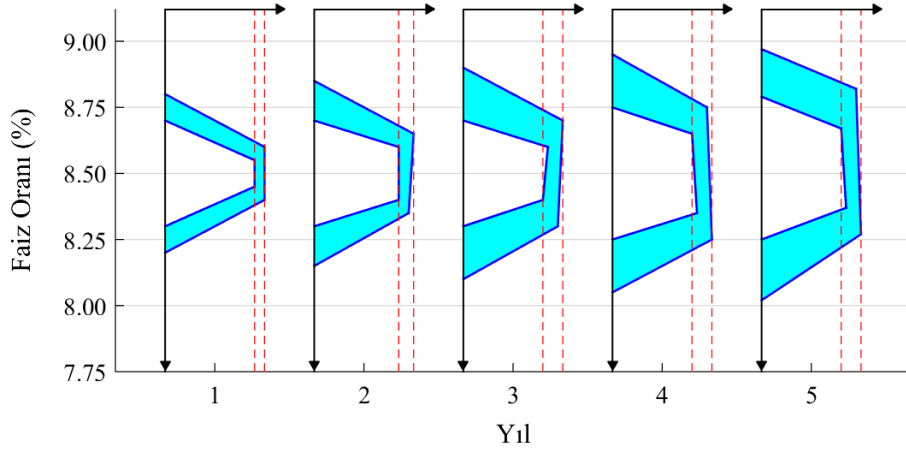
Durağan piyasa koşullarında, beklenen faiz oranlarının ve beklenen nakit akışlarının yamuk aralık tip-2 bulanık sayılarla tanımlanarak Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verildiği bir yatırımın üçgen aralık tip-2 bulanık net şimdiki değerini ve eşdeğer düzgün ödeme değerini hesaplayınız.

Çizelge 4.3 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.

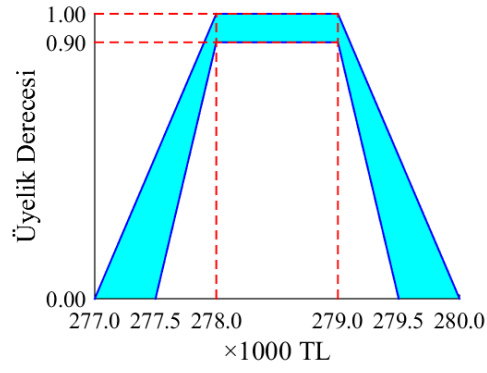
Yıl	Faiz Oranı (%)
1	((8.20, 8.40, 8.60, 8.80; 1.00, 1.00), (8.30, 8.45, 8.55, 8.70; 0.90, 0.90))
2	((8.15, 8.35, 8.65, 8.85; 0.95, 1.00), (8.30, 8.40, 8.60, 8.70; 0.85, 0.85))
3	((8.10, 8.30, 8.70, 8.90; 0.95, 1.00), (8.30, 8.40, 8.60, 8.70; 0.80, 0.85))
4	((8.05, 8.25, 8.75, 8.95; 1.00, 0.95), (8.25, 8.35, 8.65, 8.75; 0.85, 0.80))
5	((8.02, 8.27, 8.82, 8.97; 1.00, 0.95), (8.25, 8.37, 8.67, 8.79; 0.85, 0.80))

Çizelge 4.4 : Nakit akışı.

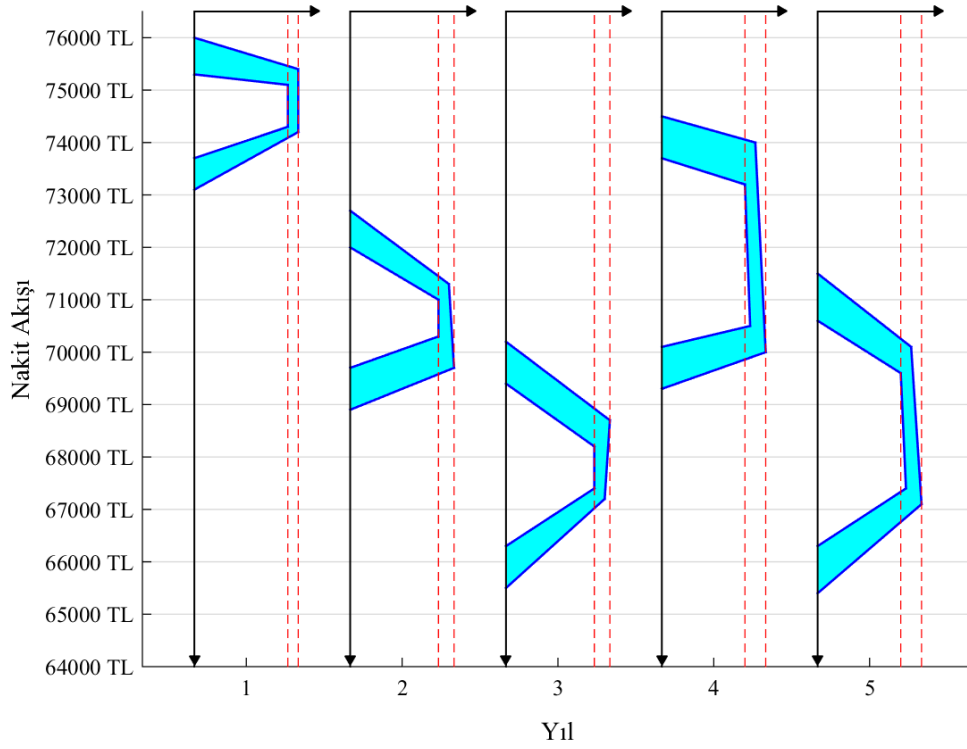
Yıl	Nakit Akışı ($\times 1000 TL$)
0	((-280, -279, -278, -277; 1.00, 1.00), (-279.5, -279, -278, -277.5; 0.90, 0.90))
1	((73.1, 74.2, 75.4, 76.0; 1.00, 1.00), (73.7, 74.3, 75.1, 75.3; 0.90, 0.90))
2	((68.9, 69.7, 71.3, 72.7; 1.00, 0.95), (69.7, 70.3, 71.0, 72.0; 0.85, 0.85))
3	((65.5, 67.2, 68.7, 70.2; 0.95, 1.00), (66.3, 67.4, 68.2, 69.4; 0.85, 0.85))
4	((69.3, 70.0, 74.0, 74.5; 1.00, 0.90), (70.1, 70.5, 73.2, 73.7; 0.85, 0.80))
5	((65.4, 67.1, 70.1, 71.5; 1.00, 0.90), (66.3, 67.4, 69.6, 70.6; 0.85, 0.80))



Şekil 4.6 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.



Şekil 4.7 : İlk yatırım maliyeti.



Şekil 4.8 : Nakit akışı.

Yıllara göre faiz oranı Şekil 4.6’de, ilk yatırım maliyeti Şekil 4.7’de ve yatırıma ait nakit akışı Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Yamuk aralık tip-2 faiz oranı, ilk yatırım maliyeti ve nakit akışı verileri aşağıda matris formunda yazılmıştır.

Faiz oranı

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}}^U & \tilde{\mathbf{I}}^L \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^U = \begin{bmatrix} 0.0820 & 0.0840 & 0.0860 & 0.0880 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0815 & 0.0835 & 0.0865 & 0.0885 & 0.95 & 1.00 \\ 0.0810 & 0.0830 & 0.0870 & 0.0890 & 0.95 & 1.00 \\ 0.0805 & 0.0825 & 0.0875 & 0.0895 & 1.00 & 0.95 \\ 0.0802 & 0.0827 & 0.0882 & 0.0897 & 1.00 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^L = \begin{bmatrix} 0.0830 & 0.0845 & 0.0855 & 0.0870 & 0.90 & 0.90 \\ 0.0830 & 0.0840 & 0.0860 & 0.0870 & 0.85 & 0.85 \\ 0.0830 & 0.0840 & 0.0860 & 0.0870 & 0.80 & 0.85 \\ 0.0825 & 0.0835 & 0.0865 & 0.0875 & 0.85 & 0.80 \\ 0.0825 & 0.0837 & 0.0867 & 0.0879 & 0.85 & 0.80 \end{bmatrix}$$

İlk yatırım maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{FC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{FC}}^U & \widetilde{\mathbf{FC}}^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^U = [-280000 \quad -279000 \quad -278000 \quad -277000 \quad 1.00 \quad 1.00]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^L = [-279500 \quad -279000 \quad -278000 \quad -277500 \quad 0.90 \quad 0.90]$$

Nakit akışı

$$\widetilde{\mathbf{CF}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{CF}}^U & \widetilde{\mathbf{CF}}^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{CF}}^U = \begin{bmatrix} 73100 & 74200 & 75400 & 76000 & 1.00 & 1.00 \\ 68900 & 69700 & 71300 & 72700 & 1.00 & 0.95 \\ 65500 & 67200 & 68700 & 70200 & 0.95 & 1.00 \\ 69300 & 70000 & 74000 & 74500 & 1.00 & 0.90 \\ 65400 & 67100 & 70100 & 71500 & 1.00 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{CF}}^L = \begin{bmatrix} 73700 & 74300 & 75100 & 75300 & 0.90 & 0.90 \\ 69700 & 70300 & 71000 & 72000 & 0.85 & 0.85 \\ 66300 & 67400 & 68200 & 69400 & 0.85 & 0.85 \\ 70100 & 70500 & 73200 & 73700 & 0.85 & 0.80 \\ 66300 & 67400 & 69600 & 70600 & 0.85 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Yamuk aralık tip-2 şimdiki değeri belirten $\widetilde{\mathbf{NPV}}$ matrisi, NPV fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}} = [\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}^U \quad \widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}^L] = \text{NPV}(\widetilde{\widetilde{\text{CF}}}, \widetilde{\widetilde{\text{FC}}}, \widetilde{\widetilde{\text{I}}})$$

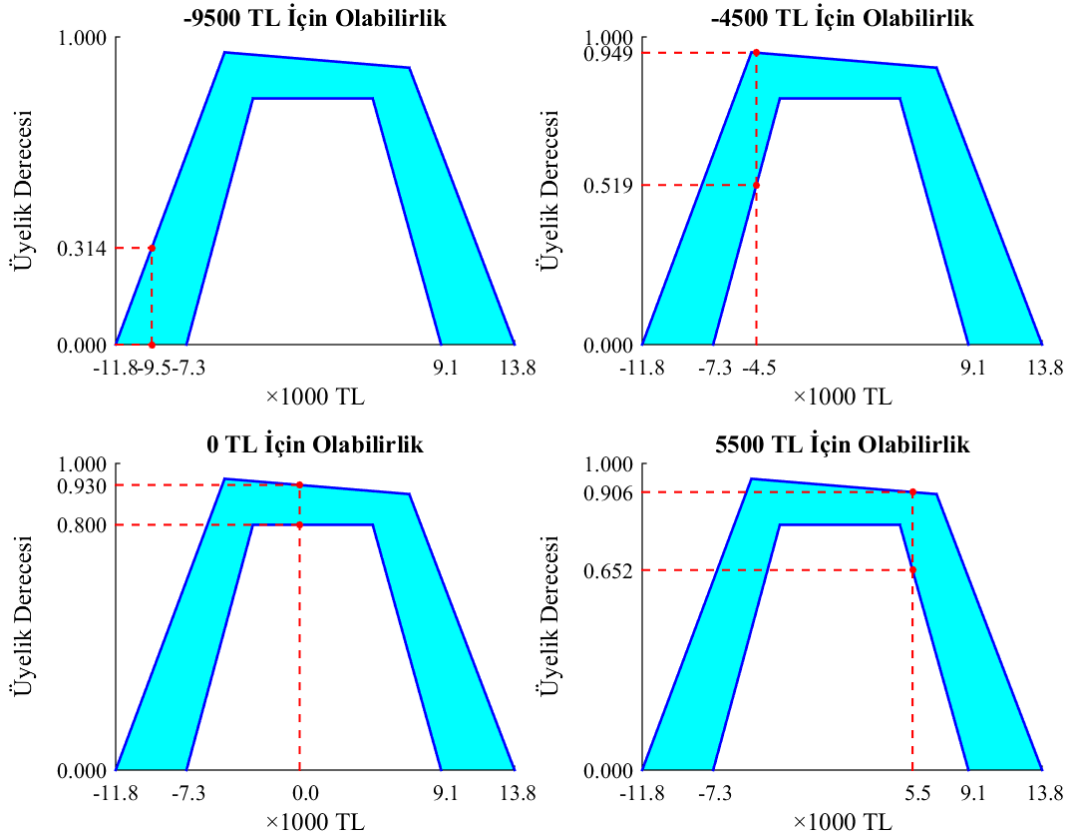
$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}^U = [-11814 \quad -4818 \quad 7036 \quad 13798 \quad 0.95 \quad 0.90]$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}^L = [-7268 \quad -2998 \quad 4689 \quad 9081 \quad 0.80 \quad 0.80]$$

Yamuk aralık tip-2 bulanık net şimdiki değerin durulaştırılmış değerini belirten DTraT($\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}$) Denklem 2.58 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{DTraT}(\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}) = \frac{1}{2} & \left(\left(\frac{-11814 + \text{enk}(0.95, 0.90) \times (-4818)}{4} \right. \right. \\ & + \frac{\text{enb}(0.95, 0.90) \times 7036 + 13798}{4} \Big) \\ & + \left(\frac{-7268 + \text{enk}(0.80, 0.80) \times (-2998)}{4} \right. \\ & \left. \left. + \frac{\text{enb}(0.80, 0.80) \times 4689 + 9081}{4} \right) \right) \end{aligned}$$

$$\text{DTraT}(\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}) = 937 \text{ TL}$$



Şekil 4.9 : Seçilen net şimdiki değerlerin olabilirlikleri.

Net şimdiki değerlerin -9500 TL, -4500 TL, 0 TL ve 5500 TL olabilirliği Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Yamuk aralık tip-2 eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V}$ matrisi, EUA V fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V}^U & \widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V}^L \end{bmatrix} = \text{EUA V}(\widetilde{\mathbf{NPV}}, \widetilde{\mathbf{I}}, 5)$$

$$\widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V}^U = [-2967 \quad -1217 \quad 1777 \quad 3465 \quad 0.95 \quad 0.90]$$

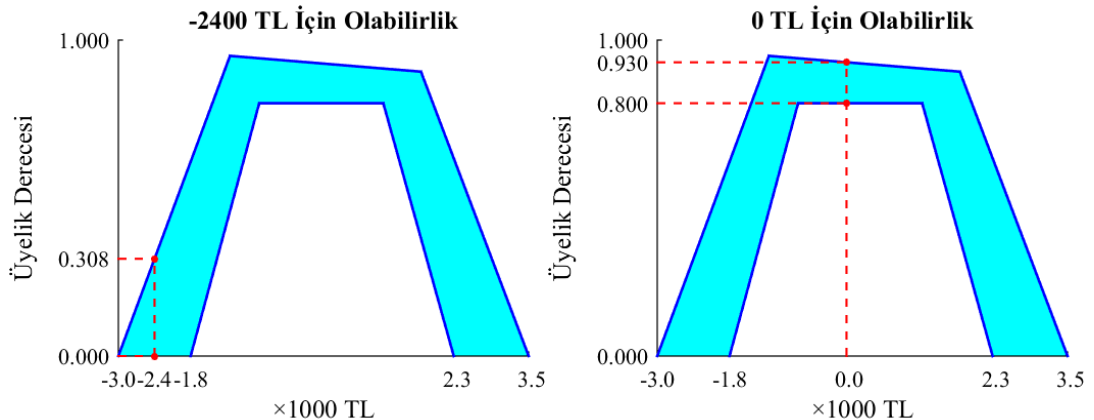
$$\widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V}^L = [-1834 \quad -759 \quad 1187 \quad 2291 \quad 0.80 \quad 0.80]$$

Yamuk aralık tip-2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme değerinin durulaştırılmış değerini belirten $\text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V})$ Denklem 2.58 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

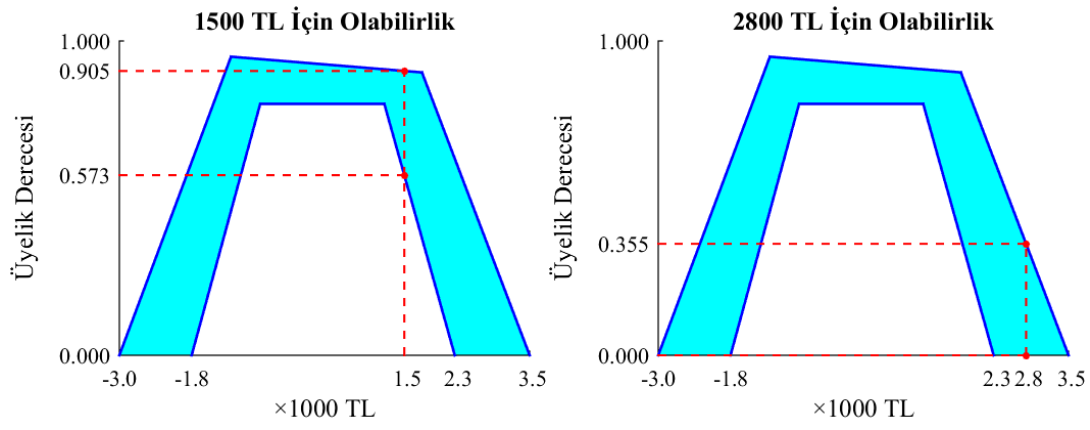
$$\begin{aligned} \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V}) = \frac{1}{2} & \left(\left(\frac{-2967 + \text{enk}(0.95, 0.90) \times (-1217)}{4} \right. \right. \\ & + \left. \frac{\text{enb}(0.95, 0.90) \times 1777 + 3465}{4} \right) \\ & + \left(\frac{-1834 + \text{enk}(0.80, 0.80) \times (-759)}{4} \right. \\ & \left. \left. + \frac{\text{enb}(0.80, 0.80) \times 1187 + 2291}{4} \right) \right) \end{aligned}$$

$$\text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{EUA}}\mathbf{V}) = 236 \text{ TL}$$

Eşdeğer düzgün ödeme değerinin -2400 TL, 0 TL olabilirliği Şekil 4.10’da ve 1500 TL ve 2800 TL olabilirliği Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Seçilen eşdeğer düzgün ödeme değerlerinin olabilirlikleri.



Şekil 4.11 : Seçilen eşdeğer düzgün ödeme değerlerinin olabilirlikleri.

5. ARALIK TİP-2 BULANIK YENİLEME ANALİZİ

Aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyeti, hurda değeri, sermaye kurtarma değerinin şimdiki değeri, sermaye kurtarma değeri, dönemsel işletme maliyetinin şimdiki değeri, dönemsel işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri ve toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti verileri matris formunda ele alınarak yenileme analizi hesaplamalarının düzenli bir şekilde yapılabilmesi ve geliştirilen modelin farklı problem büyüklüklerine adapte olması sağlanmıştır.

5.1 Üçgen Aralık Tip-2 Bulanık Yenileme Analizi

5.1.1 Dönemsel işletme maliyeti

Üçgen aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyetini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}$, $n \times 8$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.1 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}} = \left[\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^L \right] \quad (5.1)$$

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^U$ ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren $n \times 4$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.2 ve Denklem 5.3'te verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^U = \begin{bmatrix} aoc_{1_l}^U & aoc_{1_m}^U & aoc_{1_r}^U & H_{1_{aoc}}^U \\ aoc_{2_l}^U & aoc_{2_m}^U & aoc_{2_r}^U & H_{2_{aoc}}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ aoc_{t_l}^U & aoc_{t_m}^U & aoc_{t_r}^U & H_{t_{aoc}}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ aoc_{n_l}^U & aoc_{n_m}^U & aoc_{n_r}^U & H_{n_{aoc}}^U \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^L = \begin{bmatrix} aoc_{1_l}^L & aoc_{1_m}^L & aoc_{1_r}^L & H_{1_{aoc}}^L \\ aoc_{2_l}^L & aoc_{2_m}^L & aoc_{2_r}^L & H_{2_{aoc}}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ aoc_{t_l}^L & aoc_{t_m}^L & aoc_{t_r}^L & H_{t_{aoc}}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ aoc_{n_l}^L & aoc_{n_m}^L & aoc_{n_r}^L & H_{n_{aoc}}^L \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

$\mathbf{aoc}_l^U, \mathbf{aoc}_m^U, \mathbf{aoc}_r^U, \mathbf{H}_{aoc}^U, \mathbf{aoc}_l^L, \mathbf{aoc}_m^L, \mathbf{aoc}_r^L, \mathbf{H}_{aoc}^L$ n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\mathbf{AOC}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{AOC}}^L$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.4 ve Denklem 5.5'te tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}^U = [\mathbf{aoc}_l^U \quad \mathbf{aoc}_m^U \quad \mathbf{aoc}_r^U \quad \mathbf{H}_{aoc}^U] \quad (5.4)$$

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}^L = [\mathbf{aoc}_l^L \quad \mathbf{aoc}_m^L \quad \mathbf{aoc}_r^L \quad \mathbf{H}_{aoc}^L] \quad (5.5)$$

t . dönemdeki üçgen aralık tip-2 bulanık işletme maliyetini belirten ve $\widetilde{\mathbf{AOC}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{\mathbf{aoc}}_t$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.6-5.8'de verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{aoc}}_t = [\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^U \quad \widetilde{\mathbf{aoc}}_t^L] \quad (5.6)$$

$$\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^U = [aoc_{t_l}^U \quad aoc_{t_m}^U \quad aoc_{t_r}^U \quad H_{t_{aoc}}^U] \quad (5.7)$$

$$\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^L = [aoc_{t_l}^L \quad aoc_{t_m}^L \quad aoc_{t_r}^L \quad H_{t_{aoc}}^L] \quad (5.8)$$

$\widetilde{\mathbf{AOC}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.9'daki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{AOC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{aoc}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{aoc}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{aoc}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{aoc}}_n \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

5.1.2 Hurda değeri

Üçgen aralık tip-2 bulanık bulanık hurda değerini belirten $\widetilde{\mathbf{SV}}$, $n \times 8$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.10'da verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{SV}} = \begin{bmatrix} sv_{1_l}^U & sv_{1_m}^U & sv_{1_r}^U & H_{1_{sv}}^U & sv_{1_l}^L & sv_{1_m}^L & sv_{1_r}^L & H_{1_{sv}}^L \\ sv_{2_l}^U & sv_{2_m}^U & sv_{2_r}^U & H_{2_{sv}}^U & sv_{2_l}^L & sv_{2_m}^L & sv_{2_r}^L & H_{2_{sv}}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ sv_{t_l}^U & sv_{t_m}^U & sv_{t_r}^U & H_{t_{sv}}^U & sv_{t_l}^L & sv_{t_m}^L & sv_{t_r}^L & H_{t_{sv}}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ sv_{n_l}^U & sv_{n_m}^U & sv_{n_r}^U & H_{n_{sv}}^U & sv_{n_l}^L & sv_{n_m}^L & sv_{n_r}^L & H_{n_{sv}}^L \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}^U$ ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren $n \times 4$ boyutunda matrisler olmak üzere $\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}$ matrisi Denklem 5.11 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}^L \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

$\mathbf{sv}_l^U, \mathbf{sv}_m^U, \mathbf{sv}_r^U, \mathbf{H}_{sv}^U, \mathbf{i}_l^L, \mathbf{sv}_m^L, \mathbf{sv}_r^L, \mathbf{H}_{sv}^L$ n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.12’de tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}} = [\mathbf{sv}_l^U \quad \mathbf{sv}_m^U \quad \mathbf{sv}_r^U \quad \mathbf{H}_{sv}^U \quad \mathbf{sv}_l^L \quad \mathbf{sv}_m^L \quad \mathbf{sv}_r^L \quad \mathbf{H}_{sv}^L] \quad (5.12)$$

t . dönemdeki üçgen aralık tip-2 bulanık hurda değerini belirten ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.13’te verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t = [sv_{t_l}^U \quad sv_{t_m}^U \quad sv_{t_r}^U \quad H_{t_{sv}}^U \quad sv_{t_l}^L \quad sv_{t_m}^L \quad sv_{t_r}^L \quad H_{t_{sv}}^L] \quad (5.13)$$

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.14’deki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_1 \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_n \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

5.1.3 Sermaye kurtarma değerinin şimdiki değeri

Üçgen aralık tip-2 bulanık sermaye kurtarma değerinin şimdiki değerini belirten

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR}$, $n \times 8$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.15 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR} = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR}^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR}^L] \quad (5.15)$$

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR}^U$ ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 4$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.16 ve Denklem 5.17’de verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR}^U = \begin{bmatrix} npv_{cr1_l}^U & npv_{cr1_m}^U & npv_{cr1_r}^U & npv_{H1_{cr}}^U \\ npv_{cr2_l}^U & npv_{cr2_m}^U & npv_{cr2_r}^U & npv_{H2_{cr}}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ npv_{cr_{t_l}}^U & npv_{cr_{t_m}}^U & npv_{cr_{t_r}}^U & npv_{H_{t_{cr}}}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ npv_{cr_{n_l}}^U & npv_{cr_{n_m}}^U & npv_{cr_{n_r}}^U & npv_{H_{n_{cr}}}^U \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{L}} = \begin{bmatrix} {}^{\text{npv}}cr_{1l}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{1m}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{1r}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}H_{1cr}^{\text{L}} \\ {}^{\text{npv}}cr_{2l}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{2m}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{2r}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}H_{2cr}^{\text{L}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ {}^{\text{npv}}cr_{tl}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{tm}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{tr}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}H_{tcr}^{\text{L}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ {}^{\text{npv}}cr_{nl}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{nm}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{nr}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}H_{n_{cr}}^{\text{L}} \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

${}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_l^{\text{U}}, {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_m^{\text{U}}, {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_r^{\text{U}}, {}^{\text{npv}}\mathbf{H}_{\text{cr}}^{\text{U}}, {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_l^{\text{L}}, {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_m^{\text{L}}, {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_r^{\text{L}}, {}^{\text{npv}}\mathbf{H}_{\text{cr}}^{\text{L}}$ n boyutunda vektörler olmak üzere $\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{U}}$ ve $\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{L}}$ matrisleri, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.18 ve Denklem 5.19'da tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{U}} = \begin{bmatrix} {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_l^{\text{U}} & {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_m^{\text{U}} & {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_r^{\text{U}} & {}^{\text{npv}}\mathbf{H}_{\text{cr}}^{\text{U}} \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{L}} = \begin{bmatrix} {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_l^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_m^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}\mathbf{cr}_r^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}\mathbf{H}_{\text{cr}}^{\text{L}} \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Ekipmanın t dönem kullanılmasının üçgen aralık tip-2 bulanık toplam eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten ve $\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}$ matrisinin t . satırı olan ${}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_t$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.20-5.22'de verilmektedir.

$${}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_t = \begin{bmatrix} {}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_t^{\text{U}} & {}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_t^{\text{L}} \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

$${}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_t^{\text{U}} = \begin{bmatrix} {}^{\text{npv}}cr_{tl}^{\text{U}} & {}^{\text{npv}}cr_{tm}^{\text{U}} & {}^{\text{npv}}cr_{tr}^{\text{U}} & {}^{\text{npv}}H_{tcr}^{\text{U}} \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

$${}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_t^{\text{L}} = \begin{bmatrix} {}^{\text{npv}}cr_{tl}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{tm}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}cr_{tr}^{\text{L}} & {}^{\text{npv}}H_{tcr}^{\text{L}} \end{bmatrix} \quad (5.22)$$

$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.23'teki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}} = \begin{bmatrix} {}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_1 \\ {}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_2 \\ \vdots \\ {}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_t \\ \vdots \\ {}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_n \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

${}^{\text{npv}}\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_t$ matrisinin elemanları Denklem 5.24-5.31 ile hesaplanır.

$${}^{\text{npv}}cr_{tl}^{\text{U}} = \frac{sv_{t_l}^{\text{U}}}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'}^{\text{U}})} + FC_l^{\text{U}} \quad (5.24)$$

$$npv cr_{t_m}^U = \frac{sv_{t_m}^U}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_m}^U)} + FC_m^U \quad (5.25)$$

$$npv cr_{t_r}^U = \frac{sv_{t_r}^U}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_l}^U)} + FC_r^U \quad (5.26)$$

$$npv H_{t_{cr}}^U = enk(H_{1_i}^U, H_{2_i}^U, \dots, H_{t_i}^U, H_{t_{sv}}^U, H_{FC}^U) \quad (5.27)$$

$$npv cr_{t_l}^L = \frac{sv_{t_l}^L}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_r}^L)} + FC_l^L \quad (5.28)$$

$$npv cr_{t_m}^L = \frac{sv_{t_m}^L}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_m}^L)} + FC_m^L \quad (5.29)$$

$$npv cr_{t_r}^L = \frac{sv_{t_r}^L}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_l}^L)} + FC_r^L \quad (5.30)$$

$$npv H_{t_{cr}}^L = enk(H_{1_i}^L, H_{2_i}^L, \dots, H_{t_i}^L, H_{t_{sv}}^L, H_{FC}^L) \quad (5.31)$$

5.1.4 Sermaye kurtarma değeri

Üçgen aralık tip-2 bulanık sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}$, $n \times 8$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.32'de verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}} = \begin{bmatrix} cr_{1_l}^U & cr_{1_m}^U & cr_{1_r}^U & H_{1_{cr}}^U & cr_{1_l}^L & cr_{1_m}^L & cr_{1_r}^L & H_{1_{cr}}^L \\ cr_{2_l}^U & cr_{2_m}^U & cr_{2_r}^U & H_{2_{cr}}^U & cr_{2_l}^L & cr_{2_m}^L & cr_{2_r}^L & H_{2_{cr}}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cr_{t_l}^U & cr_{t_m}^U & cr_{t_r}^U & H_{t_{cr}}^U & cr_{t_l}^L & cr_{t_m}^L & cr_{t_r}^L & H_{t_{cr}}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cr_{n_l}^U & cr_{n_m}^U & cr_{n_r}^U & H_{n_{cr}}^U & cr_{n_l}^L & cr_{n_m}^L & cr_{n_r}^L & H_{n_{cr}}^L \end{bmatrix} \quad (5.32)$$

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^U$ ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren $n \times 4$ boyutunda matrisler olmak üzere $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}$ matrisi Denklem 5.33 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}} = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^L] \quad (5.33)$$

$\mathbf{cr}_1^U, \mathbf{cr}_m^U, \mathbf{cr}_r^U, \mathbf{H}_{cr}^U, \mathbf{cr}_1^L, \mathbf{cr}_m^L, \mathbf{cr}_r^L, \mathbf{H}_{cr}^L$ n boyutunda vektörler olmak üzere $\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.34'te tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\mathbf{CR}} = [\mathbf{cr}_1^U \quad \mathbf{cr}_m^U \quad \mathbf{cr}_r^U \quad \mathbf{H}_{cr}^U \quad \mathbf{cr}_1^L \quad \mathbf{cr}_m^L \quad \mathbf{cr}_r^L \quad \mathbf{H}_{cr}^L] \quad (5.34)$$

Ekipmanın t dönem kullanılmasının üçgen aralık tip-2 bulanık sermaye kurtarma değerini belirten ve $\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{\mathbf{cr}}_t$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.35'te verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{cr}}_t = [cr_{t_l}^U \quad cr_{t_m}^U \quad cr_{t_r}^U \quad H_{t_{cr}}^U \quad cr_{t_l}^L \quad cr_{t_m}^L \quad cr_{t_r}^L \quad H_{t_{cr}}^L] \quad (5.35)$$

$\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.36'daki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{CR}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{cr}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_n \end{bmatrix} \quad (5.36)$$

1×8 boyutundaki $\widetilde{\mathbf{cr}}_t$ matrisi, daha önceden hesaplanan 1×8 boyutundaki ${}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_t$ matrisi, $n \times 8$ boyutundaki $\tilde{\mathbf{I}}$ matrisi ve t pozitif ve $\tilde{\mathbf{I}}$ matrisinin satır sayısından büyük olmayan bir doğal sayı olmak üzere EUAV fonksiyonu kullanılarak Denklem 5.37 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{cr}}_t = \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_t, \tilde{\mathbf{I}}, t) \quad (5.37)$$

Buradan $\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisi Denklem 5.38 ile bulunur.

$$\widetilde{\mathbf{CR}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{cr}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_1, \tilde{\mathbf{I}}, 1) \\ \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_2, \tilde{\mathbf{I}}, 2) \\ \vdots \\ \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_t, \tilde{\mathbf{I}}, t) \\ \vdots \\ \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_n, \tilde{\mathbf{I}}, n) \end{bmatrix} \quad (5.38)$$

$\widetilde{\mathbf{SV}}$ ve $\tilde{\mathbf{I}}$ matrisi $n \times 8$ boyutunda, $\widetilde{\mathbf{FC}}$ matrisi 1×8 boyutunda olmak üzere $n \times 8$ boyutundaki $\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisi CR fonksiyonu kullanılarak Denklem 5.39 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{CR}} = \text{CR}(\widetilde{\mathbf{SV}}, \widetilde{\mathbf{FC}}, \tilde{\mathbf{I}}) \quad (5.39)$$

5.1.5 Dönemsel işletme maliyetinin şimdiki değeri

Üçgen aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyetinin şimdiki değerini belirten $\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}$, $n \times 8$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.40 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U & \widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L \end{bmatrix} \quad (5.40)$$

$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U$ ve $\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerini içeren $n \times 4$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.41 ve Denklem 5.42’de verilmektedir.

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U = \begin{bmatrix} {}^{npv}aoc_{1l}^U & {}^{npv}aoc_{1m}^U & {}^{npv}aoc_{1r}^U & {}^{npv}H_{1aoc}^U \\ {}^{npv}aoc_{2l}^U & {}^{npv}aoc_{2m}^U & {}^{npv}aoc_{2r}^U & {}^{npv}H_{2aoc}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ {}^{npv}aoc_{tl}^U & {}^{npv}aoc_{tm}^U & {}^{npv}aoc_{tr}^U & {}^{npv}H_{taoc}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ {}^{npv}aoc_{nl}^U & {}^{npv}aoc_{nm}^U & {}^{npv}aoc_{nr}^U & {}^{npv}H_{naoc}^U \end{bmatrix} \quad (5.41)$$

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L = \begin{bmatrix} {}^{npv}aoc_{1l}^L & {}^{npv}aoc_{1m}^L & {}^{npv}aoc_{1r}^L & {}^{npv}H_{1aoc}^L \\ {}^{npv}aoc_{2l}^L & {}^{npv}aoc_{2m}^L & {}^{npv}aoc_{2r}^L & {}^{npv}H_{2aoc}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ {}^{npv}aoc_{tl}^L & {}^{npv}aoc_{tm}^L & {}^{npv}aoc_{tr}^L & {}^{npv}H_{taoc}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ {}^{npv}aoc_{nl}^L & {}^{npv}aoc_{nm}^L & {}^{npv}aoc_{nr}^L & {}^{npv}H_{naoc}^L \end{bmatrix} \quad (5.42)$$

${}^{npv}\mathbf{aoc}_l^U$, ${}^{npv}\mathbf{aoc}_m^U$, ${}^{npv}\mathbf{aoc}_r^U$, ${}^{npv}\mathbf{H}_{aoc}^U$, ${}^{npv}\mathbf{aoc}_l^L$, ${}^{npv}\mathbf{aoc}_m^L$, ${}^{npv}\mathbf{aoc}_r^L$, ${}^{npv}\mathbf{H}_{aoc}^L$ n boyutunda vektörler olmak üzere $\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U$ ve $\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L$ matrisleri, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.43 ve Denklem 5.44’te tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U = \begin{bmatrix} {}^{npv}\mathbf{aoc}_l^U & {}^{npv}\mathbf{aoc}_m^U & {}^{npv}\mathbf{aoc}_r^U & {}^{npv}\mathbf{H}_{aoc}^U \end{bmatrix} \quad (5.43)$$

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L = \begin{bmatrix} {}^{npv}\mathbf{aoc}_l^L & {}^{npv}\mathbf{aoc}_m^L & {}^{npv}\mathbf{aoc}_r^L & {}^{npv}\mathbf{H}_{aoc}^L \end{bmatrix} \quad (5.44)$$

Ekipmanın t dönem kullanılmasının üçgen aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyetinin şimdiki değerini belirten ve $\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}$ matrisinin t . satırı olan ${}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.45-5.47’de verilmektedir.

$${}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t = \begin{bmatrix} {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^U & {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^L \end{bmatrix} \quad (5.45)$$

$${}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^U = \begin{bmatrix} {}^{npv}aoc_{tl}^U & {}^{npv}aoc_{tm}^U & {}^{npv}aoc_{tr}^U & {}^{npv}H_{taoc}^U \end{bmatrix} \quad (5.46)$$

$${}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^L = \begin{bmatrix} {}^{npv}aoc_{t_l}^L & {}^{npv}aoc_{t_m}^L & {}^{npv}aoc_{t_r}^L & {}^{npv}H_{t_{aoc}}^L \end{bmatrix} \quad (5.47)$$

$\widetilde{\mathbf{NPV}}_{AOC}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.48'deki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{NPV}}_{AOC} = \begin{bmatrix} {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_1 \\ {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_2 \\ \vdots \\ {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t \\ \vdots \\ {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_n \end{bmatrix} \quad (5.48)$$

${}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t$ matrisinin elemanları Denklem 5.49-5.56 ile hesaplanır.

$${}^{npv}aoc_{t_l}^U = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t_l'}^U}{\Pi_{t'=1}^{t''} (1 + i_{t_l''}^U)} \right) \quad (5.49)$$

$${}^{npv}aoc_{t_m}^U = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t_m'}^U}{\Pi_{t'=1}^{t''} (1 + i_{t_m''}^U)} \right) \quad (5.50)$$

$${}^{npv}aoc_{t_r}^U = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t_r'}^U}{\Pi_{t'=1}^{t''} (1 + i_{t_r''}^U)} \right) \quad (5.51)$$

$${}^{npv}H_{t_{aoc}}^U = enk(H_{1_{aoc}}^U, H_{2_{aoc}}^U, \dots, H_{t_{aoc}}^U, H_{1_i}^U, H_{2_i}^U, \dots, H_{t_i}^U) \quad (5.52)$$

$${}^{npv}aoc_{t_l}^L = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t_l'}^L}{\Pi_{t'=1}^{t''} (1 + i_{t_l''}^L)} \right) \quad (5.53)$$

$${}^{npv}aoc_{t_m}^L = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t_m'}^L}{\Pi_{t'=1}^{t''} (1 + i_{t_m''}^L)} \right) \quad (5.54)$$

$${}^{npv}aoc_{t_r}^L = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t_r'}^L}{\Pi_{t'=1}^{t''} (1 + i_{t_r''}^L)} \right) \quad (5.55)$$

$${}^{npv}H_{t_{aoc}}^L = enk(H_{1_{aoc}}^L, H_{2_{aoc}}^L, \dots, H_{t_{aoc}}^L, H_{1_i}^L, H_{2_i}^L, \dots, H_{t_i}^L) \quad (5.56)$$

5.1.6 Dönemsel işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri

Üçgen aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\mathbf{EAOC}}$, $n \times 8$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.57 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}} = [\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U \quad \widetilde{\mathbf{EAOC}}^L] \quad (5.57)$$

$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{EAOC}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 4$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.58 ve Denklem 5.59'da verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U = \begin{bmatrix} eaoc_{1l}^U & eaoc_{1m}^U & eaoc_{1r}^U & H_{1eaoc}^U \\ eaoc_{2l}^U & eaoc_{2m}^U & eaoc_{2r}^U & H_{2eaoc}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ eaoc_{tl}^U & eaoc_{tm}^U & eaoc_{tr}^U & H_{teaoc}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ eaoc_{nl}^U & eaoc_{nm}^U & eaoc_{nr}^U & H_{neaoc}^U \end{bmatrix} \quad (5.58)$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^L = \begin{bmatrix} eaoc_{1l}^L & eaoc_{1m}^L & eaoc_{1r}^L & H_{1eaoc}^L \\ eaoc_{2l}^L & eaoc_{2m}^L & eaoc_{2r}^L & H_{2eaoc}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ eaoc_{tl}^L & eaoc_{tm}^L & eaoc_{tr}^L & H_{teaoc}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ eaoc_{nl}^L & eaoc_{nm}^L & eaoc_{nr}^L & H_{neaoc}^L \end{bmatrix} \quad (5.59)$$

$eaoc_l^U, eaoc_m^U, eaoc_r^U, H_{eaoc}^U, eaoc_l^L, eaoc_m^L, eaoc_r^L, H_{eaoc}^L$ n boyutunda vektörler olmak üzere $\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{EAOC}}^L$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.60 ve Denklem 5.61'de tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U = [eaoc_l^U \quad eaoc_m^U \quad eaoc_r^U \quad H_{eaoc}^U] \quad (5.60)$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^L = [eaoc_l^L \quad eaoc_m^L \quad eaoc_r^L \quad H_{eaoc}^L] \quad (5.61)$$

Ekipmanın t dönem kullanılmasının üçgen aralık tip-2 dönemsel işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten ve $\widetilde{\mathbf{EAOC}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{eaoc}_t$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.62-5.64'te verilmektedir.

$$\widetilde{eaoc}_t = [\widetilde{eaoc}_t^U \quad \widetilde{eaoc}_t^L] \quad (5.62)$$

$$\widetilde{eaoc}_t^U = [eaoc_{tl}^U \quad eaoc_{tm}^U \quad eaoc_{tr}^U \quad H_{teaoc}^U] \quad (5.63)$$

$$\widetilde{\mathbf{eaoc}}_t^L = [eaoc_{t_l}^L \quad eaoc_{t_m}^L \quad eaoc_{t_r}^L \quad H_{t_{eaoc}}^L] \quad (5.64)$$

$\widetilde{\mathbf{EAOC}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.65'teki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{eaoc}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{eaoc}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{eaoc}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{eaoc}}_n \end{bmatrix} \quad (5.65)$$

1×8 boyutundaki $\widetilde{\mathbf{eaoc}}_t$ matrisi, daha önceden hesaplanan 1×8 boyutundaki $^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t$ matrisi, $n \times 8$ boyutundaki $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisi ve t pozitif ve $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisinin satır sayısından büyük olmayan bir doğal sayı olmak üzere EUAV fonksiyonu kullanılarak Denklem 5.66 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{eaoc}}_t = \text{EUAV} \left(^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t, \widetilde{\mathbf{I}}, t \right) \quad (5.66)$$

Buradan $\widetilde{\mathbf{EAOC}}$ matrisi Denklem 5.67 ile bulunur.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{eaoc}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{eaoc}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{eaoc}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{eaoc}}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{EUAV} \left(^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_1, \widetilde{\mathbf{I}}, 1 \right) \\ \text{EUAV} \left(^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_2, \widetilde{\mathbf{I}}, 2 \right) \\ \vdots \\ \text{EUAV} \left(^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t, \widetilde{\mathbf{I}}, t \right) \\ \vdots \\ \text{EUAV} \left(^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_n, \widetilde{\mathbf{I}}, n \right) \end{bmatrix} \quad (5.67)$$

$\widetilde{\mathbf{AOC}}$ ve $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisi $n \times 8$ boyutunda olmak üzere $n \times 8$ boyutundaki $\widetilde{\mathbf{EAOC}}$ matrisi EAOC fonksiyonu kullanılarak Denklem 5.68 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}} = \text{EAOC} \left(\widetilde{\mathbf{AOC}}, \widetilde{\mathbf{I}} \right) \quad (5.68)$$

5.1.7 Toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti

Üçgen aralık tip-2 bulanık toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\mathbf{EUAC}}$, $n \times 8$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.69 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{EUAC}}^U & \widetilde{\mathbf{EUAC}}^L \end{bmatrix} \quad (5.69)$$

$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{EUAC}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 4$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.70 ve Denklem 5.71’de verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U = \begin{bmatrix} euac_{1_l}^U & euac_{1_m}^U & euac_{1_r}^U & H_{1_{euac}}^U \\ euac_{2_l}^U & euac_{2_m}^U & euac_{2_r}^U & H_{2_{euac}}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ euac_{t_l}^U & euac_{t_m}^U & euac_{t_r}^U & H_{t_{euac}}^U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ euac_{n_l}^U & euac_{n_m}^U & euac_{n_r}^U & H_{n_{euac}}^U \end{bmatrix} \quad (5.70)$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^L = \begin{bmatrix} euac_{1_l}^L & euac_{1_m}^L & euac_{1_r}^L & H_{1_{euac}}^L \\ euac_{2_l}^L & euac_{2_m}^L & euac_{2_r}^L & H_{2_{euac}}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ euac_{t_l}^L & euac_{t_m}^L & euac_{t_r}^L & H_{t_{euac}}^L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ euac_{n_l}^L & euac_{n_m}^L & euac_{n_r}^L & H_{n_{euac}}^L \end{bmatrix} \quad (5.71)$$

$euac_l^U, euac_m^U, euac_r^U, H_{euac}^U, euac_l^L, euac_m^L, euac_r^L, H_{euac}^L$ n boyutunda vektörler olmak üzere $\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{EUAC}}^L$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.72 ve Denklem 5.73’te tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U = [euac_l^U \quad euac_m^U \quad euac_r^U \quad H_{euac}^U] \quad (5.72)$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^L = [euac_l^L \quad euac_m^L \quad euac_r^L \quad H_{euac}^L] \quad (5.73)$$

Ekipmanın t dönem kullanılmasının üçgen aralık tip-2 bulanık toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten ve $\widetilde{\mathbf{EUAC}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{euac}_t$, 1×8 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.74-5.76’de verilmektedir.

$$\widetilde{euac}_t = [\widetilde{euac}_t^U \quad \widetilde{euac}_t^L] \quad (5.74)$$

$$\widetilde{euac}_t^U = [euac_{t_l}^U \quad euac_{t_m}^U \quad euac_{t_r}^U \quad H_{t_{euac}}^U] \quad (5.75)$$

$$\widetilde{euac}_t^L = [euac_{t_l}^L \quad euac_{t_m}^L \quad euac_{t_r}^L \quad H_{t_{euac}}^L] \quad (5.76)$$

$\widetilde{\mathbf{EUAC}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.77’deki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{euac}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{euac}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{euac}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{euac}}_n \end{bmatrix} \quad (5.77)$$

Denklem 5.78 kullanılarak, $\widetilde{\mathbf{euac}}_t$ matrisinin elemanları Denklem 5.79-5.80 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{euac}}_t = \widetilde{\mathbf{cr}}_t \oplus \widetilde{\mathbf{eaoc}}_t \quad (5.78)$$

$$euac_{t_l}^U = cr_{t_l}^U + eaoc_{t_l}^U \quad (5.79)$$

$$euac_{t_m}^U = cr_{t_m}^U + eaoc_{t_m}^U \quad (5.80)$$

$$euac_{t_r}^U = cr_{t_r}^U + eaoc_{t_r}^U \quad (5.81)$$

$$H_{t_{euac}}^U = enk(H_{t_{cr}}^U, H_{t_{eaoc}}^U) \quad (5.82)$$

$$euac_{t_l}^L = cr_{t_l}^L + eaoc_{t_l}^L \quad (5.83)$$

$$euac_{t_m}^L = cr_{t_m}^L + eaoc_{t_m}^L \quad (5.84)$$

$$euac_{t_r}^L = cr_{t_r}^L + eaoc_{t_r}^L \quad (5.85)$$

$$H_{t_{euac}}^L = enk(H_{t_{cr}}^L, H_{t_{eaoc}}^L) \quad (5.86)$$

$\widetilde{\mathbf{AOC}}$, $\widetilde{\mathbf{SV}}$ ve $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisi $n \times 8$ boyutunda, $\widetilde{\mathbf{FC}}$ matrisi 1×8 boyutunda olmak üzere $n \times 8$ boyutundaki $\widetilde{\mathbf{EUAC}}$ matrisi EUAC fonksiyonu kullanılarak Denklem 5.87 ile hesaplanır

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}} = \text{EUAC}(\widetilde{\mathbf{AOC}}, \widetilde{\mathbf{SV}}, \widetilde{\mathbf{FC}}, \widetilde{\mathbf{I}}) \quad (5.87)$$

5.1.8 Modelin geçerliliğinin sınanması

Üçgen aralık tip-2 bulanık yenileme analizinin geçerliliğini test edebilmek için faiz oranının, piyasa değerlerinin ve işletme maliyetlerinin kesin sayılarla tanımlandığı aşağıdaki örnek için yıllara göre sermaye kurtarma değeri, işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri ve toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti üçgen aralık tip-2

bulanık yenileme analizi kullanılarak hesaplanarak durulaştırılan değerler, klasik yöntemle hesaplanan değerlerle karşılaştırılacaktır.

Yenileme analizi örneği

Faiz oranının %9 olduğu piyasa koşullarında bir ekipmana ait piyasa değerleri ve işletme maliyetleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Ekipmanın yıllara göre sermaye kurtarma değerini, işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini ve toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini hesaplayınız.

Çizelge 5.1 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.

Yıl	Piyasa Değeri (TL)	İşletme Maliyeti (TL)
1	80000	-10000
2	65500	-12500
3	55500	-15000
4	45000	-20500
5	30500	-25500

Aşağıda faiz oranı, ekipmanın ilk yatırım maliyeti, piyasa değerleri ve işletme maliyetleri matris formunda yazılmıştır.

Faiz oranı

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 \end{bmatrix}$$

İlk yatırım maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{FC}} = [\widetilde{\mathbf{FC}}^U \quad \widetilde{\mathbf{FC}}^L]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^U = [-100000 \quad -100000 \quad -100000 \quad 1.00]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^L = [-100000 \quad -100000 \quad -100000 \quad 1.00]$$

Hurda değeri

$$\widetilde{\mathbf{SV}} = \begin{bmatrix} 80000 & 80000 & 80000 & 1.00 & 80000 & 80000 & 80000 & 1.00 \\ 65500 & 65500 & 65500 & 1.00 & 65500 & 65500 & 65500 & 1.00 \\ 55500 & 55500 & 55500 & 1.00 & 55500 & 55500 & 55500 & 1.00 \\ 45000 & 45000 & 45000 & 1.00 & 45000 & 45000 & 45000 & 1.00 \\ 30500 & 30500 & 30500 & 1.00 & 30500 & 30500 & 30500 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Yıllık işletme maliyeti

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}} = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^L]$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^U = \begin{bmatrix} -10000 & -10000 & -10000 & 1.00 \\ -12500 & -12500 & -12500 & 1.00 \\ -15000 & -15000 & -15000 & 1.00 \\ -20500 & -20500 & -20500 & 1.00 \\ -25500 & -25500 & -25500 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}^L = \begin{bmatrix} -10000 & -10000 & -10000 & 1.00 \\ -12500 & -12500 & -12500 & 1.00 \\ -15000 & -15000 & -15000 & 1.00 \\ -20500 & -20500 & -20500 & 1.00 \\ -25500 & -25500 & -25500 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}$ matrisi, CR fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}} = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^L] = \text{CR}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{I}}})$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^U = \begin{bmatrix} -29000 & -29000 & -29000 & 1.00 \\ -25507 & -25507 & -25507 & 1.00 \\ -22575 & -22575 & -22575 & 1.00 \\ -21027 & -21027 & -21027 & 1.00 \\ -20613 & -20613 & -20613 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^L = \begin{bmatrix} -29000 & -29000 & -29000 & 1.00 \\ -25507 & -25507 & -25507 & 1.00 \\ -22575 & -22575 & -22575 & 1.00 \\ -21027 & -21027 & -21027 & 1.00 \\ -20613 & -20613 & -20613 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın t yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değerinin durulaştırılmış değerini belirten $\text{DTriT}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_t)$, $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} \text{DTriT}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_1) \\ \text{DTriT}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_2) \\ \text{DTriT}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_3) \\ \text{DTriT}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_4) \\ \text{DTriT}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{cr}}}_5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -29000 \\ -25507 \\ -22575 \\ -21027 \\ -20613 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{EAO}}}$ matrisi, EAO fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{EAO}}} = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{EAO}}}^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{EAO}}}^L] = \text{EAO}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{I}}})$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U = \begin{bmatrix} -10000 & -10000 & -10000 & 1.00 \\ -11196 & -11196 & -11196 & 1.00 \\ -12357 & -12357 & -12357 & 1.00 \\ -14137 & -14137 & -14137 & 1.00 \\ -16036 & -16036 & -16036 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^L = \begin{bmatrix} -10000 & -10000 & -10000 & 1.00 \\ -11196 & -11196 & -11196 & 1.00 \\ -12357 & -12357 & -12357 & 1.00 \\ -14137 & -14137 & -14137 & 1.00 \\ -16036 & -16036 & -16036 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın t yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerinin durulaştırılmış değerini belirten $D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_t)$, $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_1) \\ D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_2) \\ D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_3) \\ D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_4) \\ D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10000 \\ -11196 \\ -12357 \\ -14137 \\ -16036 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\mathbf{EUAC}}$ matrisi, EUAC fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}} = [\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U \quad \widetilde{\mathbf{EUAC}}^L] = \text{EUAC}(\widetilde{\mathbf{AOC}}, \widetilde{\mathbf{SV}}, \widetilde{\mathbf{FC}}, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U = \begin{bmatrix} -39000 & -39000 & -39000 & 1.00 \\ -36703 & -36703 & -36703 & 1.00 \\ -34932 & -34932 & -34932 & 1.00 \\ -35164 & -35164 & -35164 & 1.00 \\ -36649 & -36649 & -36649 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^L = \begin{bmatrix} -39000 & -39000 & -39000 & 1.00 \\ -36703 & -36703 & -36703 & 1.00 \\ -34932 & -34932 & -34932 & 1.00 \\ -35164 & -35164 & -35164 & 1.00 \\ -36649 & -36649 & -36649 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın t yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetinin durulaştırılmış değerini belirten $D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{euac}}_t)$, $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} DTriT(\overline{euac}_1) \\ DTriT(\overline{euac}_2) \\ DTriT(\overline{euac}_3) \\ DTriT(\overline{euac}_4) \\ DTriT(\overline{euac}_5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -39000 \\ -36703 \\ -34932 \\ -35164 \\ -36649 \end{bmatrix}$$

Klasik yöntemle hesaplanan yıllara göre sermaye kurtarma değeri, işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri ve toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Yıllara göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.

Yıl (k)	CR_k	$EAOC_k$	$EUAC_k$
1	-29000	-10000	-39000
2	-25507	-11196	-36703
3	-22575	-12357	-34932
4	-21027	-14137	-35164
5	-20613	-16036	-36649

Geliştirilen üçgen aralık tip-2 bulanık yenileme analizi modeli kullanılarak hesaplanıp durulaştırılan değerler, klasik yöntemle hesaplanan değerlerle aynı olduğundan önerilen modelin geçerliliği kanıtlanmıştır.

5.1.9 Üçgen aralık tip-2 bulanık yenileme analizi uygulaması

Kötümser piyasa koşullarında ve sonsuz planlama ufku içerisindeki bir yenileme analizinde faiz oranı, savunucunun ve adayın piyasa değerleri ile yıllık işletme maliyetlerinin beklenen değeri üçgen aralık tip-2 bulanık sayılarla tanımlanarak Çizelge 5.3-5.7’de verilmiştir. Savunucu ve aday için ekonomik kullanım ömrünü belirleyiniz ve yenileme kararını alınız.

Çizelge 5.3 : Kötümser piyasa koşulları için faiz oranı.

Yıl	Faiz Oranı (%)
1	((8.25, 8.50, 8.75; 1.00), (8.40, 8.50, 8.60; 0.90))
2	((8.45, 8.75, 9.05; 1.00), (8.60, 8.75, 8.90; 0.90))
3	((8.60, 9.00, 9.40; 1.00), (8.80, 9.00, 9.20; 0.90))
4	((8.80, 9.25, 9.70; 1.00), (9.00, 9.25, 9.50; 0.85))
5	((9.00, 9.50, 10.00; 1.00), (9.20, 9.50, 9.80; 0.80))

Çizelge 5.4 : Savunucunun piyasa değeri.

Yıl	Piyasa Değeri (× 1000 TL)
-1	5.5
0	((3.0, 4.0, 5.0; 1.00), (3.5, 4.0, 4.5; 0.90))
1	((1.6, 2.1, 2.6; 1.00), (1.8, 2.1, 2.4; 0.90))
2	((0.4, 1.2, 1.8; 1.00), (0.7, 1.2, 1.6; 0.85))
3	((0.1, 0.5, 0.9; 1.00), (0.3, 0.5, 0.7; 0.80))

Çizelge 5.5 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.

Yıl	Yıllık İşletme Maliyeti (× 1000 TL)
1	((-16.1, -15.1, -13.6; 1.00), (-15.6, -15.1, -14.1; 0.90))
2	((-19.5, -17.6, -15.5; 1.00), (-18.8, -17.5, -16.5; 0.85))
3	((-23.2, -21.2, -19.0; 1.00), (-22.5, -21.3, -19.8; 0.80))

Çizelge 5.6 : Adayın piyasa değeri.

Yıl	Piyasa Değeri (× 1000 TL)
0	((18.0, 20.0, 22.0; 1.00), (19.0, 20.0, 21.0; 0.90))
1	((9.0, 10.0, 11.0; 1.00), (9.7, 10.0, 10.5; 0.90))
2	((6.0, 8.0, 10.0; 1.00), (7.0, 8.0, 9.1; 0.90))
3	((3.4, 5.1, 7.0; 1.00), (4.3, 5.0, 6.1; 0.85))
4	((3.0, 4.7, 6.2; 1.00), (3.7, 4.8, 5.5; 0.80))
5	((1.2, 2.8, 4.0; 1.00), (1.9, 2.7, 3.3; 0.80))

Çizelge 5.7 : Adayın yıllık işletme maliyeti.

Yıl	Yıllık İşletme Maliyeti (× 1000 TL)
1	((-6.0, -5.0, -3.5; 1.00), (-5.5, -5.0, -4.0; 0.90))
2	((-8.5, -6.5, -4.3; 1.00), (-7.5, -6.5, -5.5; 0.90))
3	((-12.6, -10.5, -7.7; 1.00), (-11.5, -10.5, -9.0; 0.90))
4	((-14.0, -11.0, -8.2; 1.00), (-12.6, -11.0, -9.4; 0.85))
5	((-18.0, -15.0, -11.0; 1.00), (-16.5, -14.9, -12.5; 0.80))

Üçgen aralık tip-2 faiz oranı, savunucunun ve adayın ilk yatırım maliyeti, hurda değerleri ve işletme maliyetleri verileri aşağıda matris formunda yazılmıştır.

Faiz oranı

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} 0.0825 & 0.0850 & 0.0875 & 1.00 & 0.0840 & 0.0850 & 0.0860 & 0.90 \\ 0.0845 & 0.0875 & 0.0905 & 1.00 & 0.0860 & 0.0875 & 0.0890 & 0.90 \\ 0.0860 & 0.0900 & 0.0940 & 1.00 & 0.0880 & 0.0900 & 0.0920 & 0.90 \\ 0.0880 & 0.0925 & 0.0970 & 1.00 & 0.0900 & 0.0925 & 0.0950 & 0.85 \\ 0.0900 & 0.0950 & 0.1000 & 1.00 & 0.0920 & 0.0950 & 0.0980 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun ilk yatırım maliyeti

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_D = [-5000 \quad -4000 \quad -3000 \quad 1.00 \quad -4500 \quad -4000 \quad -3500 \quad 0.90]$$

Savunucunun hurda değeri

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}_D = \begin{bmatrix} 1600 & 2100 & 2600 & 1.00 & 1800 & 2100 & 2400 & 0.90 \\ 400 & 1200 & 1800 & 1.00 & 700 & 1200 & 1600 & 0.85 \\ 100 & 500 & 900 & 1.00 & 300 & 500 & 700 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun yıllık işletme maliyeti

$$\begin{aligned} \widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_D &= [\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_D^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_D^L] \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_D^U &= \begin{bmatrix} -16100 & -15100 & -13600 & 1.00 \\ -19500 & -17600 & -15500 & 1.00 \\ -23200 & -21200 & -19000 & 1.00 \end{bmatrix} \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_D^L &= \begin{bmatrix} -15600 & -15100 & -14100 & 0.90 \\ -18800 & -17500 & -16500 & 0.85 \\ -22500 & -21300 & -19800 & 0.80 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Adayın ilk yatırım maliyeti

$$\begin{aligned} \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_C &= [\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_C^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_C^L] \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_C^U &= [-22000 \quad -20000 \quad -18000 \quad 1.00] \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_C^L &= [-21000 \quad -20000 \quad -19000 \quad 0.90] \end{aligned}$$

Adayın hurda değeri

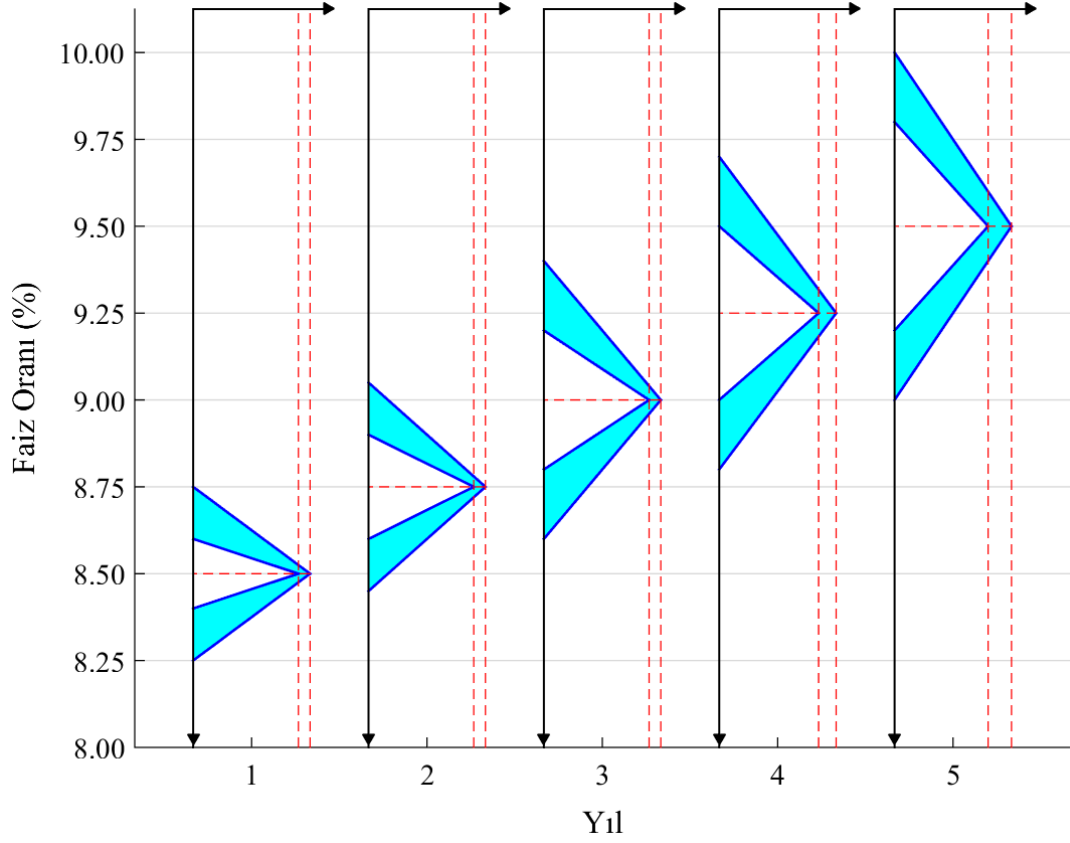
$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}_C = \begin{bmatrix} 9000 & 10000 & 11000 & 1.00 & 9700 & 10000 & 10500 & 0.90 \\ 6000 & 8000 & 10000 & 1.00 & 7000 & 8000 & 9100 & 0.90 \\ 3400 & 5100 & 7000 & 1.00 & 4300 & 5000 & 6100 & 0.85 \\ 3000 & 4700 & 6200 & 1.00 & 3700 & 4800 & 5500 & 0.80 \\ 1200 & 2800 & 4000 & 1.00 & 1900 & 2700 & 3300 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Adayın yıllık işletme maliyeti

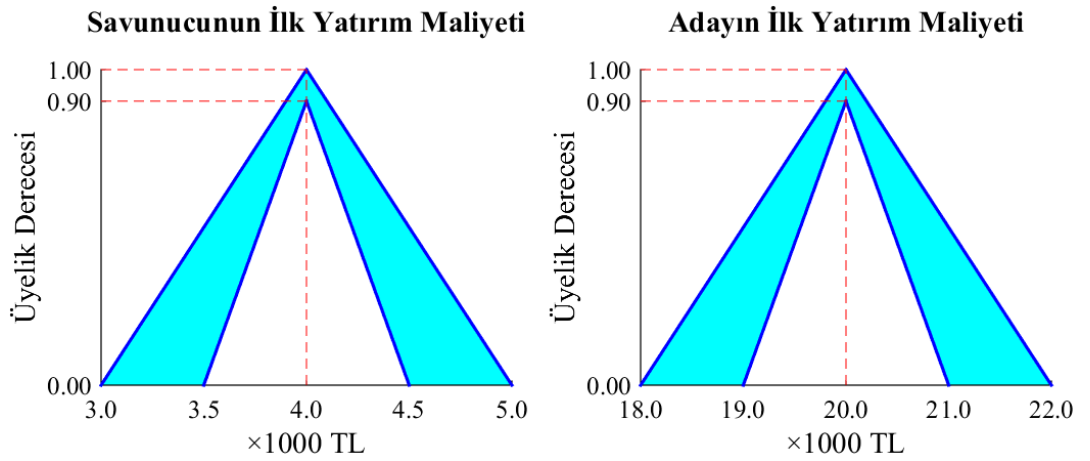
$$\begin{aligned} \widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_C &= [\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_C^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_C^L] \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_C^U &= \begin{bmatrix} -6000 & -5000 & -3500 & 1.00 \\ -8500 & -6500 & -4300 & 1.00 \\ -12600 & -10500 & -7700 & 1.00 \\ -14000 & -11000 & -8200 & 1.00 \\ -18000 & -15000 & -11000 & 1.00 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\widetilde{AOC}_C^L = \begin{bmatrix} -5500 & -5000 & -4000 & 0.90 \\ -7500 & -6500 & -5500 & 0.90 \\ -11500 & -10500 & -9000 & 0.90 \\ -12600 & -11000 & -9400 & 0.85 \\ -16500 & -14900 & -12500 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Yıllara göre faiz oranı Şekil 5.1’de, savunucunun ve adayın ilk yatırım maliyeti Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

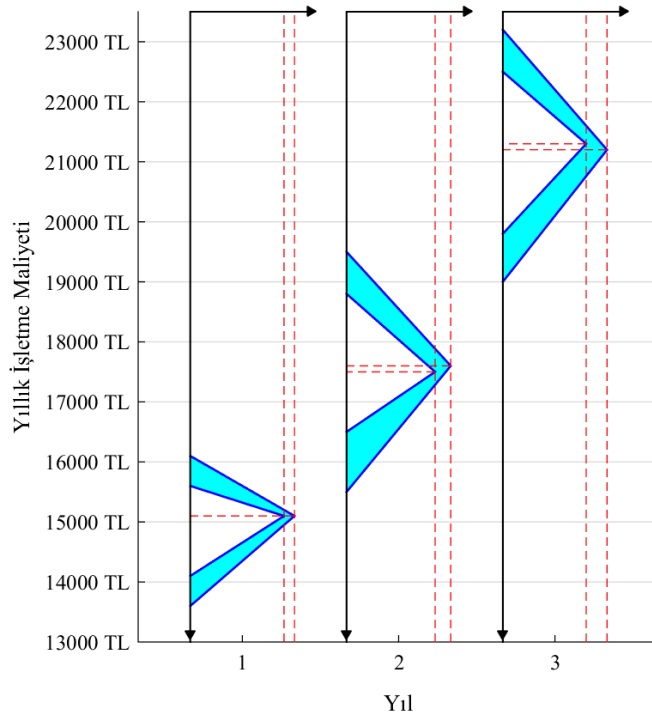


Şekil 5.1 : Kötümser piyasa koşulları için faiz oranı.

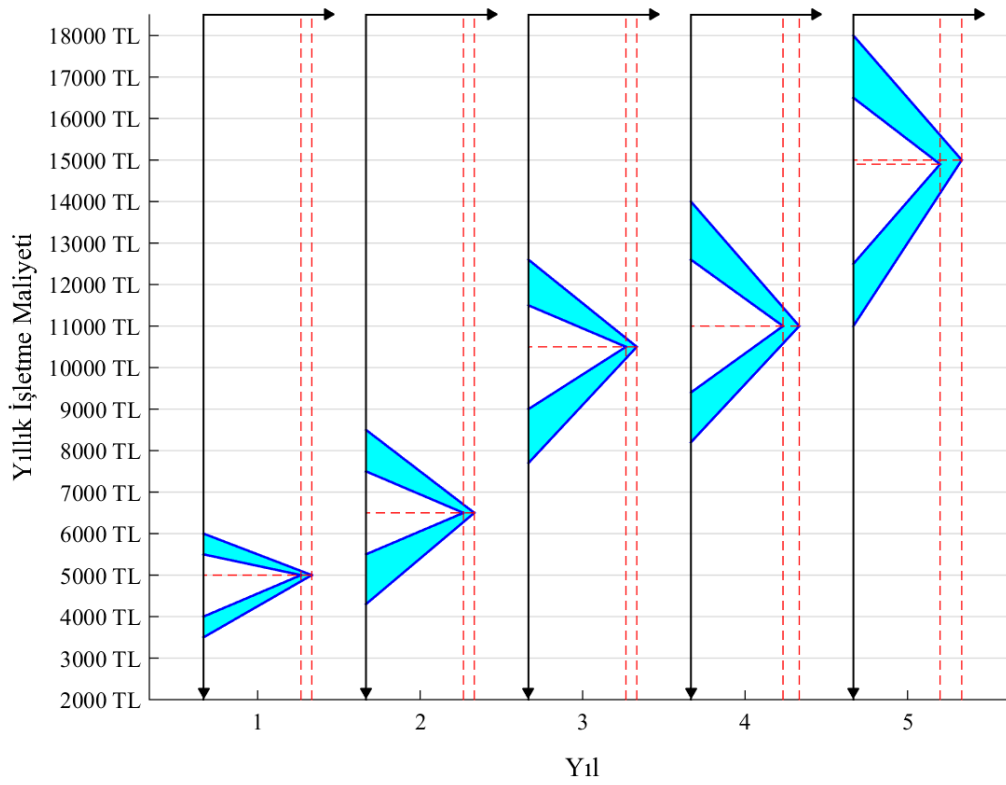


Şekil 5.2 : Savunucunun ve adayın ilk yatırım maliyetleri.

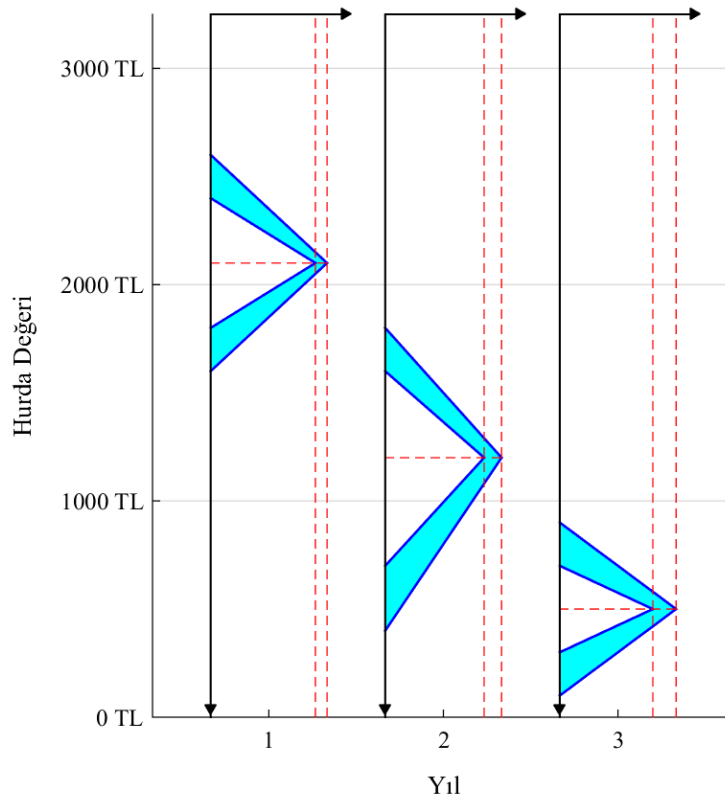
Savunucunun ve adayın yıllara göre yıllık işletme maliyeti Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te, hurda değeri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



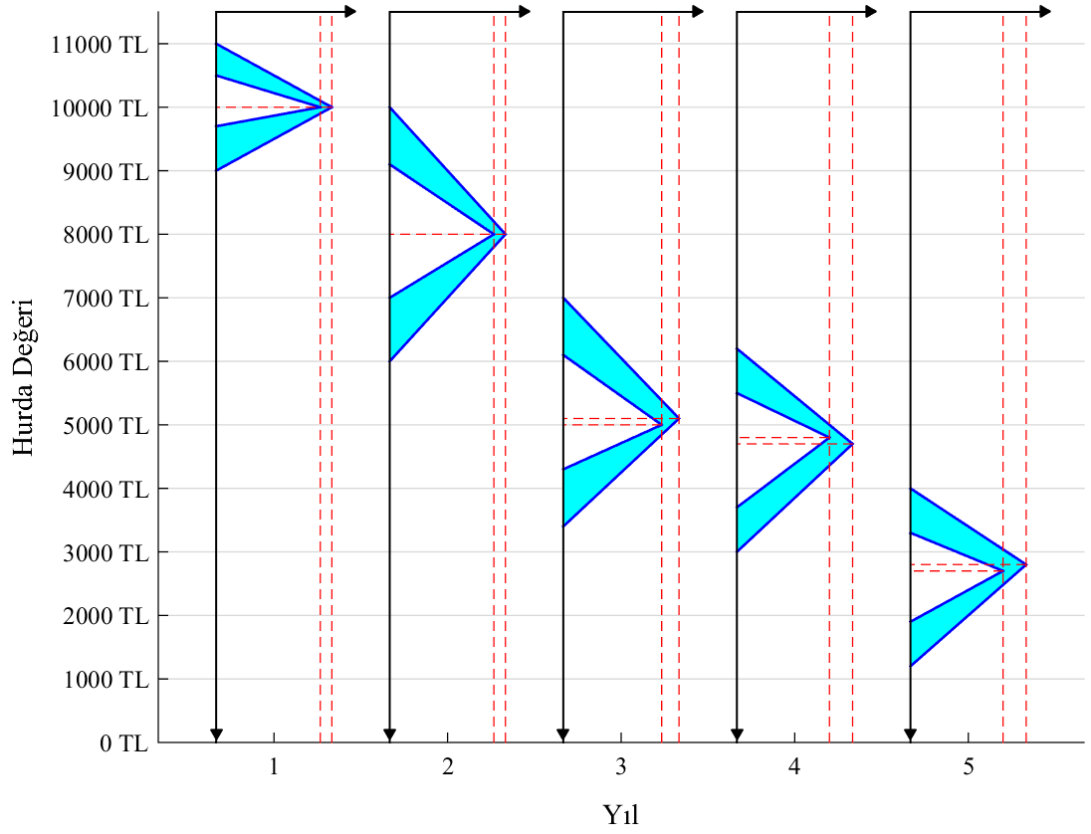
Şekil 5.3 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.



Şekil 5.4 : Adayın yıllık işletme maliyeti.



Şekil 5.5 : Savunucunun hurda değeri.



Şekil 5.6 : Adayın hurda değeri.

Savunucunun yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\mathbf{CR}}_D$ matrisi, CR fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{CR}}_D = \text{CR}(\widetilde{\mathbf{SV}}_D, \widetilde{\mathbf{FC}}_D, \widetilde{\mathbf{I}})$$

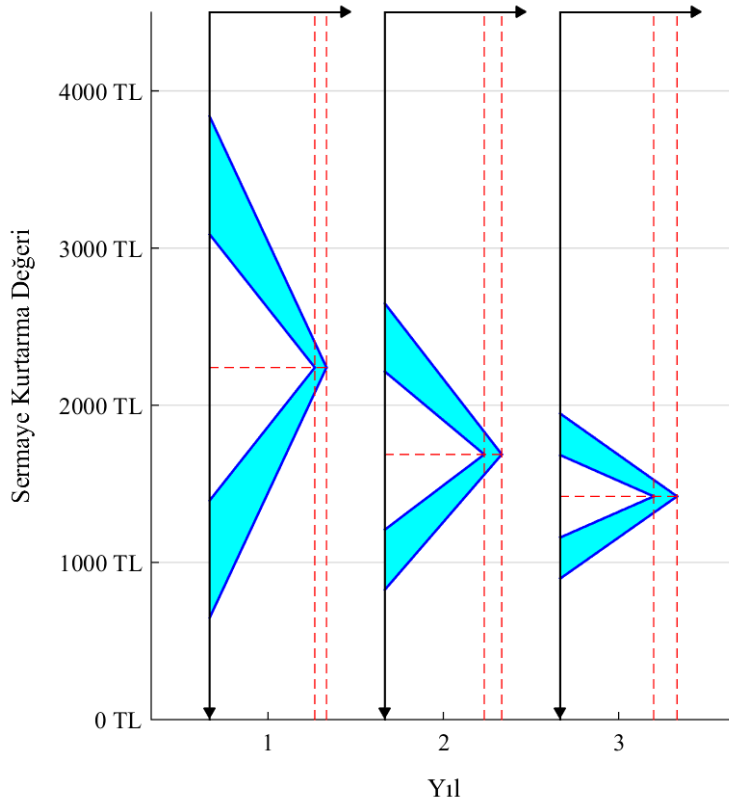
$$\widetilde{\mathbf{CR}}_D = \begin{bmatrix} -3820 & -2240 & -650 & 1.00 & -3081 & -2240 & -1397 & 0.90 \\ -2627 & -1687 & -833 & 1.00 & -2207 & -1687 & -1213 & 0.85 \\ -1925 & -1420 & -907 & 1.00 & -1674 & -1420 & -1165 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\mathbf{EAO}}_D$ matrisi, EAO fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

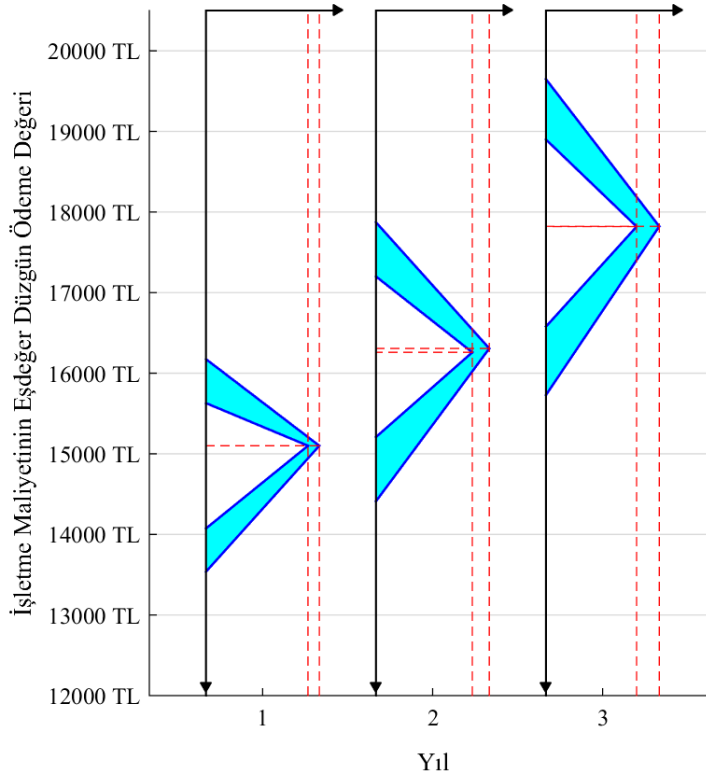
$$\widetilde{\mathbf{EAO}}_D = [\widetilde{\mathbf{EAO}}_D^U \quad \widetilde{\mathbf{EAO}}_D^L] = \text{EAO}(\widetilde{\mathbf{AOC}}_D, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\mathbf{EAO}}_D^U = \begin{bmatrix} -16100 & -15100 & -13600 & 1.00 \\ -17739 & -16307 & -14519 & 1.00 \\ -19428 & -17822 & -15907 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{EAO}}_D^L = \begin{bmatrix} -15600 & -15100 & -14100 & 0.90 \\ -17142 & -16259 & -15260 & 0.85 \\ -18799 & -17819 & -16667 & 0.80 \end{bmatrix}$$



Şekil 5.7 : Savunucunun sermaye kurtarma değeri.



Şekil 5.8 : Savunucunun işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.

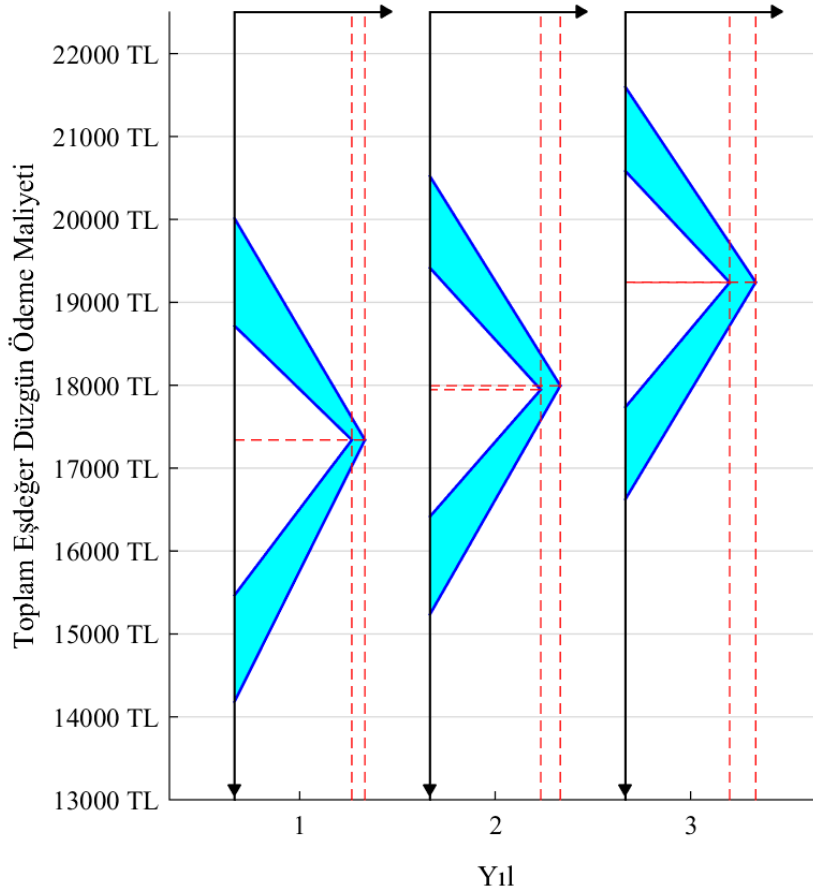
Savunucunun yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri ve sermaye kurtarma değeri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Savunucunun yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\text{EUAC}}_D$ matrisi, EUAC fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\text{EUAC}}_D = [\widetilde{\text{EUAC}}_D^U \quad \widetilde{\text{EUAC}}_D^L] = \text{EUAC}(\widetilde{\text{AOC}}_D, \widetilde{\text{SV}}_D, \widetilde{\text{FC}}_D, \widetilde{\text{I}})$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_D^U = \begin{bmatrix} -19920 & -17340 & -14250 & 1.00 \\ -20367 & -17994 & -15352 & 1.00 \\ -21353 & -19242 & -16814 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_D^L = \begin{bmatrix} -18681 & -17340 & -15497 & 0.90 \\ -19349 & -17946 & -16472 & 0.85 \\ -20473 & -19240 & -17832 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : Savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.

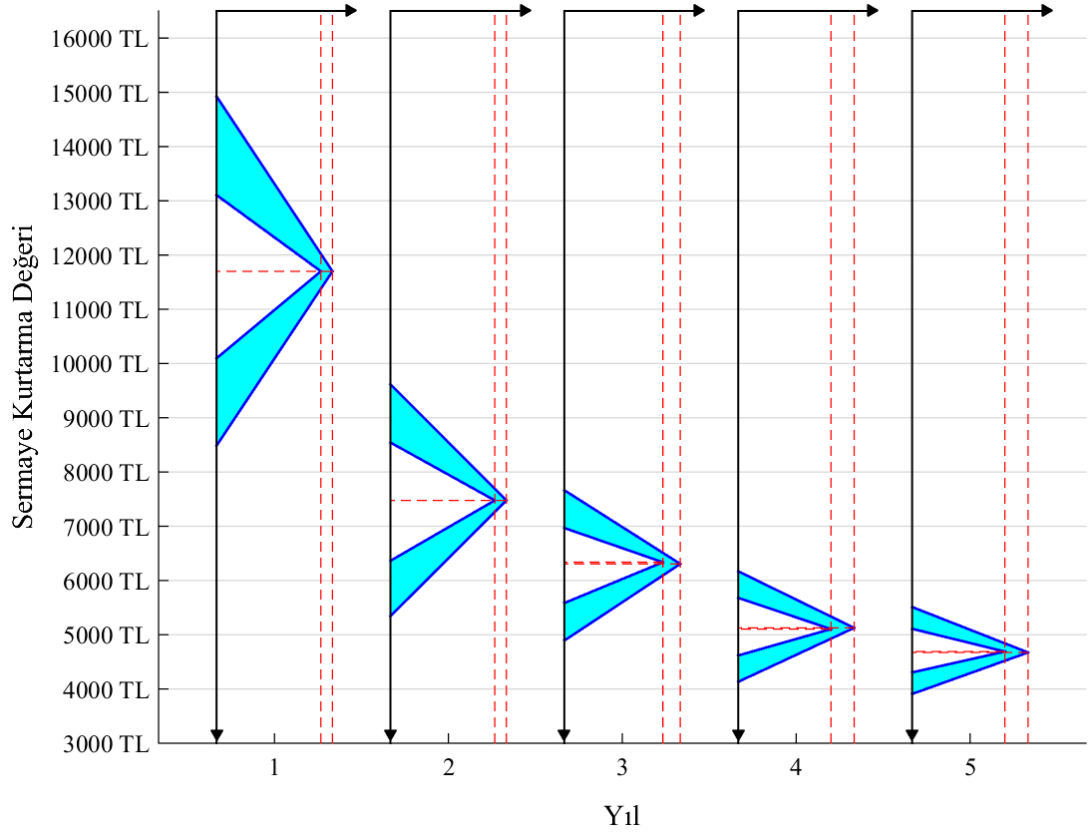
Adayın yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C$ matrisi, CR fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C^L \end{bmatrix} = \text{CR} \left(\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}_C, \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_C, \widetilde{\mathbf{I}} \right)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C^U = \begin{bmatrix} -14856 & -11700 & -8524 & 1.00 \\ -9545 & -7477 & -5383 & 1.00 \\ -7579 & -6306 & -4947 & 1.00 \\ -6076 & -5126 & -4196 & 1.00 \\ -5405 & -4673 & -3985 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C^L = \begin{bmatrix} -13082 & -11700 & -10115 & 0.90 \\ -8515 & -7477 & -6385 & 0.90 \\ -6931 & -6337 & -5614 & 0.85 \\ -5637 & -5104 & -4653 & 0.80 \\ -5057 & -4690 & -4350 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Adayın yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değeri Şekil 5.10'te gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : Adayın sermaye kurtarma değeri.

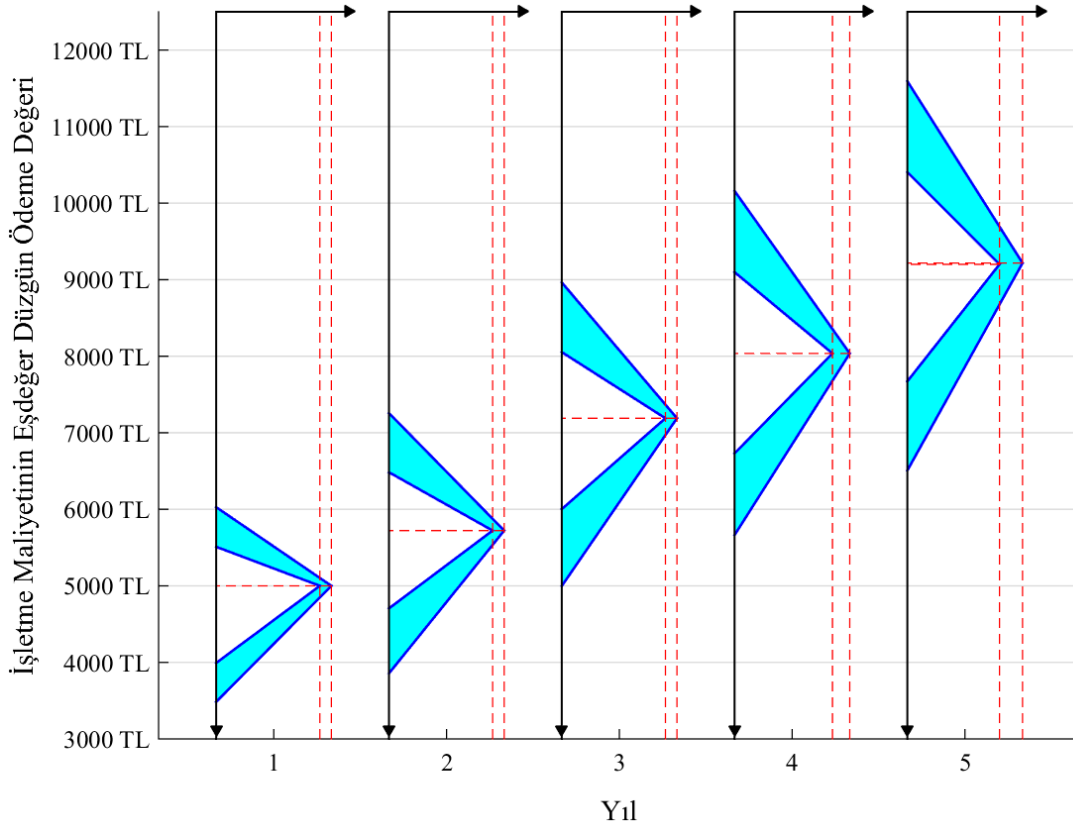
Adayın yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\text{EAOC}}_C$ matrisi, EAO fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\text{EAOC}}_C = [\widetilde{\text{EAOC}}_C^U \quad \widetilde{\text{EAOC}}_C^L] = \text{EAO}(\widetilde{\text{AOC}}_C, \tilde{I})$$

$$\widetilde{\text{EAOC}}_C^U = \begin{bmatrix} -6000 & -5000 & -3500 & 1.00 \\ -7203 & -5722 & -3885 & 1.00 \\ -8864 & -7190 & -5054 & 1.00 \\ -10006 & -8036 & -5750 & 1.00 \\ -11369 & -9217 & -6636 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\text{EAOC}}_C^L = \begin{bmatrix} -5500 & -5000 & -4000 & 0.90 \\ -6462 & -5722 & -4721 & 0.90 \\ -8011 & -7190 & -6034 & 0.90 \\ -9029 & -8036 & -6782 & 0.85 \\ -10299 & -9201 & -7751 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Adayın yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Adayın işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.

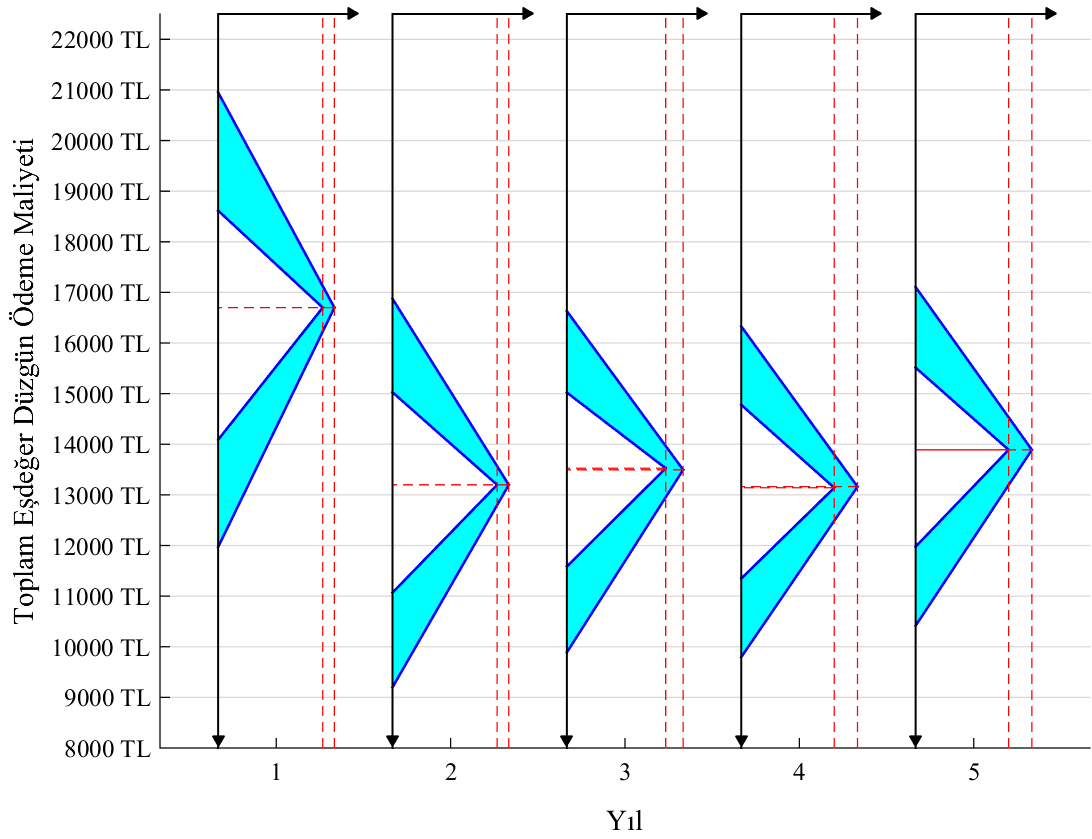
Adayın yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\text{EUAC}}_C$ matrisi, EUAC fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\text{EUAC}}_C = \begin{bmatrix} \widetilde{\text{EUAC}}_C^U & \widetilde{\text{EUAC}}_C^L \end{bmatrix} = \text{EUAC} \left(\widetilde{\text{AOC}}_C, \widetilde{\text{SV}}_C, \widetilde{\text{FC}}_C, \widetilde{\text{I}} \right)$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_C^U = \begin{bmatrix} -20856 & -16700 & -12024 & 1.00 \\ -16748 & -13199 & -9268 & 1.00 \\ -16442 & -13496 & -10002 & 1.00 \\ -16082 & -13163 & -9947 & 1.00 \\ -16773 & -13891 & -10622 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_C^L = \begin{bmatrix} -18582 & -16700 & -14115 & 0.90 \\ -14977 & -13199 & -11106 & 0.90 \\ -14942 & -13526 & -11648 & 0.85 \\ -14666 & -13141 & -11435 & 0.80 \\ -15356 & -13891 & -12101 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Adayın yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Adayın toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.

Sıralamayla savunucunun ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Savunucunun t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetinin göreceli büyüklüğünü belirten $-\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{t,D})$ değeri savunucunun kullanılabileceği $t = 1,2,3$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{1,D}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{2,D}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{3,D}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 71536 \\ 74098 \\ 78891 \end{bmatrix}$$

Savunucunun en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyetinin göreceli büyüklüğü olan 71536, 1. yıldadır. Savunucunun ekonomik kullanım ömrü 1 yıldır ($n_D = 1$).

Sıralamayla adayın ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Adayın t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetinin göreceli büyüklüğünü belirten $-\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{t,C})$ değeri adayın kullanılabileceği $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{1,C}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{2,C}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{3,C}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{4,C}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{5,C}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 70216 \\ 55883 \\ 56486 \\ \mathbf{55203} \\ 58054 \end{bmatrix}$$

Adayın en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyetinin göreceli büyüklüğü olan 55203, 4. yıldadır. Adayın ekonomik kullanım ömrü 4 yıldır ($n_C = 4$).

Durulaştırmayla savunucunun ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Savunucunun t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $-\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{t,D})$ değeri savunucunun kullanılabileceği $t = 1,2,3$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{1,D}) \\ -\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{2,D}) \\ -\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{3,D}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{16313} \\ 16569 \\ 17241 \end{bmatrix}$$

Savunucunun en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyeti olan 16313 TL, 1. yıldadır. Savunucunun ekonomik kullanım ömrü 1 yıldır ($n_D = 1$).

Durulaştırmayla adayın ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Adayın t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $-\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{t,C})$ değeri savunucunun kullanılabileceği $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{1,C}) \\ -\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{2,C}) \\ -\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{3,C}) \\ -\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{4,C}) \\ -\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{5,C}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15681 \\ 12440 \\ 12355 \\ \mathbf{11784} \\ 12419 \end{bmatrix}$$

Adayın en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyeti olan 11784 TL, 4. yıldadır. Adayın ekonomik kullanım ömrü 4 yıldır ($n_C = 4$).

Sıralamayla yenileme kararının alınması

$$-\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{4,C}) = 55203 < -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{1,D}) = 71536$$

Yukarıdaki bağıntıya göre savunucu aday ile değiştirilmedilir ve aday 4 yıl kullanılmalıdır.

Durulaştırmayla yenileme kararının alınması

$$-D\text{TriT}(\widetilde{\text{eua}}_{4,C}) = 11784 \text{ TL} < -D\text{TriT}(\widetilde{\text{eua}}_{1,D}) = 16313 \text{ TL}$$

Yukarıdaki bağıntıya göre savunucu aday ile değiştirilmedilir ve aday 4 yıl kullanılmalıdır.

5.2 Yamuk Aralık Tip-2 Bulanık Yenileme Analizi

5.2.1 Dönemsel işletme maliyeti

Yamuk aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyetini belirten $\widetilde{\text{AOC}}$, $n \times 12$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.88 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\text{AOC}} = [\widetilde{\text{AOC}}^U \quad \widetilde{\text{AOC}}^L] \quad (5.88)$$

$\widetilde{\text{AOC}}^U$ ve $\widetilde{\text{AOC}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.89 ve Denklem 5.90'da verilmektedir.

$$\widetilde{\text{AOC}}^U = \begin{bmatrix} aoc_{1_1}^U & aoc_{1_2}^U & aoc_{1_3}^U & aoc_{1_4}^U & H_{1_{aoc}}^{1U} & H_{1_{aoc}}^{2U} \\ aoc_{2_1}^U & aoc_{2_2}^U & aoc_{2_3}^U & aoc_{2_4}^U & H_{2_{aoc}}^{1U} & H_{2_{aoc}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ aoc_{t_1}^U & aoc_{t_2}^U & aoc_{t_3}^U & aoc_{t_4}^U & H_{t_{aoc}}^{1U} & H_{t_{aoc}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ aoc_{n_1}^U & aoc_{n_2}^U & aoc_{n_3}^U & aoc_{n_4}^U & H_{n_{aoc}}^{1U} & H_{n_{aoc}}^{2U} \end{bmatrix} \quad (5.89)$$

$$\widetilde{\text{AOC}}^L = \begin{bmatrix} aoc_{1_1}^L & aoc_{1_2}^L & aoc_{1_3}^L & aoc_{1_4}^L & H_{1_{aoc}}^{1L} & H_{1_{aoc}}^{2L} \\ aoc_{2_1}^L & aoc_{2_2}^L & aoc_{2_3}^L & aoc_{2_4}^L & H_{2_{aoc}}^{1L} & H_{2_{aoc}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ aoc_{t_1}^L & aoc_{t_2}^L & aoc_{t_3}^L & aoc_{t_4}^L & H_{t_{aoc}}^{1L} & H_{t_{aoc}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ aoc_{n_1}^L & aoc_{n_2}^L & aoc_{n_3}^L & aoc_{n_4}^L & H_{n_{aoc}}^{1L} & H_{n_{aoc}}^{2L} \end{bmatrix} \quad (5.90)$$

$aoc_1^U, aoc_2^U, aoc_3^U, aoc_4^U, H_{aoc}^{1U}, H_{aoc}^{2U}, aoc_1^L, aoc_2^L, aoc_3^L, aoc_4^L, H_{aoc}^{1L}, H_{aoc}^{2L}$ n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\text{AOC}}^U$ ve $\widetilde{\text{AOC}}^L$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak kullanılarak Denklem 5.91 ve Denklem 5.92'de tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\text{AOC}}^U = [aoc_1^U \quad aoc_2^U \quad aoc_3^U \quad aoc_4^U \quad H_{aoc}^{1U} \quad H_{aoc}^{2U}] \quad (5.91)$$

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}^L = [\mathbf{aoc}_1^L \quad \mathbf{aoc}_2^L \quad \mathbf{aoc}_3^L \quad \mathbf{aoc}_4^L \quad \mathbf{H}_{aoc}^{1L} \quad \mathbf{H}_{aoc}^{2L}] \quad (5.92)$$

t . dönemdeki yamuk aralık tip-2 bulanık işletme maliyetini belirten ve $\widetilde{\mathbf{AOC}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{\mathbf{aoc}}_t$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.93-5.95'te verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{aoc}}_t = [\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^U \quad \widetilde{\mathbf{aoc}}_t^L] \quad (5.93)$$

$$\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^U = [aoc_{t_1}^U \quad aoc_{t_2}^U \quad aoc_{t_3}^U \quad aoc_{t_4}^U \quad H_{taoc}^{1U} \quad H_{taoc}^{2U}] \quad (5.94)$$

$$\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^L = [aoc_{t_1}^L \quad aoc_{t_2}^L \quad aoc_{t_3}^L \quad aoc_{t_4}^L \quad H_{taoc}^{1L} \quad H_{taoc}^{2L}] \quad (5.95)$$

$\widetilde{\mathbf{AOC}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.96'daki biçimde ifade edilir

$$\widetilde{\mathbf{AOC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{aoc}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{aoc}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{aoc}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{aoc}}_n \end{bmatrix} \quad (5.96)$$

5.2.2 Hurda değeri

Yamuk aralık tip-2 bulanık hurda değerini belirten $\widetilde{\mathbf{SV}}$, $n \times 12$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.97 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{SV}} = [\widetilde{\mathbf{SV}}^U \quad \widetilde{\mathbf{SV}}^L] \quad (5.97)$$

$\widetilde{\mathbf{SV}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{SV}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.98 ve Denklem 5.99'da verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{SV}}^U = \begin{bmatrix} sv_{1_1}^U & sv_{1_2}^U & sv_{1_3}^U & sv_{1_4}^U & H_{1sv}^{1U} & H_{1sv}^{2U} \\ sv_{2_1}^U & sv_{2_2}^U & sv_{2_3}^U & sv_{2_4}^U & H_{2sv}^{1U} & H_{2sv}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ sv_{t_1}^U & sv_{t_2}^U & sv_{t_3}^U & sv_{t_4}^U & H_{tsv}^{1U} & H_{tsv}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ sv_{n_1}^U & sv_{n_2}^U & sv_{n_3}^U & sv_{n_4}^U & H_{nsv}^{1U} & H_{nsv}^{2U} \end{bmatrix} \quad (5.98)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}^L = \begin{bmatrix} sv_{1_1}^L & sv_{1_2}^L & sv_{1_3}^L & sv_{1_4}^L & H_{1_{sv}}^{1L} & H_{1_{sv}}^{2L} \\ sv_{2_1}^L & sv_{2_2}^L & sv_{2_3}^L & sv_{2_4}^L & H_{2_{sv}}^{1L} & H_{2_{sv}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ sv_{t_1}^L & sv_{t_2}^L & sv_{t_3}^L & sv_{t_4}^L & H_{t_{sv}}^{1L} & H_{t_{sv}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ sv_{n_1}^L & sv_{n_2}^L & sv_{n_3}^L & sv_{n_4}^L & H_{n_{sv}}^{1L} & H_{n_{sv}}^{2L} \end{bmatrix} \quad (5.99)$$

$sv_1^U, sv_2^U, sv_3^U, sv_4^U, H_{sv}^{1U}, H_{sv}^{2U}, sv_1^L, sv_2^L, sv_3^L, sv_4^L, H_{sv}^{1L}, H_{sv}^{2L}$ n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}^U$ ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}^L$ matrisi, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.100 ve Denklem 5.101'de tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}^U = [sv_1^U \quad sv_2^U \quad sv_3^U \quad sv_4^U \quad H_{sv}^{1U} \quad H_{sv}^{2U}] \quad (5.100)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}^L = [sv_1^L \quad sv_2^L \quad sv_3^L \quad sv_4^L \quad H_{sv}^{1L} \quad H_{sv}^{2L}] \quad (5.101)$$

t . dönemdeki yamuk aralık tip-2 bulanık hurda değerini belirten ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.102-5.104'de verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t^L] \quad (5.102)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t^U = [sv_{t_1}^U \quad sv_{t_2}^U \quad sv_{t_3}^U \quad sv_{t_4}^U \quad H_{t_{sv}}^{1U} \quad H_{t_{sv}}^{2U}] \quad (5.103)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t^L = [sv_{t_1}^L \quad sv_{t_2}^L \quad sv_{t_3}^L \quad sv_{t_4}^L \quad H_{t_{sv}}^{1L} \quad H_{t_{sv}}^{2L}] \quad (5.104)$$

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.105'deki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_1 \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{sv}}}_n \end{bmatrix} \quad (5.105)$$

5.2.3 Sermaye kurtarma değerinin şimdiki değeri

Yamuk aralık tip-2 bulanık sermaye kurtarma değerinin şimdiki değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR}$, $n \times 12$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.106 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR} = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR}^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{CR}^L] \quad (5.106)$$

$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{U}}$ ve $\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{L}}$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.107 ve Denklem 5.108’de verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{U}} = \begin{bmatrix} \text{npv } cr_{1_1}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{1_2}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{1_3}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{1_4}^{\text{U}} & \text{npv } H_{1_{\text{cr}}}^{\text{U}} & \text{npv } H_{1_{\text{cr}}}^{\text{U}} \\ \text{npv } cr_{2_1}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{2_2}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{2_3}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{2_4}^{\text{U}} & \text{npv } H_{2_{\text{cr}}}^{\text{U}} & \text{npv } H_{2_{\text{cr}}}^{\text{U}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{npv } cr_{t_1}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{t_2}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{t_3}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{t_4}^{\text{U}} & \text{npv } H_{t_{\text{cr}}}^{\text{U}} & \text{npv } H_{t_{\text{cr}}}^{\text{U}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{npv } cr_{n_1}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{n_2}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{n_3}^{\text{U}} & \text{npv } cr_{n_4}^{\text{U}} & \text{npv } H_{n_{\text{cr}}}^{\text{U}} & \text{npv } H_{n_{\text{cr}}}^{\text{U}} \end{bmatrix} \quad (5.107)$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{L}} = \begin{bmatrix} \text{npv } cr_{1_1}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{1_2}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{1_3}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{1_4}^{\text{L}} & \text{npv } H_{1_{\text{cr}}}^{\text{L}} & \text{npv } H_{1_{\text{cr}}}^{\text{L}} \\ \text{npv } cr_{2_1}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{2_2}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{2_3}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{2_4}^{\text{L}} & \text{npv } H_{2_{\text{cr}}}^{\text{L}} & \text{npv } H_{2_{\text{cr}}}^{\text{L}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{npv } cr_{t_1}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{t_2}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{t_3}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{t_4}^{\text{L}} & \text{npv } H_{t_{\text{cr}}}^{\text{L}} & \text{npv } H_{t_{\text{cr}}}^{\text{L}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{npv } cr_{n_1}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{n_2}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{n_3}^{\text{L}} & \text{npv } cr_{n_4}^{\text{L}} & \text{npv } H_{n_{\text{cr}}}^{\text{L}} & \text{npv } H_{n_{\text{cr}}}^{\text{L}} \end{bmatrix} \quad (5.108)$$

$\text{npv } cr_1^{\text{U}}, \text{npv } cr_2^{\text{U}}, \text{npv } cr_3^{\text{U}}, \text{npv } cr_4^{\text{U}}, \text{npv } H_{\text{cr}}^{\text{U}}, \text{npv } H_{\text{cr}}^{\text{U}}, \text{npv } cr_1^{\text{L}}, \text{npv } cr_2^{\text{L}}, \text{npv } cr_3^{\text{L}}, \text{npv } cr_4^{\text{L}}, \text{npv } H_{\text{cr}}^{\text{L}}, \text{npv } H_{\text{cr}}^{\text{L}}$ n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{U}}$ ve $\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{L}}$ matrisleri, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.109 ve Denklem 5.110’da tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{U}} = [\text{npv } cr_1^{\text{U}} \quad \text{npv } cr_2^{\text{U}} \quad \text{npv } cr_3^{\text{U}} \quad \text{npv } cr_4^{\text{U}} \quad \text{npv } H_{\text{cr}}^{\text{U}} \quad \text{npv } H_{\text{cr}}^{\text{U}}] \quad (5.109)$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}^{\text{L}} = [\text{npv } cr_1^{\text{L}} \quad \text{npv } cr_2^{\text{L}} \quad \text{npv } cr_3^{\text{L}} \quad \text{npv } cr_4^{\text{L}} \quad \text{npv } H_{\text{cr}}^{\text{L}} \quad \text{npv } H_{\text{cr}}^{\text{L}}] \quad (5.110)$$

Ekipmanın t dönem kullanılmasının yamuk aralık tip-2 bulanık sermaye kurtarma değerinin şimdiki değerini belirten ve $\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}$ matrisinin t . satırı olan $\text{npv } \widetilde{\widetilde{cr}}_t$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.111-5.113’de verilmektedir.

$$\text{npv } \widetilde{\widetilde{cr}}_t = [\text{npv } \widetilde{\widetilde{cr}}_t^{\text{U}} \quad \text{npv } \widetilde{\widetilde{cr}}_t^{\text{L}}] \quad (5.111)$$

$$\text{npv } \widetilde{\widetilde{cr}}_t^{\text{U}} = [\text{npv } cr_{t_1}^{\text{U}} \quad \text{npv } cr_{t_2}^{\text{U}} \quad \text{npv } cr_{t_3}^{\text{U}} \quad \text{npv } cr_{t_4}^{\text{U}} \quad \text{npv } H_{t_{\text{cr}}}^{\text{U}} \quad \text{npv } H_{t_{\text{cr}}}^{\text{U}}] \quad (5.112)$$

$$\text{npv } \widetilde{\widetilde{cr}}_t^{\text{L}} = [\text{npv } cr_{t_1}^{\text{L}} \quad \text{npv } cr_{t_2}^{\text{L}} \quad \text{npv } cr_{t_3}^{\text{L}} \quad \text{npv } cr_{t_4}^{\text{L}} \quad \text{npv } H_{t_{\text{cr}}}^{\text{L}} \quad \text{npv } H_{t_{\text{cr}}}^{\text{L}}] \quad (5.113)$$

$\widetilde{\widetilde{\text{NPV}}}_{\text{CR}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.114’teki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{NPV}}}_{\mathbf{CR}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{npv}}}_{\mathbf{CR}_1} \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{npv}}}_{\mathbf{CR}_2} \\ \vdots \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{npv}}}_{\mathbf{CR}_t} \\ \vdots \\ \widetilde{\widetilde{\mathbf{npv}}}_{\mathbf{CR}_n} \end{bmatrix} \quad (5.114)$$

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{npv}}}_{\mathbf{CR}_t}$ matrisinin elemanları Denklem 5.115-5.126 ile hesaplanır.

$$npv_{cr_{t_1}}^U = \frac{sv_{t_1}^U}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^U)} + FC_1^U \quad (5.115)$$

$$npv_{cr_{t_2}}^U = \frac{sv_{t_2}^U}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^U)} + FC_2^U \quad (5.116)$$

$$npv_{cr_{t_3}}^U = \frac{sv_{t_3}^U}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^U)} + FC_3^U \quad (5.117)$$

$$npv_{cr_{t_4}}^U = \frac{sv_{t_4}^U}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^U)} + FC_4^U \quad (5.118)$$

$$npv_{H_{t_{cr}}^{1U}} = enk \left(H_{1_i}^{1U}, H_{2_i}^{1U}, \dots, H_{t_i}^{1U}, H_{t_{sv}}^{1U}, H_{FC}^{1U} \right) \quad (5.119)$$

$$npv_{H_{t_{cr}}^{2U}} = enk \left(H_{1_i}^{2U}, H_{2_i}^{2U}, \dots, H_{t_i}^{2U}, H_{t_{sv}}^{2U}, H_{FC}^{2U} \right) \quad (5.120)$$

$$npv_{cr_{t_1}}^L = \frac{sv_{t_1}^L}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_4}^L)} + FC_1^L \quad (5.121)$$

$$npv_{cr_{t_2}}^L = \frac{sv_{t_2}^L}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_3}^L)} + FC_2^L \quad (5.122)$$

$$npv_{cr_{t_3}}^L = \frac{sv_{t_3}^L}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_2}^L)} + FC_3^L \quad (5.123)$$

$$npv_{cr_{t_4}}^L = \frac{sv_{t_4}^L}{\prod_{t'=1}^t (1 + i_{t'_1}^L)} + FC_4^L \quad (5.124)$$

$${}^{npv}H_{t_{cr}}^{1L} = enk \left(H_{1_i}^{1L}, H_{2_i}^{1L}, \dots, H_{t_i}^{1L}, H_{t_{sv}}^{1L}, H_{FC}^{1L} \right) \quad (5.125)$$

$${}^{npv}H_{t_{cr}}^{2L} = enk \left(H_{1_i}^{2L}, H_{2_i}^{2L}, \dots, H_{t_i}^{2L}, H_{t_{sv}}^{2L}, H_{FC}^{2L} \right) \quad (5.126)$$

5.2.4 Sermaye kurtarma değeri

Yamuk aralık tip-2 bulanık sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}$, $n \times 12$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.127 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^L \end{bmatrix} \quad (5.127)$$

$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^U$ ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.128 ve Denklem 5.129'da verilmektedir.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^U = \begin{bmatrix} cr_{1_1}^U & cr_{1_2}^U & cr_{1_3}^U & cr_{1_4}^U & H_{1_{cr}}^{1U} & H_{1_{cr}}^{2U} \\ cr_{2_1}^U & cr_{2_2}^U & cr_{2_3}^U & cr_{2_4}^U & H_{2_{cr}}^{1U} & H_{2_{cr}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cr_{t_1}^U & cr_{t_2}^U & cr_{t_3}^U & cr_{t_4}^U & H_{t_{cr}}^{1U} & H_{t_{cr}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cr_{n_1}^U & cr_{n_2}^U & cr_{n_3}^U & cr_{n_4}^U & H_{n_{cr}}^{1U} & H_{n_{cr}}^{2U} \end{bmatrix} \quad (5.128)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^L = \begin{bmatrix} cr_{1_1}^L & cr_{1_2}^L & cr_{1_3}^L & cr_{1_4}^L & H_{1_{cr}}^{1L} & H_{1_{cr}}^{2L} \\ cr_{2_1}^L & cr_{2_2}^L & cr_{2_3}^L & cr_{2_4}^L & H_{2_{cr}}^{1L} & H_{2_{cr}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cr_{t_1}^L & cr_{t_2}^L & cr_{t_3}^L & cr_{t_4}^L & H_{t_{cr}}^{1L} & H_{t_{cr}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ cr_{n_1}^L & cr_{n_2}^L & cr_{n_3}^L & cr_{n_4}^L & H_{n_{cr}}^{1L} & H_{n_{cr}}^{2L} \end{bmatrix} \quad (5.129)$$

$\mathbf{cr}_1^U, \mathbf{cr}_2^U, \mathbf{cr}_3^U, \mathbf{cr}_4^U, \mathbf{H}_{cr}^{1U}, \mathbf{H}_{cr}^{2U}, \mathbf{cr}_1^L, \mathbf{cr}_2^L, \mathbf{cr}_3^L, \mathbf{cr}_4^L, \mathbf{H}_{cr}^{1L}, \mathbf{H}_{cr}^{2L}$ n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^U$ ve $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^L$ matrisleri, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.130 ve Denklem 5.131'de tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^U = [\mathbf{cr}_1^U \quad \mathbf{cr}_2^U \quad \mathbf{cr}_3^U \quad \mathbf{cr}_4^U \quad \mathbf{H}_{cr}^{1U} \quad \mathbf{H}_{cr}^{2U}] \quad (5.130)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}^L = [\mathbf{cr}_1^L \quad \mathbf{cr}_2^L \quad \mathbf{cr}_3^L \quad \mathbf{cr}_4^L \quad \mathbf{H}_{cr}^{1L} \quad \mathbf{H}_{cr}^{2L}] \quad (5.131)$$

Ekipmanın t dönem kullanılmasının yamuk aralık tip-2 bulanık sermaye kurtarma değerini belirten ve $\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{\mathbf{cr}}_t$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.132-5.134’de verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{cr}}_t = [\widetilde{\mathbf{cr}}_t^U \quad \widetilde{\mathbf{cr}}_t^L] \quad (5.132)$$

$$\widetilde{\mathbf{cr}}_t^U = [cr_{t_1}^U \quad cr_{t_2}^U \quad cr_{t_3}^U \quad cr_{t_4}^U \quad H_{t_{cr}}^{1U} \quad H_{t_{cr}}^{2U}] \quad (5.133)$$

$$\widetilde{\mathbf{cr}}_t^L = [cr_{t_1}^L \quad cr_{t_2}^L \quad cr_{t_3}^L \quad cr_{t_4}^L \quad H_{t_{cr}}^{1L} \quad H_{t_{cr}}^{2L}] \quad (5.134)$$

$\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.135’teki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{CR}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{cr}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_n \end{bmatrix} \quad (5.135)$$

1×12 boyutundaki $\widetilde{\mathbf{cr}}_t$ matrisi, daha önceden hesaplanan 1×12 boyutundaki ${}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_t$ matrisi, $n \times 12$ boyutundaki $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisi ve t pozitif ve $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisinin satır sayısından büyük olmayan bir doğal sayı olmak üzere EUAV fonksiyonu kullanılarak Denklem 5.136 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{cr}}_t = \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_t, \widetilde{\mathbf{I}}, t) \quad (5.136)$$

Buradan $\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisi Denklem 5.137 ile bulunur.

$$\widetilde{\mathbf{CR}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{cr}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{cr}}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_1, \widetilde{\mathbf{I}}, 1) \\ \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_2, \widetilde{\mathbf{I}}, 2) \\ \vdots \\ \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_t, \widetilde{\mathbf{I}}, t) \\ \vdots \\ \text{EUAV}({}^{\text{npv}}\widetilde{\mathbf{cr}}_n, \widetilde{\mathbf{I}}, n) \end{bmatrix} \quad (5.137)$$

$\widetilde{\mathbf{SV}}$ ve $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisi $n \times 12$ boyutunda, $\widetilde{\mathbf{FC}}$ matrisi 1×12 boyutunda olmak üzere $n \times 12$ boyutundaki $\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisi CR fonksiyonu kullanılarak Denklem 5.138 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{CR}} = \text{CR}(\widetilde{\mathbf{SV}}, \widetilde{\mathbf{FC}}, \widetilde{\mathbf{I}}) \quad (5.138)$$

5.2.5 Dönemsel işletme maliyetinin şimdiki değeri

Yamuk aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyetinin şimdiki değerini belirten

$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}$, $n \times 12$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.139 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}} = [\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U \quad \widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L] \quad (5.139)$$

$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U$ ve $\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.140 ve Denklem 5.141’de verilmektedir.

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U = \begin{bmatrix} npv_{aoc_{1_1}}^U & npv_{aoc_{1_2}}^U & npv_{aoc_{1_3}}^U & npv_{aoc_{1_4}}^U & npv_{H_{1_{aoc}}}^{1U} & npv_{H_{1_{aoc}}}^{2U} \\ npv_{aoc_{2_1}}^U & npv_{aoc_{2_2}}^U & npv_{aoc_{2_3}}^U & npv_{aoc_{2_4}}^U & npv_{H_{2_{aoc}}}^{1U} & npv_{H_{2_{aoc}}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ npv_{aoc_{t_1}}^U & npv_{aoc_{t_2}}^U & npv_{aoc_{t_3}}^U & npv_{aoc_{t_4}}^U & npv_{H_{t_{aoc}}}^{1U} & npv_{H_{t_{aoc}}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ npv_{aoc_{n_1}}^U & npv_{aoc_{n_2}}^U & npv_{aoc_{n_3}}^U & npv_{aoc_{n_4}}^U & npv_{H_{n_{aoc}}}^{1U} & npv_{H_{n_{aoc}}}^{2U} \end{bmatrix} \quad (5.140)$$

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L = \begin{bmatrix} npv_{aoc_{1_1}}^L & npv_{aoc_{1_2}}^L & npv_{aoc_{1_3}}^L & npv_{aoc_{1_4}}^L & npv_{H_{1_{aoc}}}^{1L} & npv_{H_{1_{aoc}}}^{2L} \\ npv_{aoc_{2_1}}^L & npv_{aoc_{2_2}}^L & npv_{aoc_{2_3}}^L & npv_{aoc_{2_4}}^L & npv_{H_{2_{aoc}}}^{1L} & npv_{H_{2_{aoc}}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ npv_{aoc_{t_1}}^L & npv_{aoc_{t_2}}^L & npv_{aoc_{t_3}}^L & npv_{aoc_{t_4}}^L & npv_{H_{t_{aoc}}}^{1L} & npv_{H_{t_{aoc}}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ npv_{aoc_{n_1}}^L & npv_{aoc_{n_2}}^L & npv_{aoc_{n_3}}^L & npv_{aoc_{n_4}}^L & npv_{H_{n_{aoc}}}^{1L} & npv_{H_{n_{aoc}}}^{2L} \end{bmatrix} \quad (5.141)$$

$npv_{aoc_1}^U, npv_{aoc_2}^U, npv_{aoc_3}^U, npv_{aoc_4}^U, npv_{H_{aoc}}^{1U}, npv_{H_{aoc}}^{2U}, npv_{aoc_1}^L, npv_{aoc_2}^L, npv_{aoc_3}^L, npv_{aoc_4}^L, npv_{H_{aoc}}^{1L}, npv_{H_{aoc}}^{2L}$ n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U$ ve $\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L$ matrisleri, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.142 ve Denklem 5.143’te tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^U = [npv_{aoc_1}^U \quad npv_{aoc_2}^U \quad npv_{aoc_3}^U \quad npv_{aoc_4}^U \quad npv_{H_{aoc}}^{1U} \quad npv_{H_{aoc}}^{2U}] \quad (5.142)$$

$$\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}^L = [npv_{aoc_1}^L \quad npv_{aoc_2}^L \quad npv_{aoc_3}^L \quad npv_{aoc_4}^L \quad npv_{H_{aoc}}^{1L} \quad npv_{H_{aoc}}^{2L}] \quad (5.143)$$

Ekipmanın t dönem kullanılmasının yamuk aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyetinin şimdiki değerini belirten ve $\widetilde{\text{NPV}}_{\text{AOC}}$ matrisinin t . satırı olan npv_{aoc_t} , 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.144-5.146’da verilmektedir.

$${}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t = \begin{bmatrix} {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^U & {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^L \end{bmatrix} \quad (5.144)$$

$${}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^U = \begin{bmatrix} {}^{npv}aoc_{t_1}^U & {}^{npv}aoc_{t_2}^U & {}^{npv}aoc_{t_3}^U & {}^{npv}aoc_{t_4}^U & {}^{npv}H_{t_{aoc}}^{1U} & {}^{npv}H_{t_{aoc}}^{2U} \end{bmatrix} \quad (5.145)$$

$${}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t^L = \begin{bmatrix} {}^{npv}aoc_{t_1}^L & {}^{npv}aoc_{t_2}^L & {}^{npv}aoc_{t_3}^L & {}^{npv}aoc_{t_4}^L & {}^{npv}H_{t_{aoc}}^{1L} & {}^{npv}H_{t_{aoc}}^{2L} \end{bmatrix} \quad (5.146)$$

$\widetilde{\mathbf{NPV}}_{AOC}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.147'deki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{NPV}}_{AOC} = \begin{bmatrix} {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_1 \\ {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_2 \\ \vdots \\ {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t \\ \vdots \\ {}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_n \end{bmatrix} \quad (5.147)$$

${}^{npv}\widetilde{\mathbf{aoc}}_t$ matrisinin elemanları Denklem 5.148-5.159 ile hesaplanır.

$${}^{npv}aoc_{t_1}^U = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t'_1}^U}{\prod_{t''=1}^{t'} (1 + i_{t''_1}^U)} \right) \quad (5.148)$$

$${}^{npv}aoc_{t_2}^U = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t'_2}^U}{\prod_{t''=1}^{t'} (1 + i_{t''_2}^U)} \right) \quad (5.149)$$

$${}^{npv}aoc_{t_3}^U = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t'_3}^U}{\prod_{t''=1}^{t'} (1 + i_{t''_3}^U)} \right) \quad (5.150)$$

$${}^{npv}aoc_{t_4}^U = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t'_4}^U}{\prod_{t''=1}^{t'} (1 + i_{t''_4}^U)} \right) \quad (5.151)$$

$${}^{npv}H_{t_{aoc}}^{1U} = enk \left(H_{1_{aoc}}^{1U}, H_{2_{aoc}}^{1U}, \dots, H_{t_{aoc}}^{1U}, H_{1_i}^{1U}, H_{2_i}^{1U}, \dots, H_{t_i}^{1U} \right) \quad (5.152)$$

$${}^{npv}H_{t_{aoc}}^{2U} = enk \left(H_{1_{aoc}}^{2U}, H_{2_{aoc}}^{2U}, \dots, H_{t_{aoc}}^{2U}, H_{1_i}^{2U}, H_{2_i}^{2U}, \dots, H_{t_i}^{2U} \right) \quad (5.153)$$

$${}^{npv}aoc_{t_1}^L = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t'_1}^L}{\prod_{t''=1}^{t'} (1 + i_{t''_1}^L)} \right) \quad (5.154)$$

$$npv_{aoc_{t_2}^L} = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t'_2}^L}{\prod_{t''=1}^{t'} (1 + i_{t''}^L)} \right) \quad (5.155)$$

$$npv_{aoc_{t_3}^L} = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t'_3}^L}{\prod_{t''=1}^{t'} (1 + i_{t''}^L)} \right) \quad (5.156)$$

$$npv_{aoc_{t_4}^L} = \sum_{t'=1}^t \left(\frac{aoc_{t'_4}^L}{\prod_{t''=1}^{t'} (1 + i_{t''}^L)} \right) \quad (5.157)$$

$$npv_{H_{taoc}^{1L}} = enk(H_{1aoc}^{1L}, H_{2aoc}^{1L}, \dots, H_{taoc}^{1L}, H_{1i}^{1L}, H_{2i}^{1L}, \dots, H_{ti}^{1L}) \quad (5.158)$$

$$npv_{H_{taoc}^{2L}} = enk(H_{1aoc}^{2L}, H_{2aoc}^{2L}, \dots, H_{taoc}^{2L}, H_{1i}^{2L}, H_{2i}^{2L}, \dots, H_{ti}^{2L}) \quad (5.159)$$

5.2.6 Dönemsel işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri

Yamuk aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\mathbf{EAOC}}$, $n \times 12$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.160 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}} = [\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U \quad \widetilde{\mathbf{EAOC}}^L] \quad (5.160)$$

$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{EAOC}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.161 ve Denklem 5.162'de verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U = \begin{bmatrix} eaoc_{1_1}^U & eaoc_{1_2}^U & eaoc_{1_3}^U & eaoc_{1_4}^U & H_{1_{eaoc}}^{1U} & H_{1_{eaoc}}^{2U} \\ eaoc_{2_1}^U & eaoc_{2_2}^U & eaoc_{2_3}^U & eaoc_{2_4}^U & H_{2_{eaoc}}^{1U} & H_{2_{eaoc}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ eaoc_{t_1}^U & eaoc_{t_2}^U & eaoc_{t_3}^U & eaoc_{t_4}^U & H_{t_{eaoc}}^{1U} & H_{t_{eaoc}}^{2U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ eaoc_{n_1}^U & eaoc_{n_2}^U & eaoc_{n_3}^U & eaoc_{n_4}^U & H_{n_{eaoc}}^{1U} & H_{n_{eaoc}}^{2U} \end{bmatrix} \quad (5.161)$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^L = \begin{bmatrix} eaoc_{1_1}^L & eaoc_{1_2}^L & eaoc_{1_3}^L & eaoc_{1_4}^L & H_{1_{eaoc}}^{1L} & H_{1_{eaoc}}^{2L} \\ eaoc_{2_1}^L & eaoc_{2_2}^L & eaoc_{2_3}^L & eaoc_{2_4}^L & H_{2_{eaoc}}^{1L} & H_{2_{eaoc}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ eaoc_{t_1}^L & eaoc_{t_2}^L & eaoc_{t_3}^L & eaoc_{t_4}^L & H_{t_{eaoc}}^{1L} & H_{t_{eaoc}}^{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ eaoc_{n_1}^L & eaoc_{n_2}^L & eaoc_{n_3}^L & eaoc_{n_4}^L & H_{n_{eaoc}}^{1L} & H_{n_{eaoc}}^{2L} \end{bmatrix} \quad (5.162)$$

$eaoc_1^U, eaoc_2^U, eaoc_3^U, eaoc_4^U, H_{eaoc}^{1U}, H_{eaoc}^{2U}, eaoc_1^L, eaoc_2^L, eaoc_3^L, eaoc_4^L, H_{eaoc}^{1L},$

H_{eaoc}^{2L} n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{EAOC}}^L$ matrisleri, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.163 ve Denklem 5.164'te tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^U = [eaoc_1^U \quad eaoc_2^U \quad eaoc_3^U \quad eaoc_4^U \quad H_{eaoc}^{1U} \quad H_{eaoc}^{2U}] \quad (5.163)$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}^L = [eaoc_1^L \quad eaoc_2^L \quad eaoc_3^L \quad eaoc_4^L \quad H_{eaoc}^{1L} \quad H_{eaoc}^{2L}] \quad (5.164)$$

Yatırımın t dönem kullanılmasının yamuk aralık tip-2 bulanık dönemsel işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten ve $\widetilde{\mathbf{EAOC}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{eaoc}_t$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.165-5.167'de verilmektedir.

$$\widetilde{eaoc}_t = [\widetilde{eaoc}_t^U \quad \widetilde{eaoc}_t^L] \quad (5.165)$$

$$\widetilde{eaoc}_t^U = [eaoc_{t_1}^U \quad eaoc_{t_2}^U \quad eaoc_{t_3}^U \quad eaoc_{t_4}^U \quad H_{t_{eaoc}}^{1U} \quad H_{t_{eaoc}}^{2U}] \quad (5.166)$$

$$\widetilde{eaoc}_t^L = [eaoc_{t_1}^L \quad eaoc_{t_2}^L \quad eaoc_{t_3}^L \quad eaoc_{t_4}^L \quad H_{t_{eaoc}}^{1L} \quad H_{t_{eaoc}}^{2L}] \quad (5.167)$$

$\widetilde{\mathbf{EAOC}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.168'deki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{eaoc}_1 \\ \widetilde{eaoc}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{eaoc}_t \\ \vdots \\ \widetilde{eaoc}_n \end{bmatrix} \quad (5.168)$$

1×12 boyutundaki $\widetilde{eaoc}_t$ matrisi, daha önceden hesaplanan 1×12 boyutundaki $^{npv}\widetilde{aoc}_t$ matrisi, $n \times 12$ boyutundaki $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisi ve t 0'dan büyük ve $\widetilde{\mathbf{I}}$ matrisinin satır sayısından küçük bir doğal sayı olmak üzere EUAV fonksiyonu kullanılarak Denklem 5.169 ile hesaplanır.

$$\widetilde{eaoc}_t = \text{EUAV}\left(^{npv}\widetilde{aoc}_t, \widetilde{\mathbf{I}}, t\right) \quad (5.169)$$

Buradan $\widetilde{\text{EAOOC}}$ matrisi Denklem 5.170 ile bulunur

$$\widetilde{\text{EAOOC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\text{eaooc}}_1 \\ \widetilde{\text{eaooc}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\text{eaooc}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\text{eaooc}}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{EUAV}(\text{npv} \widetilde{\text{aoc}}_1, \tilde{\mathbf{I}}, 1) \\ \text{EUAV}(\text{npv} \widetilde{\text{aoc}}_2, \tilde{\mathbf{I}}, 2) \\ \vdots \\ \text{EUAV}(\text{npv} \widetilde{\text{aoc}}_t, \tilde{\mathbf{I}}, t) \\ \vdots \\ \text{EUAV}(\text{npv} \widetilde{\text{aoc}}_n, \tilde{\mathbf{I}}, n) \end{bmatrix} \quad (5.170)$$

$\widetilde{\text{AOC}}$ ve $\tilde{\mathbf{I}}$ matrisi $n \times 12$ boyutunda olmak üzere $n \times 12$ boyutundaki $\widetilde{\text{EAOOC}}$ matrisi EAOOC fonksiyonu kullanılarak Denklem 5.171 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\text{EAOOC}} = \text{EAOOC}(\widetilde{\text{AOC}}, \tilde{\mathbf{I}}) \quad (5.171)$$

5.2.7 Toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti

Yamuk aralık tip-2 bulanık toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\text{EUAC}}$, $n \times 12$ boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.172 ile ifade edilmektedir.

$$\widetilde{\text{EUAC}} = [\widetilde{\text{EUAC}}^U \quad \widetilde{\text{EUAC}}^L] \quad (5.172)$$

$\widetilde{\text{EUAC}}^U$ ve $\widetilde{\text{EUAC}}^L$; üst ve alt üyelik fonksiyonunun referans noktalarını ve üyelik değerlerini içeren $n \times 6$ boyutunda matrisler olmak üzere Denklem 5.173 ve Denklem 5.174'te verilmektedir.

$$\widetilde{\text{EUAC}}^U = \begin{bmatrix} euac_{1_1}^U & euac_{1_2}^U & euac_{1_3}^U & euac_{1_4}^U & H_{1_{euac}}^{1^U} & H_{1_{euac}}^{2^U} \\ euac_{2_1}^U & euac_{2_2}^U & euac_{2_3}^U & euac_{2_4}^U & H_{2_{euac}}^{1^U} & H_{2_{euac}}^{2^U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ euac_{t_1}^U & euac_{t_2}^U & euac_{t_3}^U & euac_{t_4}^U & H_{t_{euac}}^{1^U} & H_{t_{euac}}^{2^U} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ euac_{n_1}^U & euac_{n_2}^U & euac_{n_3}^U & euac_{n_4}^U & H_{n_{euac}}^{1^U} & H_{n_{euac}}^{2^U} \end{bmatrix} \quad (5.173)$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}^L = \begin{bmatrix} euac_{1_1}^L & euac_{1_2}^L & euac_{1_3}^L & euac_{1_4}^L & H_{1_{euac}}^{1^L} & H_{1_{euac}}^{2^L} \\ euac_{2_1}^L & euac_{2_2}^L & euac_{2_3}^L & euac_{2_4}^L & H_{2_{euac}}^{1^L} & H_{2_{euac}}^{2^L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ euac_{t_1}^L & euac_{t_2}^L & euac_{t_3}^L & euac_{t_4}^L & H_{t_{euac}}^{1^L} & H_{t_{euac}}^{2^L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ euac_{n_1}^L & euac_{n_2}^L & euac_{n_3}^L & euac_{n_4}^L & H_{n_{euac}}^{1^L} & H_{n_{euac}}^{2^L} \end{bmatrix} \quad (5.174)$$

$\mathbf{euac}_1^U, \mathbf{euac}_2^U, \mathbf{euac}_3^U, \mathbf{euac}_4^U, \mathbf{H}_{\mathbf{euac}}^{1U}, \mathbf{H}_{\mathbf{euac}}^{2U}, \mathbf{euac}_1^L, \mathbf{euac}_2^L, \mathbf{euac}_3^L, \mathbf{euac}_4^L, \mathbf{H}_{\mathbf{euac}}^{1L}, \mathbf{H}_{\mathbf{euac}}^{2L}$ n boyutunda vektör olmak üzere $\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U$ ve $\widetilde{\mathbf{EUAC}}^L$ matrisleri, sütun vektörleri kullanılarak Denklem 5.175 ve Denklem 5.176’da tanımlanmaktadır.

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U = [\mathbf{euac}_1^U \quad \mathbf{euac}_2^U \quad \mathbf{euac}_3^U \quad \mathbf{euac}_4^U \quad \mathbf{H}_{\mathbf{euac}}^{1U} \quad \mathbf{H}_{\mathbf{euac}}^{2U}] \quad (5.175)$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^L = [\mathbf{euac}_1^L \quad \mathbf{euac}_2^L \quad \mathbf{euac}_3^L \quad \mathbf{euac}_4^L \quad \mathbf{H}_{\mathbf{euac}}^{1L} \quad \mathbf{H}_{\mathbf{euac}}^{2L}] \quad (5.176)$$

Ekipmanın t dönem kullanılmasının yamuk aralık tip-2 bulanık toplam eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten ve $\widetilde{\mathbf{EUAC}}$ matrisinin t . satırı olan $\widetilde{\mathbf{euac}}_t$, 1×12 boyutunda matris olmak üzere Denklem 5.177-5.179’da verilmektedir.

$$\widetilde{\mathbf{euac}}_t = [\widetilde{\mathbf{euac}}_t^U \quad \widetilde{\mathbf{euac}}_t^L] \quad (5.177)$$

$$\widetilde{\mathbf{euac}}_t^U = [euac_{t_1}^U \quad euac_{t_2}^U \quad euac_{t_3}^U \quad euac_{t_4}^U \quad H_{t_{\mathbf{euac}}}^{1U} \quad H_{t_{\mathbf{euac}}}^{2U}] \quad (5.178)$$

$$\widetilde{\mathbf{euac}}_t^L = [euac_{t_1}^L \quad euac_{t_2}^L \quad euac_{t_3}^L \quad euac_{t_4}^L \quad H_{t_{\mathbf{euac}}}^{1L} \quad H_{t_{\mathbf{euac}}}^{2L}] \quad (5.179)$$

$\widetilde{\mathbf{EUAC}}$ matrisi, satır vektörleri kullanılarak Denklem 5.180’deki biçimde ifade edilir.

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{euac}}_1 \\ \widetilde{\mathbf{euac}}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{euac}}_t \\ \vdots \\ \widetilde{\mathbf{euac}}_n \end{bmatrix} \quad (5.180)$$

Denklem 5.181 kullanılarak, $\widetilde{\mathbf{euac}}_t$ matrisinin elemanları Denklem 5.182-5.193 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{euac}}_t = \widetilde{\mathbf{cr}}_t \oplus \widetilde{\mathbf{eaoc}}_t \quad (5.181)$$

$$euac_{t_1}^U = cr_{t_1}^U + eaoc_{t_1}^U \quad (5.182)$$

$$euac_{t_2}^U = cr_{t_2}^U + eaoc_{t_2}^U \quad (5.183)$$

$$euac_{t_3}^U = cr_{t_3}^U + eaoc_{t_3}^U \quad (5.184)$$

$$euac_{t_4}^U = cr_{t_4}^U + eaoc_{t_4}^U \quad (5.185)$$

$$H_{t_{\mathbf{euac}}}^{1U} = enk(H_{t_{\mathbf{cr}}}^{1U}, H_{t_{\mathbf{eaoc}}}^{1U}) \quad (5.186)$$

$$H_{t_{euac}}^{2^U} = enk(H_{t_{cr}}^{2^U}, H_{t_{eaoc}}^{2^U}) \quad (5.187)$$

$$euac_{t_1}^L = cr_{t_1}^L + eaoc_{t_1}^U \quad (5.188)$$

$$euac_{t_2}^L = cr_{t_2}^L + eaoc_{t_2}^U \quad (5.189)$$

$$euac_{t_3}^L = cr_{t_3}^L + eaoc_{t_3}^U \quad (5.190)$$

$$euac_{t_4}^L = cr_{t_4}^L + eaoc_{t_4}^U \quad (5.191)$$

$$H_{t_{euac}}^{1^L} = enk(H_{t_{cr}}^{1^L}, H_{t_{eaoc}}^{1^L}) \quad (5.192)$$

$$H_{t_{euac}}^{2^L} = enk(H_{t_{cr}}^{2^L}, H_{t_{eaoc}}^{2^L}) \quad (5.193)$$

$\widetilde{\text{AOC}}$, $\widetilde{\text{SV}}$ ve $\widetilde{\text{I}}$ matrisi $n \times 12$ boyutunda, $\widetilde{\text{FC}}$ matrisi 1×12 boyutunda olmak üzere $n \times 12$ boyutundaki $\widetilde{\text{EUAC}}$ matrisi EUAC fonksiyonu kullanılarak Denklem 4.194 ile hesaplanır.

$$\widetilde{\text{EUAC}} = \text{EUAC}(\widetilde{\text{AOC}}, \widetilde{\text{SV}}, \widetilde{\text{FC}}, \widetilde{\text{I}}) \quad (5.194)$$

5.2.8 Modelin geçerliliğinin sınanması

Yamuk aralık tip-2 bulanık yenileme analizinin geçerliliğini test edebilmek için faiz oranının, piyasa değerlerinin ve işletme maliyetlerinin kesin sayılarla tanımlandığı aşağıdaki örnek için yıllara göre sermaye kurtarma değeri, işletme maliyeti ve toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti yamuk aralık tip-2 bulanık yenileme analizi kullanılarak hesaplanarak durulaştırılan değerler, klasik yöntemle hesaplanan değerlerle karşılaştırılacaktır.

Yenileme analizi örneği

Faiz oranının %9 olduğu piyasa koşullarında bir ekipmana ait piyasa değerleri ve işletme maliyetleri Çizelge 5.8’de verilmiştir. Ekipmanın yıllara göre sermaye kurtarma değerini, işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini ve toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini hesaplayınız.

Çizelge 5.8 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.

Yıl	Piyasa Değeri (TL)	İşletme Maliyeti (TL)
1	80000	-10000
2	65500	-12500
3	55500	-15000
4	45000	-20500
5	30500	-25500

Aşağıda faiz oranı, ekipmanın ilk yatırım maliyeti, piyasa değerleri ve işletme maliyetleri matris formunda yazılmıştır.

Faiz oranı

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}}^U & \tilde{\mathbf{I}}^L \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^U = \begin{bmatrix} 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^L = \begin{bmatrix} 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 0.0900 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

İlk yatırım maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{FC}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{FC}}^U & \widetilde{\mathbf{FC}}^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^U = [-100000 \quad -100000 \quad -100000 \quad -100000 \quad 1.00 \quad 1.00]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}^L = [-100000 \quad -100000 \quad -100000 \quad -100000 \quad 1.00 \quad 1.00]$$

Hurda değeri

$$\widetilde{\mathbf{SV}} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{SV}}^U & \widetilde{\mathbf{SV}}^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}^U = \begin{bmatrix} 80000 & 80000 & 80000 & 80000 & 1.00 & 1.00 \\ 65500 & 65500 & 65500 & 65500 & 1.00 & 1.00 \\ 55500 & 55500 & 55500 & 55500 & 1.00 & 1.00 \\ 45000 & 45000 & 45000 & 45000 & 1.00 & 1.00 \\ 30500 & 30500 & 30500 & 30500 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}^L = \begin{bmatrix} 80000 & 80000 & 80000 & 80000 & 1.00 & 1.00 \\ 65500 & 65500 & 65500 & 65500 & 1.00 & 1.00 \\ 55500 & 55500 & 55500 & 55500 & 1.00 & 1.00 \\ 45000 & 45000 & 45000 & 45000 & 1.00 & 1.00 \\ 30500 & 30500 & 30500 & 30500 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Yıllık işletme maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{AOC}} = [\widetilde{\mathbf{AOC}}^U \quad \widetilde{\mathbf{AOC}}^L]$$

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}^U = \begin{bmatrix} -10000 & -10000 & -10000 & -10000 & 1.00 & 1.00 \\ -12500 & -12500 & -12500 & -12500 & 1.00 & 1.00 \\ -15000 & -15000 & -15000 & -15000 & 1.00 & 1.00 \\ -20500 & -20500 & -20500 & -20500 & 1.00 & 1.00 \\ -25500 & -25500 & -25500 & -25500 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}^L = \begin{bmatrix} -10000 & -10000 & -10000 & -10000 & 1.00 & 1.00 \\ -12500 & -12500 & -12500 & -12500 & 1.00 & 1.00 \\ -15000 & -15000 & -15000 & -15000 & 1.00 & 1.00 \\ -20500 & -20500 & -20500 & -20500 & 1.00 & 1.00 \\ -25500 & -25500 & -25500 & -25500 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\mathbf{CR}}$ matrisi, CR fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{CR}} = [\widetilde{\mathbf{CR}}^U \quad \widetilde{\mathbf{CR}}^L] = \text{CR}(\widetilde{\mathbf{SV}}, \widetilde{\mathbf{FC}}, \hat{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\mathbf{CR}}^U = \begin{bmatrix} -29000 & -29000 & -29000 & -29000 & 1.00 & 1.00 \\ -25507 & -25507 & -25507 & -25507 & 1.00 & 1.00 \\ -22575 & -22575 & -22575 & -22575 & 1.00 & 1.00 \\ -21027 & -21027 & -21027 & -21027 & 1.00 & 1.00 \\ -20613 & -20613 & -20613 & -20613 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{CR}}^L = \begin{bmatrix} -29000 & -29000 & -29000 & -29000 & 1.00 & 1.00 \\ -25507 & -25507 & -25507 & -25507 & 1.00 & 1.00 \\ -22575 & -22575 & -22575 & -22575 & 1.00 & 1.00 \\ -21027 & -21027 & -21027 & -21027 & 1.00 & 1.00 \\ -20613 & -20613 & -20613 & -20613 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın t yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değerinin durulaştırılmış değerini belirten $\text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{cr}}_t)$, $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{cr}}_1) \\ \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{cr}}_2) \\ \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{cr}}_3) \\ \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{cr}}_4) \\ \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{cr}}_5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -29000 \\ -25507 \\ -22575 \\ -21027 \\ -20613 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\mathbf{EAO C}}$ matrisi, EAO C fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{EAO C}} = [\widetilde{\mathbf{EAO C}}^U \quad \widetilde{\mathbf{EAO C}}^L] = \text{EAO C}(\widetilde{\mathbf{AO C}}, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\mathbf{EAO C}}^U = \begin{bmatrix} -10000 & -10000 & -10000 & -10000 & 1.00 & 1.00 \\ -11196 & -11196 & -11196 & -11196 & 1.00 & 1.00 \\ -12357 & -12357 & -12357 & -12357 & 1.00 & 1.00 \\ -14137 & -14137 & -14137 & -14137 & 1.00 & 1.00 \\ -16036 & -16036 & -16036 & -16036 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{EAO C}}^L = \begin{bmatrix} -10000 & -10000 & -10000 & -10000 & 1.00 & 1.00 \\ -11196 & -11196 & -11196 & -11196 & 1.00 & 1.00 \\ -12357 & -12357 & -12357 & -12357 & 1.00 & 1.00 \\ -14137 & -14137 & -14137 & -14137 & 1.00 & 1.00 \\ -16036 & -16036 & -16036 & -16036 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın t yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerinin durulaştırılmış değerini belirten $\text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_t)$, $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_1) \\ \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_2) \\ \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_3) \\ \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_4) \\ \text{DTraT}(\widetilde{\mathbf{eaoc}}_5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10000 \\ -11196 \\ -12357 \\ -14137 \\ -16036 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\mathbf{EUAC}}$ matrisi, EUAC fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}} = [\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U \quad \widetilde{\mathbf{EUAC}}^L] = \text{EUAC}(\widetilde{\mathbf{AO C}}, \widetilde{\mathbf{SV}}, \widetilde{\mathbf{FC}}, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^U = \begin{bmatrix} -39000 & -39000 & -39000 & -39000 & 1.00 & 1.00 \\ -36703 & -36703 & -36703 & -36703 & 1.00 & 1.00 \\ -34932 & -34932 & -34932 & -34932 & 1.00 & 1.00 \\ -35164 & -35164 & -35164 & -35164 & 1.00 & 1.00 \\ -36649 & -36649 & -36649 & -36649 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}^L = \begin{bmatrix} -39000 & -39000 & -39000 & -39000 & 1.00 & 1.00 \\ -36703 & -36703 & -36703 & -36703 & 1.00 & 1.00 \\ -34932 & -34932 & -34932 & -34932 & 1.00 & 1.00 \\ -35164 & -35164 & -35164 & -35164 & 1.00 & 1.00 \\ -36649 & -36649 & -36649 & -36649 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Ekipmanın t yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetinin durulaştırılmış değerini belirten $D\text{TraT}(\widetilde{\text{euac}}_t)$, $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} D\text{TraT}(\widetilde{\text{euac}}_1) \\ D\text{TraT}(\widetilde{\text{euac}}_2) \\ D\text{TraT}(\widetilde{\text{euac}}_3) \\ D\text{TraT}(\widetilde{\text{euac}}_4) \\ D\text{TraT}(\widetilde{\text{euac}}_5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -39000 \\ -36703 \\ -34932 \\ -35164 \\ -36649 \end{bmatrix}$$

Klasik yöntemle hesaplanan yıllara göre sermaye kurtarma değeri, işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri ve toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9 : Yıllara göre piyasa değeri ve işletme maliyeti.

Yıl (k)	CR_k	$EAOC_k$	$EUAC_k$
1	-29000	-10000	-39000
2	-25507	-11196	-36703
3	-22575	-12357	-34932
4	-21027	-14137	-35164
5	-20613	-16036	-36649

Geliştirilen yamuk aralık tip-2 bulanık yenileme analizi modeli kullanılarak hesaplanıp durulaştırılan değerler, klasik yöntemle hesaplanan değerlerle aynı olduğundan önerilen modelin geçerliliği kanıtlanmıştır.

5.2.9 Yamuk aralık tip-2 bulanık yenileme analizi uygulaması

İyimser piyasa koşullarında ve planlama ufğunun 4 yıl olduğu bir yenileme analizinde faiz oranının, savunucunun piyasa değerinin ile yıllık işletme maliyetinin ve aday olan sabit sözleşmeyle yıllık hizmet bedelinin beklenen değerleri yamuk aralık tip-2 bulanık sayılarla tanımlanarak tanımlanarak Çizelge 5.10-5.13’te verilmiştir. Bütün yenileme durumlarını sıralayarak en düşük maliyetli yenileme seçeneğini belirleyiniz.

Çizelge 5.10 : İyimsen piyasa koşulları için faiz oranı.

Yıl	Faiz Oranı (%)
1	((8.20, 8.40, 8.60, 8.80; 1.00, 1.00), (8.30, 8.45, 8.55, 8.70; 0.90, 0.90))
2	((7.85, 8.05, 8.35, 8.55; 0.95, 1.00), (8.00, 8.10, 8.30, 8.40; 0.85, 0.85))
3	((7.40, 7.60, 8.00, 8.20; 0.95, 1.00), (7.60, 7.70, 7.90, 8.00; 0.80, 0.85))
4	((7.05, 7.25, 7.75, 7.95; 1.00, 0.95), (7.25, 7.35, 7.65, 7.75; 0.85, 0.80))

Çizelge 5.11 : Savunucunun piyasa değeri.

Yıl	Piyasa Değeri (× 1000 TL)
-1	49
0	((44.0, 45.0, 46.0, 47.0; 1.00, 1.00), (44.5, 45.0, 46.0, 46.5; 0.90, 0.90))
1	((36.0, 37.1, 38.3, 38.7; 1.00, 0.95), (36.6, 37.4, 38.0, 38.2; 0.90, 0.85))
2	((33.2, 33.8, 35.6, 36.7; 0.95, 1.00), (33.7, 34.3, 35.1, 35.9; 0.85, 0.90))
3	((29.8, 30.6, 32.4, 33.9; 0.95, 1.00), (30.6, 31.2, 31.9, 33.2; 0.85, 0.85))
4	((27.2, 28.3, 30.1, 31.0; 1.00, 0.95), (28.1, 28.8, 29.7, 30.1; 0.85, 0.80))

Çizelge 5.12 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.

Yıl	Yıllık İşletme Maliyeti (× 1000 TL)
0	8.5
1	((-12.0, -11.4, -10.2, -9.1; 1.00, 0.95), (-11.3, -11.1, -10.7, -9.7; 0.90, 0.90))
2	((-14.6, -13.2, -11.6, -10.8; 0.95, 1.00), (-13.8, -13.0, -12.1, -11.6; 0.85, 0.90))
3	((-17.7, -16.6, -14.4, -13.2; 1.00, 0.90), (-16.8, -16.0, -14.9, -14.1; 0.85, 0.80))
4	((-22.0, -20.5, -18.5, -16.8; 0.90, 1.00), (-21.1, -20.0, -18.8, -17.7; 0.80, 0.85))

Çizelge 5.13 : Sabit sözleşme bedeli.

Yıl	Toplam Eşdeğer Düzgün Ödeme Maliyeti (× 1000 TL)
1-4	((-25.0, -23.5, -22.5, -21.0; 1.00, 1.00), (-24.5, -23.5, -22.5, -21.5; 0.90, 0.90))

Çizelge 5.14 : Yenileme seçenekleri.

	1. Yıl	2. Yıl	3. Yıl	4. Yıl
1. Seçenek	Aday	Aday	Aday	Aday
2. Seçenek	Savunucu	Aday	Aday	Aday
3. Seçenek	Savunucu	Savunucu	Aday	Aday
4. Seçenek	Savunucu	Savunucu	Savunucu	Aday
5. Seçenek	Savunucu	Savunucu	Savunucu	Savunucu

Bütün yenileme durumlarının sıralandığı yenileme seçenekleri Çizelge 5.14'te gösterilmiştir. Yamuk aralık tip-2 faiz oranı, savunucunun ilk yatırım maliyeti, hurda değerleri ve işletme maliyetleri ve adayın toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti verileri aşağıda matris formunda yazılmıştır.

Faiz oranı

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}}^U & \tilde{\mathbf{I}}^L \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^U = \begin{bmatrix} 0.0820 & 0.0840 & 0.0860 & 0.0880 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0785 & 0.0805 & 0.0835 & 0.0855 & 0.95 & 1.00 \\ 0.0740 & 0.0760 & 0.0800 & 0.0820 & 0.95 & 1.00 \\ 0.0705 & 0.0725 & 0.0775 & 0.0795 & 1.00 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^L = \begin{bmatrix} 0.0830 & 0.0845 & 0.0855 & 0.0870 & 0.90 & 0.90 \\ 0.0800 & 0.0810 & 0.0830 & 0.0840 & 0.85 & 0.85 \\ 0.0760 & 0.0770 & 0.0790 & 0.0800 & 0.80 & 0.85 \\ 0.0725 & 0.0735 & 0.0765 & 0.0775 & 0.85 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun ilk yatırım maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_D = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{FC}}_D^U & \widetilde{\mathbf{FC}}_D^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_D^U = \begin{bmatrix} -47000 & -46000 & -45000 & -44000 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_D^L = \begin{bmatrix} -46500 & -46000 & -45000 & -44500 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

Savunucunun hurda değeri

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_D = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{SV}}_D^U & \widetilde{\mathbf{SV}}_D^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_D^U = \begin{bmatrix} 36000 & 37100 & 38300 & 38700 & 1.00 & 0.95 \\ 33200 & 33800 & 35600 & 36700 & 0.95 & 1.00 \\ 29800 & 30600 & 32400 & 33900 & 0.95 & 1.00 \\ 27200 & 28300 & 30100 & 31000 & 1.00 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_D^L = \begin{bmatrix} 36600 & 37400 & 38000 & 38200 & 0.90 & 0.85 \\ 33700 & 34300 & 35100 & 35900 & 0.85 & 0.90 \\ 30600 & 31200 & 31900 & 33200 & 0.85 & 0.85 \\ 28100 & 28800 & 29700 & 30100 & 0.85 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun yıllık işletme maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}_D = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{AOC}}_D^U & \widetilde{\mathbf{AOC}}_D^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{AOC}}}_D^U = \begin{bmatrix} -12000 & -11400 & -10200 & -9100 & 1.00 & 0.95 \\ -14600 & -13200 & -11600 & -10800 & 0.95 & 1.00 \\ -17700 & -16600 & -14400 & -13200 & 1.00 & 0.90 \\ -22000 & -20500 & -18500 & -16800 & 0.90 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{AOC}}}_D^L = \begin{bmatrix} -11300 & -11100 & -10700 & -9700 & 0.90 & 0.90 \\ -13800 & -13000 & -12100 & -11600 & 0.85 & 0.90 \\ -16800 & -16000 & -14900 & -14100 & 0.85 & 0.80 \\ -21100 & -20000 & -18800 & -17700 & 0.80 & 0.85 \end{bmatrix}$$

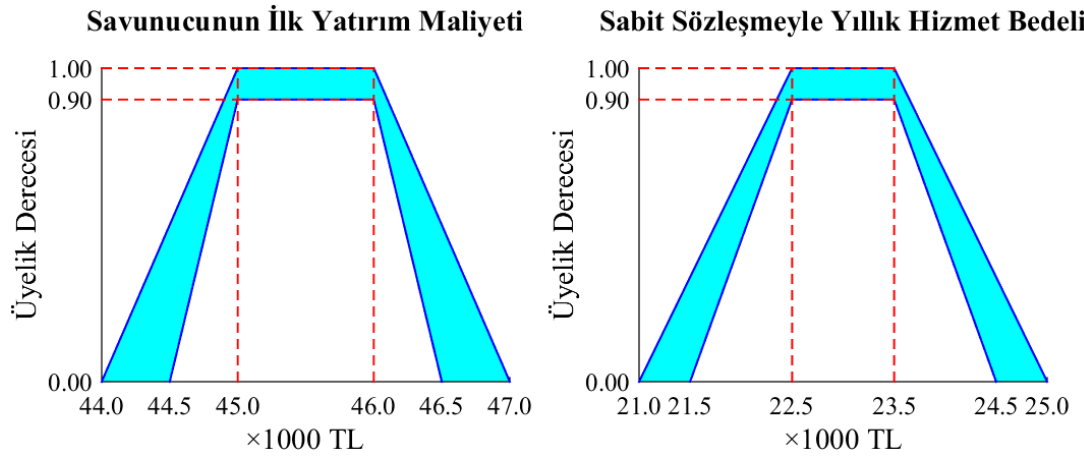
Adayın Toplam Eşdeğer Düzgün Ödeme Maliyeti

$$\widetilde{\widetilde{\text{EUAC}}}_C = [\widetilde{\widetilde{\text{EUAC}}}_C^U \quad \widetilde{\widetilde{\text{EUAC}}}_C^L]$$

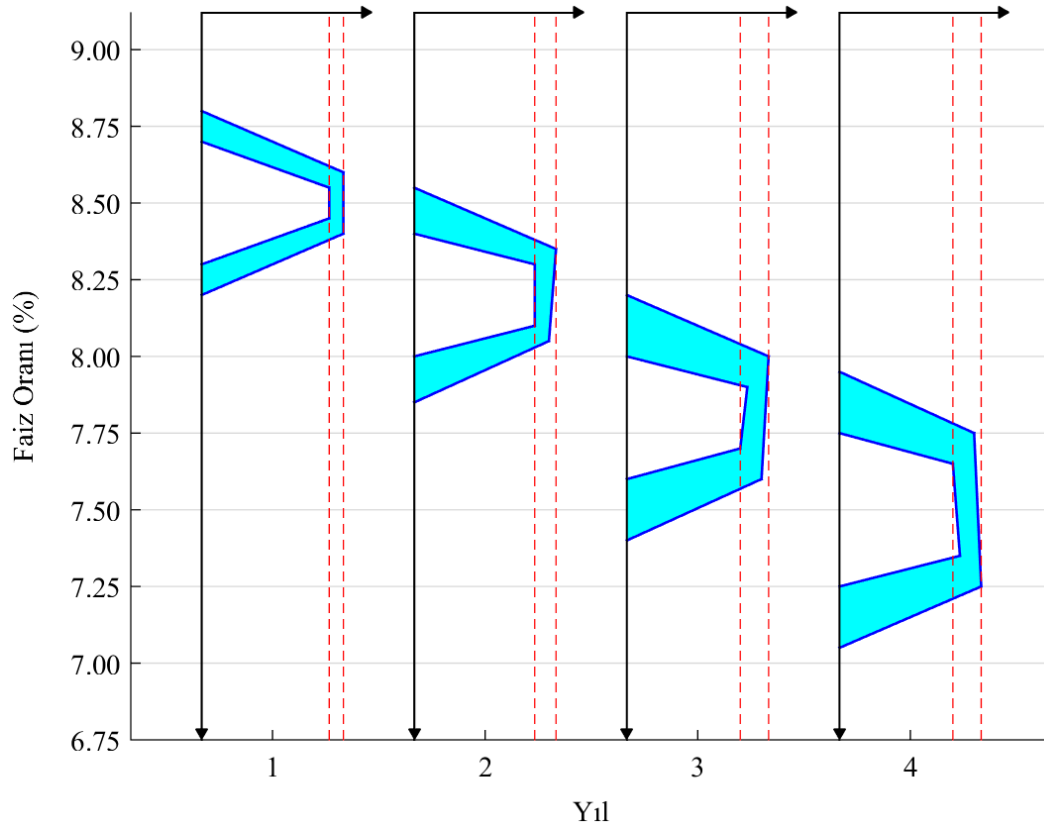
$$\widetilde{\widetilde{\text{EUAC}}}_C^U = \begin{bmatrix} -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{EUAC}}}_C^L = \begin{bmatrix} -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

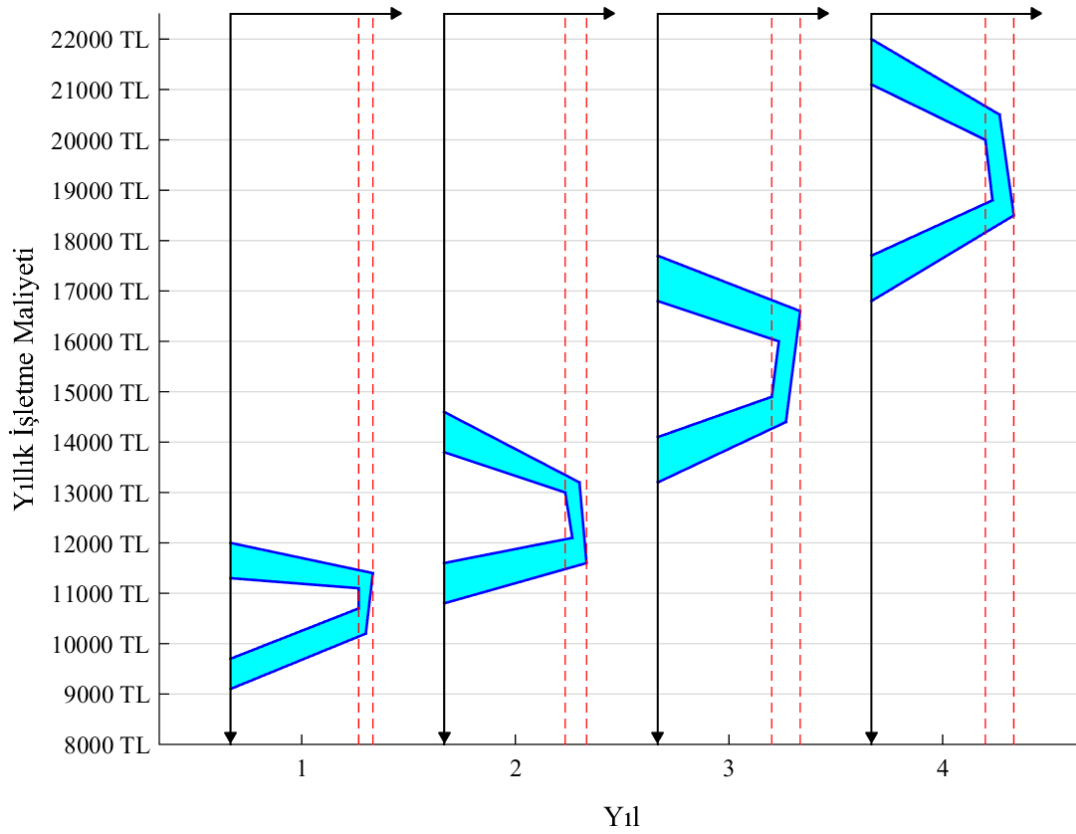
Savunucunun ilk yatırım maliyeti ve aday olan sabit sözleşmeyle hizmet bedeli Şekil 5.13'te, yıllara göre faiz oranı Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



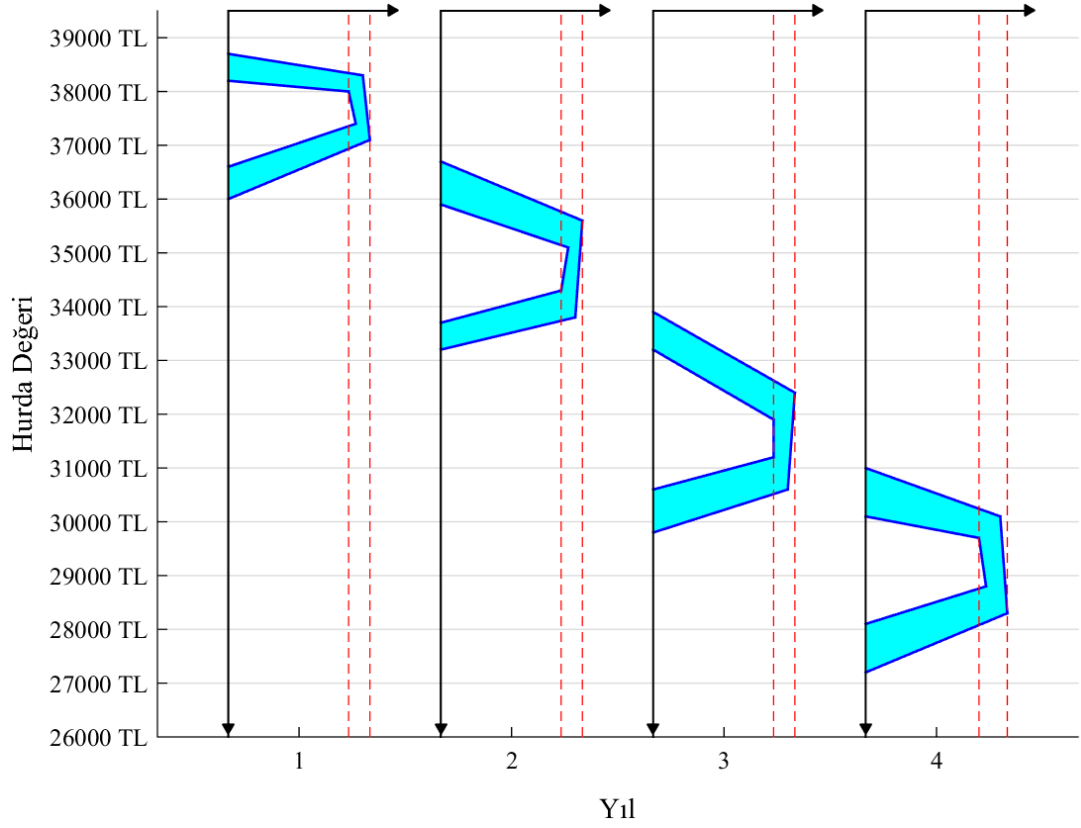
Şekil 5.13 : Savunucunun ilk yatırım maliyeti ve sözleşme bedeli.



Şekil 5.14 : İyimser piyasa koşulları için faiz oranı.



Şekil 5.15 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.



Şekil 5.16 : Savunucunun hurda değeri.

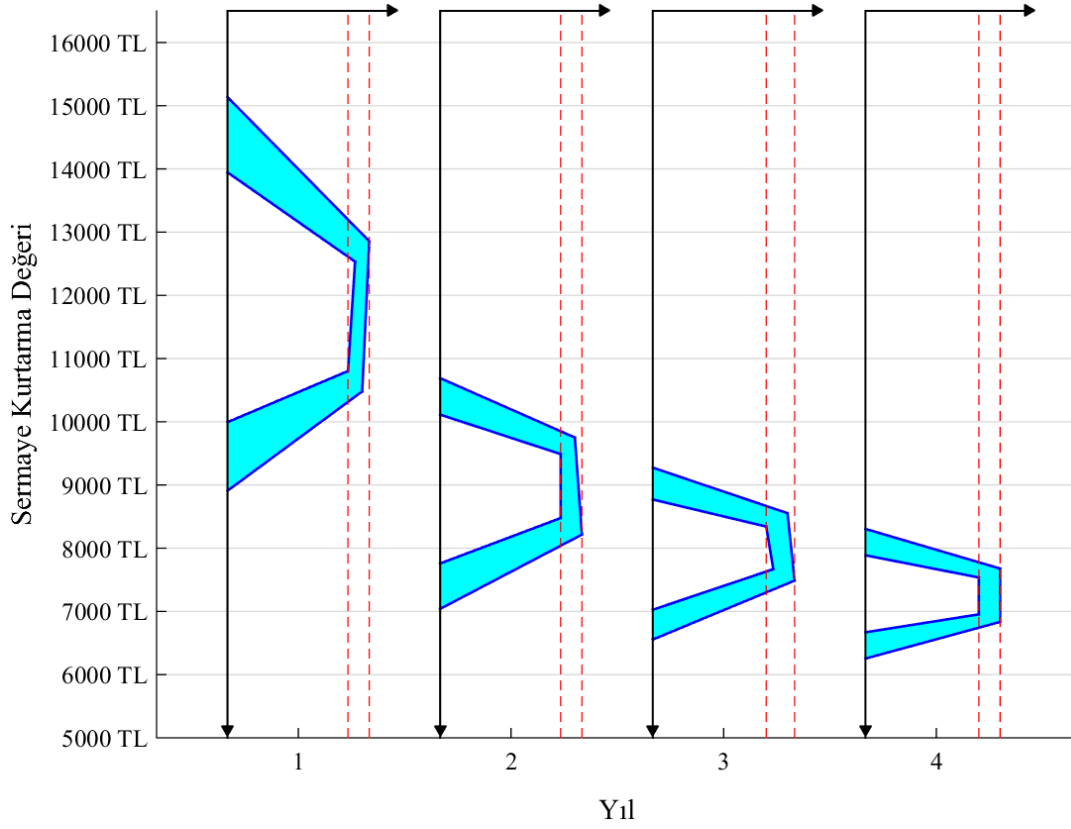
Savunucunun yıllara göre işletme maliyeti ve hurda değeri Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Savunucunun yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_D$ matrisi, CR fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_D = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_D^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_D^L] = \text{CR}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}_D, \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_D, \hat{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_D^U = \begin{bmatrix} -15053 & -12832 & -10499 & -8957 & 1.00 & 0.95 \\ -10596 & -9717 & -8244 & -7103 & 0.95 & 1.00 \\ -9157 & -8508 & -7528 & -6639 & 0.95 & 1.00 \\ -8166 & -7617 & -6889 & -6360 & 0.95 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_D^L = \begin{bmatrix} -13894 & -12521 & -10812 & -10030 & 0.90 & 0.85 \\ -10058 & -9469 & -8494 & -7801 & 0.85 & 0.85 \\ -8707 & -8317 & -7692 & -7077 & 0.80 & 0.85 \\ -7813 & -7502 & -6985 & -6733 & 0.80 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değeri Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.17 : Savunucunun sermaye kurtarma değeri.

Savunucunun yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\text{EAOC}}_D$ matrisi, EAO fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

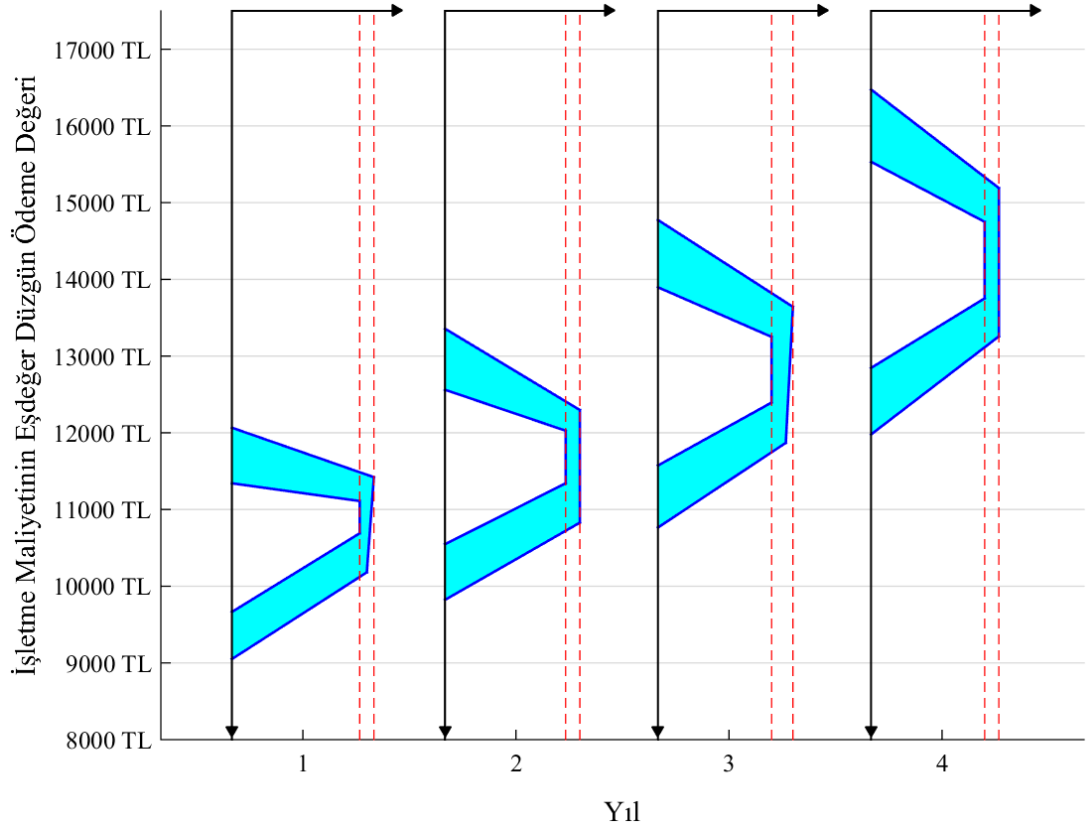
$$\widetilde{\text{EAOC}}_D = [\widetilde{\text{EAOC}}_D^U \quad \widetilde{\text{EAOC}}_D^L] = \text{EAO}(\widetilde{\text{AOC}}_D, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\text{EAOC}}_D^U = \begin{bmatrix} -12000 & -11400 & -10200 & -9100 & 1.00 & 0.95 \\ -13239 & -12255 & -10865 & -9909 & 0.95 & 0.95 \\ -14588 & -13567 & -11934 & -10902 & 0.95 & 0.90 \\ -16200 & -15071 & -13362 & -12181 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\text{EAOC}}_D^L = \begin{bmatrix} -11300 & -11100 & -10700 & -9700 & 0.90 & 0.90 \\ -12493 & -12003 & -11365 & -10604 & 0.85 & 0.85 \\ -13797 & -13210 & -12432 & -11658 & 0.80 & 0.80 \\ -15386 & -14683 & -13815 & -12968 & 0.80 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri

Şekil 5.18’de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 : Savunucunun işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.

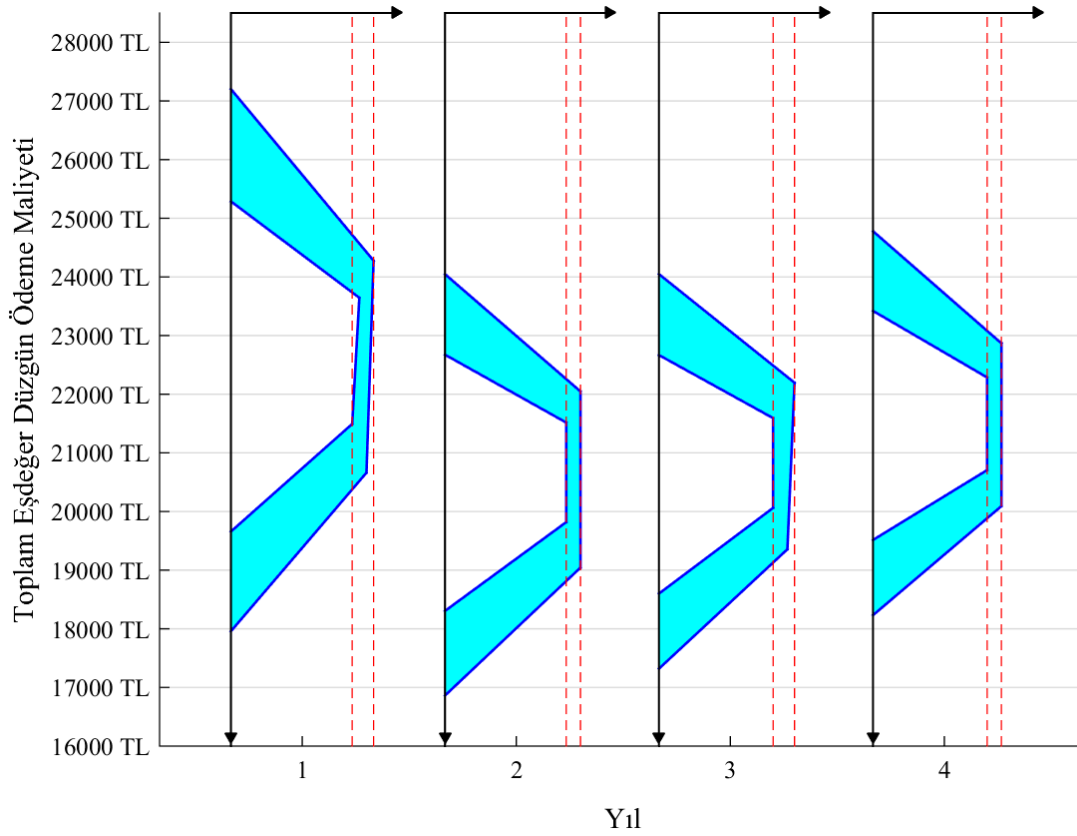
Savunucunun yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\text{EUAC}}_D$ matrisi, EUAC fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\text{EUAC}}_D = [\widetilde{\text{EUAC}}_D^U \quad \widetilde{\text{EUAC}}_D^L] = \text{EUAC}(\widetilde{\text{AOC}}_D, \widetilde{\text{SV}}_D, \widetilde{\text{FC}}_D, \widetilde{\text{I}})$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_D^U = \begin{bmatrix} -27053 & -24232 & -20699 & -18057 & 1.00 & 0.95 \\ -23835 & -21972 & -19109 & -17012 & 0.95 & 0.95 \\ -23745 & -22075 & -19462 & -17541 & 0.95 & 0.90 \\ -24366 & -22687 & -20251 & -18541 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_D^L = \begin{bmatrix} -25194 & -23621 & -21512 & -19730 & 0.90 & 0.85 \\ -22551 & -21472 & -19859 & -18405 & 0.85 & 0.85 \\ -22504 & -21527 & -20124 & -18735 & 0.80 & 0.80 \\ -23199 & -22185 & -20800 & -19701 & 0.80 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 : Savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.

1. Seçeneğin Şimdiki Değerinin Hesaplanması

1. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyetini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_1$ matrisinin şimdiki değeri olan $\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_1$ matrisi, NPV fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_1 = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_1^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_1^L]$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_1^U = \begin{bmatrix} -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_1^L = \begin{bmatrix} -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

0. yılda ilk yatırım maliyeti bulunmadığından NPV fonksiyonunda $\widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}$ yerine aşağıda belirtilen $\widetilde{\widetilde{\mathbf{0}}}$ matrisi kullanılır.

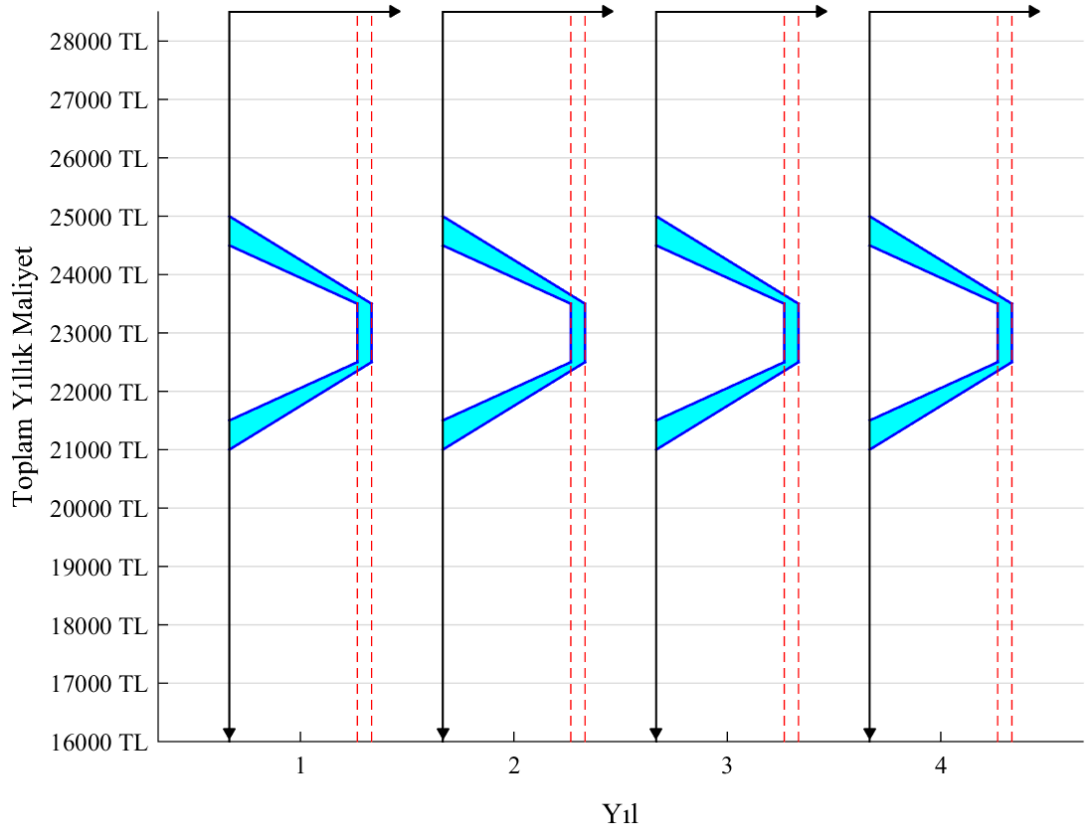
$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{0}}} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1.00 \quad 1.00]$$

$$\widetilde{\mathbf{P}}\mathbf{V}_1 = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{P}}\mathbf{V}_1^U & \widetilde{\mathbf{P}}\mathbf{V}_1^L \end{bmatrix} = \text{NPV}(\widetilde{\mathbf{C}}\mathbf{F}_1, \widetilde{\mathbf{O}}, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\mathbf{P}}\mathbf{V}_1^U = [-83110 \quad -77776 \quad -73977 \quad -68740 \quad 0.95 \quad 0.90]$$

$$\widetilde{\mathbf{P}}\mathbf{V}_1^L = [-81187 \quad -77664 \quad -74082 \quad -70600 \quad 0.80 \quad 0.80]$$

1. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyeti Şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 : 1. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.

2. Seçeneğin Şimdiki Değerinin Hesaplanması

2. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyetini belirten $\widetilde{\mathbf{C}}\mathbf{F}_2$ matrisinin şimdiki değeri olan $\widetilde{\mathbf{P}}\mathbf{V}_2$ matrisi, NPV fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{C}}\mathbf{F}_2 = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{C}}_2^U & \widetilde{\mathbf{C}}_2^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{C}}_2^U = \begin{bmatrix} -27053 & -24232 & -20699 & -18057 & 1.00 & 0.95 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

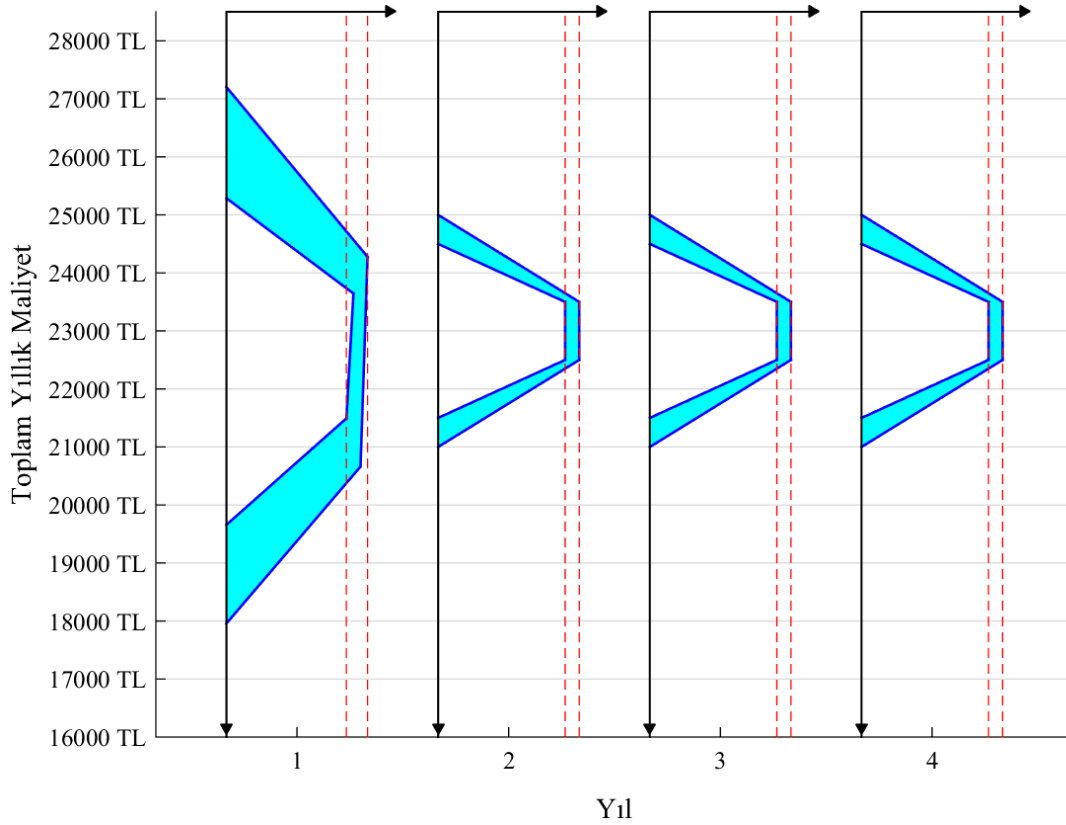
$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_2^L = \begin{bmatrix} -25194 & -23621 & -21512 & -19730 & 0.90 & 0.85 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_2 = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_2^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_2^L] = \text{NPV}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_2, \widetilde{\widetilde{\mathbf{O}}}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{I}}})$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_2^U = [-85007 \quad -78451 \quad -72319 \quad -66035 \quad 0.95 \quad 0.90]$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_2^L = [-81828 \quad -77776 \quad -73173 \quad -68972 \quad 0.80 \quad 0.80]$$

2. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyeti Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21 : 2. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.

3. Seçeneğin Şimdiki Değerinin Hesaplanması

3. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyetini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_3$ matrisinin şimdiki değeri olan $\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_3$ matrisi, NPV fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_3 = [\widetilde{\widetilde{\mathbf{C}}}_3^U \quad \widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_3^L]$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_3^U = \begin{bmatrix} -23835 & -21972 & -19109 & -17012 & 0.95 & 0.95 \\ -23835 & -21972 & -19109 & -17012 & 0.95 & 0.95 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

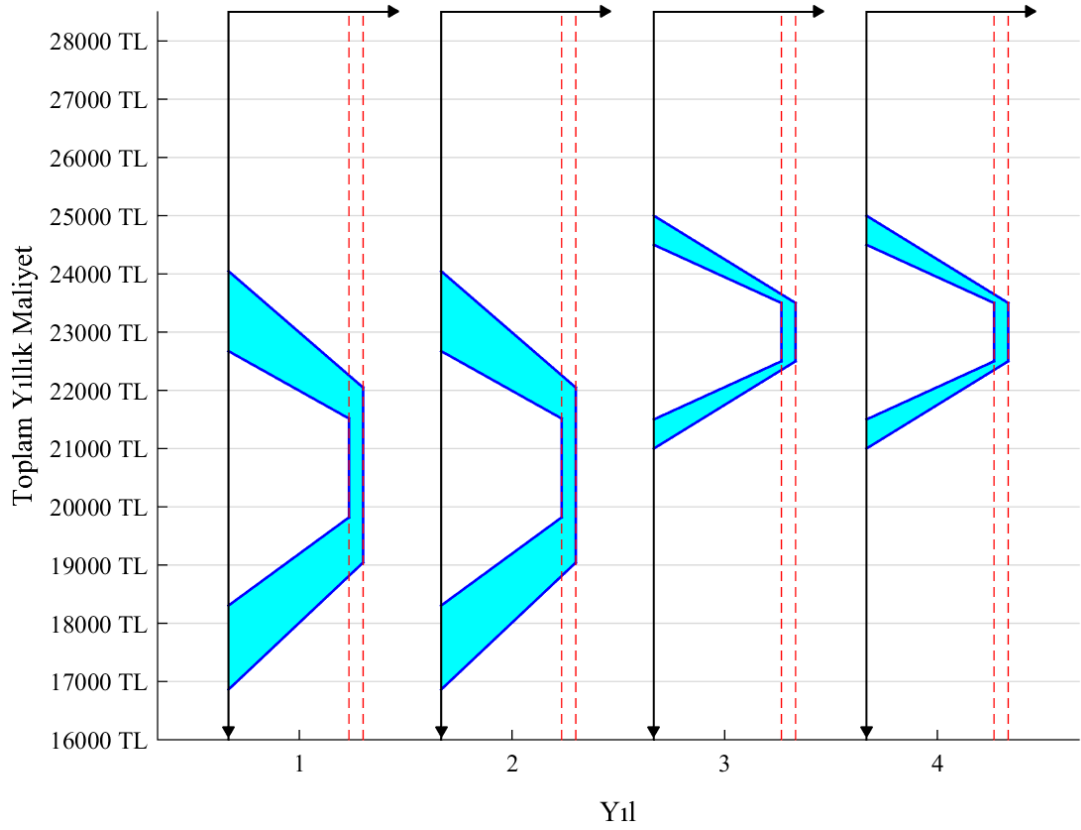
$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_3^L = \begin{bmatrix} -22551 & -21472 & -19859 & -18405 & 0.85 & 0.85 \\ -22551 & -21472 & -19859 & -18405 & 0.85 & 0.85 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_3 = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_3^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_3^L \end{bmatrix} = \text{NPV}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_3, \widetilde{\widetilde{\mathbf{O}}}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{I}}})$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_3^U = [-81035 \quad -75061 \quad -67972 \quad -61697 \quad 0.95 \quad 0.90]$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_3^L = [-77721 \quad -74064 \quad -69404 \quad -65126 \quad 0.80 \quad 0.80]$$

3. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyeti Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22 : 3. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.

4. Seçeneğin Şimdiki Değerinin Hesaplanması

4. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyetini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_4$ matrisinin şimdiki değeri olan $\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_4$ matrisi, NPV fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_4 = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_4^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_4^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_4^U = \begin{bmatrix} -23745 & -22075 & -19462 & -17541 & 0.95 & 0.90 \\ -23745 & -22075 & -19462 & -17541 & 0.95 & 0.90 \\ -23745 & -22075 & -19462 & -17541 & 0.95 & 0.90 \\ -25000 & -23500 & -22500 & -21000 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

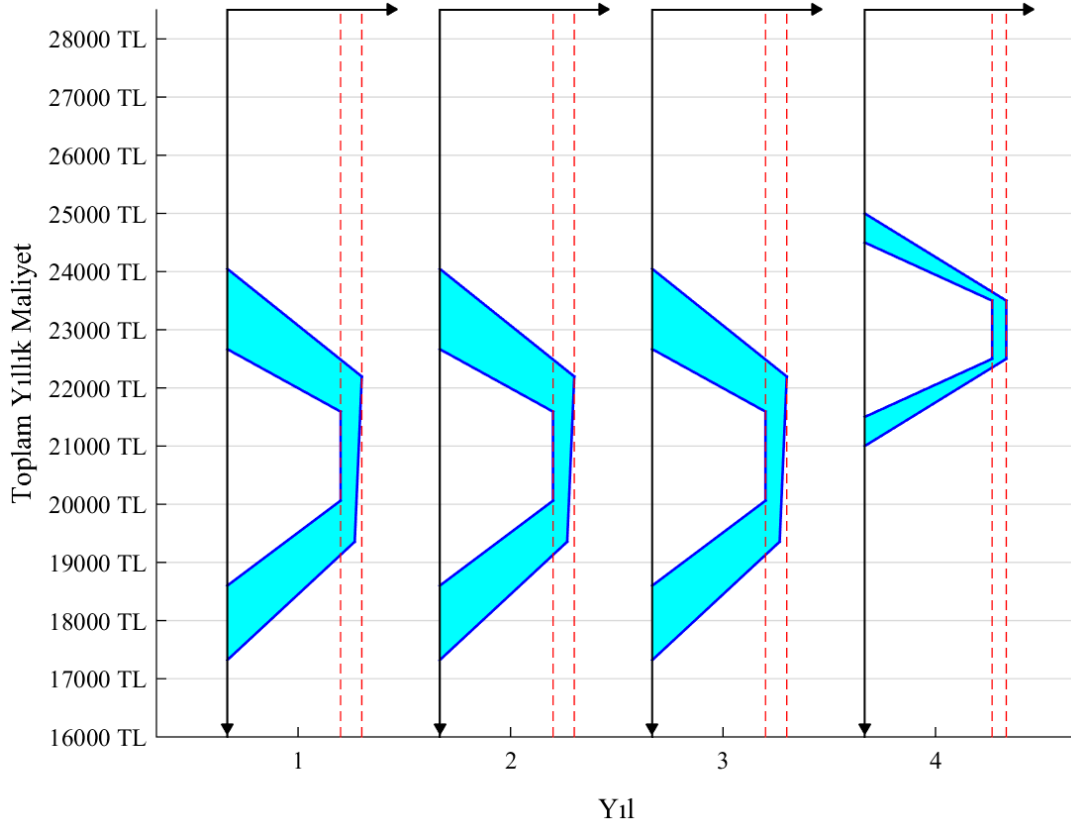
$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_4^L = \begin{bmatrix} -22504 & -21527 & -20124 & -18735 & 0.80 & 0.80 \\ -22504 & -21527 & -20124 & -18735 & 0.80 & 0.80 \\ -22504 & -21527 & -20124 & -18735 & 0.80 & 0.80 \\ -24500 & -23500 & -22500 & -21500 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_4 = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_4^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_4^L \end{bmatrix} = \text{NPV}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_4, \widetilde{\mathbf{0}}, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_4^U = [-79874 \quad -74114 \quad -66206 \quad -59925 \quad 0.95 \quad 0.90]$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_4^L = [-76052 \quad -72599 \quad -67998 \quad -63537 \quad 0.80 \quad 0.80]$$

4. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyeti Şekil 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23 : 4. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.

5. Seçeneğin Şimdiki Değerinin Hesaplanması

5. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyetini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_5$ matrisinin şimdiki değeri olan $\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_5$ matrisi, NPV fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_5 = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_5^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_5^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_5^U = \begin{bmatrix} -24366 & -22687 & -20251 & -18541 & 0.90 & 0.90 \\ -24366 & -22687 & -20251 & -18541 & 0.90 & 0.90 \\ -24366 & -22687 & -20251 & -18541 & 0.90 & 0.90 \\ -24366 & -22687 & -20251 & -18541 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

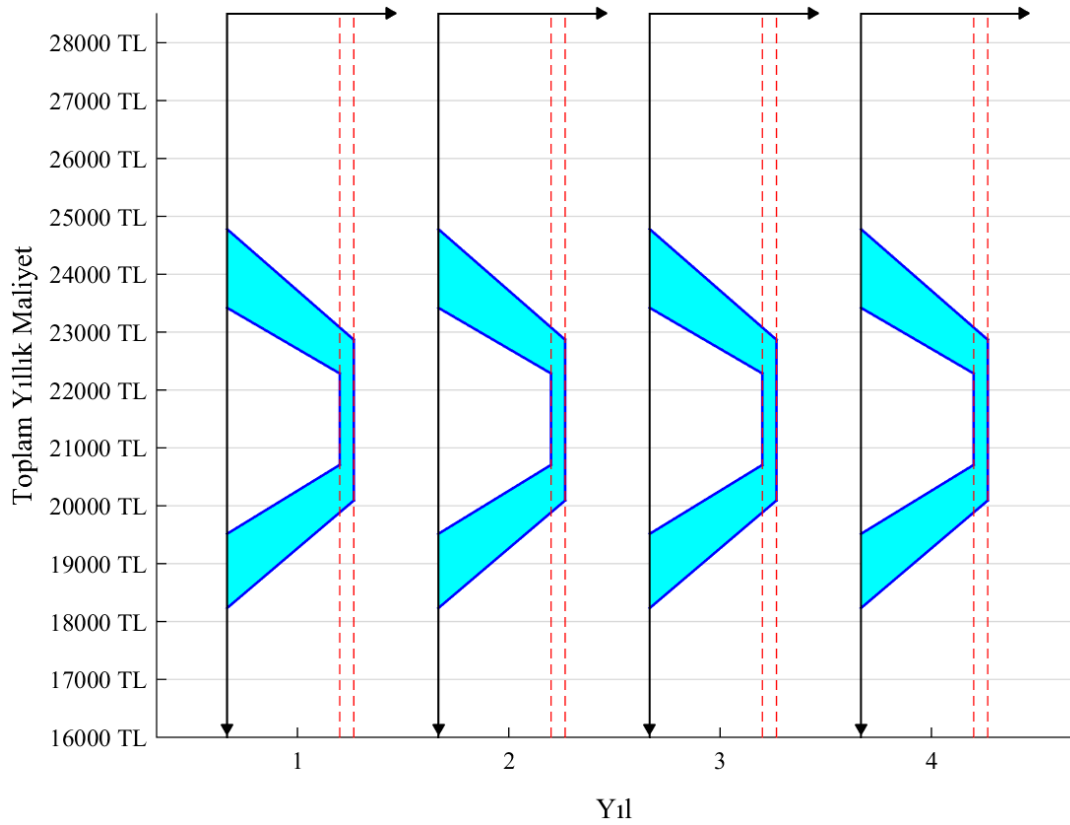
$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_5^L = \begin{bmatrix} -23199 & -22185 & -20800 & -19701 & 0.80 & 0.80 \\ -23199 & -22185 & -20800 & -19701 & 0.80 & 0.80 \\ -23199 & -22185 & -20800 & -19701 & 0.80 & 0.80 \\ -23199 & -22185 & -20800 & -19701 & 0.80 & 0.80 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_5 = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_5^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_5^L \end{bmatrix} = \text{NPV}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{CF}}}_1, \widetilde{\mathbf{0}}, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_5^U = [-81003 \quad -75086 \quad -66582 \quad -60692 \quad 0.90 \quad 0.90]$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{PV}}}_5^L = [-76876 \quad -73318 \quad -68486 \quad -64693 \quad 0.80 \quad 0.80]$$

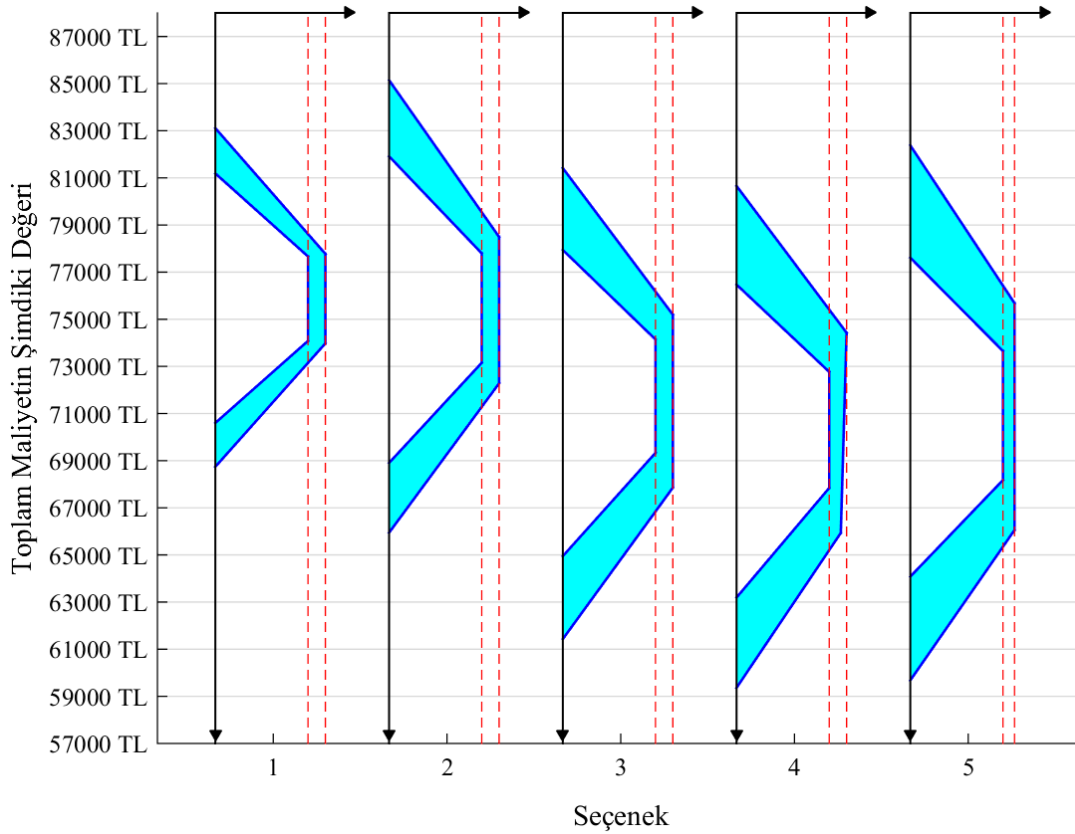
5. Seçeneğin yıllara göre toplam yıllık maliyeti Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : 5. seçeneğin toplam yıllık maliyeti.

En düşük maliyetli yenileme seçeneğinin belirlenmesi

Bütün seçeneklerin toplam yıllık maliyetin şimdiki değerleri Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25 : Seçeneklerin toplam maliyetinin şimdiki değeri.

Seçeneklere ait toplam maliyetlerin sıralanması

n . seçeneğin toplam maliyetinin şimdiki değerinin göreceli büyüklüğünü belirlen

– Rank($\widetilde{\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}}_n$) değeri $n = 1,2,3,4,5$ alternatifleri için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} -\text{Rank}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}}_1) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}}_2) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}}_3) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}}_4) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}}_5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 460736 \\ 459585 \\ 436287 \\ \mathbf{427744} \\ 432268 \end{bmatrix}$$

Sıralamayla en duŐk maliyetli seçeneğin belirlenmesi

Seçeneklerin toplam maliyetlerinin büyüklükleri sıralandığında 427744 olan 4.

Seçenek en duŐk göreceli maliyet büyüklüğüne sahiptir. Savuncu 3 yıl kullanıldıktan sonra 4. yıl sabit sozleŐmeyle dıŐarıdan hizmet alınmalıdır.

Seçeneklere ait toplam maliyetlerin durulaştırılması

n . seçeneğin toplam maliyetinin şimdiki değerini belirten $-D\text{TraT}(\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}_n)$ değeri $n = 1,2,3,4,5$ alternatifleri için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} -D\text{TraT}(\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}_1) \\ -D\text{TraT}(\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}_2) \\ -D\text{TraT}(\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}_3) \\ -D\text{TraT}(\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}_4) \\ -D\text{TraT}(\widetilde{\mathbf{P}\mathbf{V}}_5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 71150 \\ 70729 \\ 67029 \\ \mathbf{65183} \\ 65526 \end{bmatrix}$$

Durulaştırmayla en düşük maliyetli seçeneğin belirlenmesi

Seçeneklerin toplam maliyetleri durulaştırıldığında 65183 TL olan 4. Seçenek en düşük maliyetlidir. Savuncu 3 yıl kullanıldıktan sonra 4. yıl sabit sözleşmeyle dışarıdan hizmet alınmalıdır.

5.3 Karma Aralık Tip-2 Bulanık Yenileme Analizi

Gerçek hayatta, yenileme analizi verilerindeki belirsizlikler sayısal olarak farklı şekilde ifade edilebilmektedir. Bu belirsizliklerin daha gerçekçi olarak modellenebilmesi için gen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar bir yenileme karar probleminde yer alabilir. Yenileme analizindeki verilerin bazılarının gen, bazılarının ise yamuk aralık tip-2 bulanık sayılarla ifade edildiği durumlar karma aralık tip-2 bulanık yenileme analizi olarak adlandırılmıştır. Bu problemlerin çözümü için gen aralık tip-2 bulanık sayıların, yamuk aralık tip-2 bulanık sayı eşdeğerleri hesaplanarak verilerin hepsi yamuk aralık tip-2 bulanık sayıya dönüştürülür. Karma aralık tip-2 bulanık yenileme analizi problemlerindeki bütün veriler yamuk aralık tip-2 bulanık veriler haline getirildikten sonra probleme yamuk aralık tip-2 bulanık yenileme analizi modeli uygulanır.

5.3.1 gen aralık tip-2 bulanık sayı olan verilerin dönüştürülmesi

$\tilde{A}_i$ gen aralık tip-2 bulanık sayısı ve $\tilde{B}_i$ yamuk aralık tip-2 bulanık sayısı Denklem 5.195 ve Denklem 5.196’te verilmiştir.

$$\tilde{A}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = ((a_{i_l}^U, a_{i_m}^U, a_{i_r}^U; H(\tilde{A}_i^U)), (a_{i_l}^L, a_{i_m}^L, a_{i_r}^L; H(\tilde{A}_i^L))) \quad (5.195)$$

$$\begin{aligned}\tilde{\tilde{B}}_i = (\tilde{B}_i^U, \tilde{B}_i^L) = & \left((b_{i_1}^U, b_{i_2}^U, b_{i_3}^U, b_{i_4}^U; H_1(\tilde{B}_i^U), H_2(\tilde{B}_i^U)), \right. \\ & \left. (b_{i_1}^L, b_{i_2}^L, b_{i_3}^L, b_{i_4}^L; H_1(\tilde{B}_i^L), H_2(\tilde{B}_i^L)) \right)\end{aligned}\quad (5.196)$$

$\tilde{\tilde{A}}_i$ üçgen aralık tip-2 bulanık sayısının, yamuk aralık tip-2 bulanık eşdeğeri olan $\tilde{\tilde{B}}_i$ Denklem 5.197 kullanılarak elde edilir.

$$\begin{aligned}\tilde{\tilde{B}}_i = (\tilde{B}_i^U, \tilde{B}_i^L) = & \left((a_{i_l}^U, a_{i_m}^U, a_{i_r}^U; H(\tilde{A}_i^U), H(\tilde{A}_i^U)), \right. \\ & \left. (a_{i_l}^L, a_{i_m}^L, a_{i_r}^L; H(\tilde{A}_i^L), H(\tilde{A}_i^L)) \right)\end{aligned}\quad (5.197)$$

5.3.2 Karma aralık tip-2 bulanık yenileme analizi uygulaması

Durağan piyasa koşullarında ve sonsuz planlama ufku içerisindeki bir yenileme analizinde üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar karma olarak kullanılarak faiz oranlarının, savunucunun ve adayın piyasa değerlerinin ve yıllık işletme maliyetlerinin beklenen değerleri Çizelge 5.15-5.19'da verilmiştir. Bu veriler bir yıl sonra güncellendiğinde faiz oranları, adayın piyasa değerleri ile yıllık işletme maliyetlerinin değişmediği gözlemlenirken, savunucu için beklenen maliyetlerin artarak piyasa değerinin azalacağı belirlenerek Çizelge 5.20 ve Çizelge 5.21'de verilmiştir.

a) Bu yıl için savunucunun ve adayın ekonomik kullanım ömrünü belirleyiniz ve yenileme kararını alınız.

b) Bir yıl sonra, adayın güncellenen piyasa değerleri ve işletme maliyetlerini göz önüne alarak yenileme analizi tekrarlayınız.

Çizelge 5.15 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.

Yıl	Faiz Oranı (%)
1	((8.25, 8.50, 8.75; 1.00), (8.40, 8.50, 8.60; 0.90))
2	((8.15, 8.50, 8.85; 1.00), (8.35, 8.50, 8.65; 0.90))
3	((8.10, 8.35, 8.65, 8.90; 0.95, 1.00), (8.30, 8.40, 8.60, 8.70; 0.85, 0.85))
4	((8.10, 8.30, 8.70, 8.90; 1.00, 0.95), (8.30, 8.40, 8.60, 8.70; 0.85, 0.80))
5	((8.05, 8.25, 8.75, 8.95; 0.95, 1.00), (8.25, 8.35, 8.65, 8.75; 0.80, 0.85))

Çizelge 5.16 : Savunucunun bu yıla ait verilere göre piyasa değeri.

Yıl	Piyasa Değeri (× 1000 TL)
-3	27
-2	26
-1	24
0	((19.0, 20.0, 21.0, 22.0; 1.00, 1.00), (19.5, 20.0, 21.0, 21.5; 0.90, 0.90))
1	((12.5, 14.5, 16.5; 1.00), (13.5, 14.5, 15.6; 0.90))
2	((9.0, 9.8, 11.6, 13.1; 0.95, 1.00), (9.8, 10.4, 11.1, 12.4; 0.85, 0.85))
3	((5.5, 6.6, 8.9, 10.3; 1.00, 0.90), (6.4, 7.1, 8.5, 9.4; 0.85, 0.80))

Çizelge 5.17 : Savunucunun bu yıla ait verilere göre yıllık işletme maliyeti.

Yıl	Yıllık İşletme Maliyeti (× 1000 TL)
-1	-6
0	-6.5
1	((-9.5, -8.0, -7.0; 1.00), (-9.0, -8.0, -7.5; 0.90))
2	((-12.5, -11.0, -9.5, -7.8; 1.00, 0.90), (-11.8, -10.7, -9.7, -8.5; 0.85, 0.80))
3	((-16.0, -14.8, -13.0, -11.1; 0.90, 1.00), (-15.2, -14.6, -13.1, -12.0; 0.80, 0.85))

Çizelge 5.18 : Adayın piyasa değeri.

Yıl	Piyasa Değeri (× 1000 TL)
0	((41.0, 43.0, 45.0; 1.00), (42.0, 43.0, 44.0; 0.90))
1	((31.5, 33.0, 34.0; 1.00), (32.0, 33.0, 33.5; 0.90))
2	((27.0, 29.0, 31.0; 1.00), (27.8, 29.0, 30.2; 0.90))
3	((22.3, 25.0, 27.9; 1.00), (23.2, 25.0, 27.0; 0.85))
4	((18.2, 19.0, 22.3, 23.8; 0.95, 1.00), (19.1, 19.8, 21.7, 22.9; 0.85, 0.85))
5	((14.3, 15.5, 19.3, 20.2; 1.00, 0.95), (15.3, 16.0, 18.6, 19.2; 0.85, 0.80))

Çizelge 5.19 : Adayın yıllık işletme maliyeti.

Yıl	Yıllık İşletme Maliyeti (× 1000 TL)
1	((-6.5, -5.5, -4.0; 1.00), (-6.0, -5.5, -4.5; 0.90))
2	((-10.2, -8.5, -6.7; 1.00), (-9.5, -8.5, -7.5; 0.90))
3	((-12.2, -10.7, -9.1, -8.3; 0.95, 1.00), (-11.4, -10.4, -9.5, -9.1; 0.85, 0.85))
4	((-15.9, -14.6, -12.5, -11.1; 1.00, 0.90), (-15.0, -14.1, -12.9, -12.0; 0.85, 0.85))
5	((-17.5, -16.3, -13.9, -12.3; 0.90, 1.00), (-16.6, -15.8, -14.3, -13.4; 0.80, 0.85))

Çizelge 5.20 : Savunucunun gelecek yıla ait verilere göre piyasa değeri.

Yıl	Piyasa Değeri ($\times 1000$ TL)
1	((12.5, 14.5, 16.5; 1.00), (13.5, 14.5, 15.6; 0.90))
2	((7.7, 9.0, 11.0; 1.00), (8.4, 9.0, 10.3; 0.90))
3	((3.5, 4.1, 5.9, 7.0; 1.00, 0.95), (4.0, 4.6, 5.4, 6.2; 0.85, 0.85))

Çizelge 5.21 : Savunucunun gelecek yıla ait verilere göre yıllık işletme maliyeti.

Yıl	Yıllık İşletme Maliyeti ($\times 1000$ TL)
2	((-14.2, -12.5, -11.0; 1.00), (-13.5, -12.5, -11.7; 0.90))
3	((-18.2, -16.7, -15.1, -14.3; 1.00, 0.95), (-17.4, -16.4, -15.7, -15.1; 0.85, 0.85))

Bu yıla ait verilere göre üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık faiz oranı, savunucunun ve adayın ilk yatırım maliyeti, hurda değerleri ve işletme maliyetleri yamuk aralık tip-2 bulanık verilere dönüştürüldükten sonra bu veriler aşağıda matris formunda yazılmıştır.

Faiz oranı

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}}^U & \tilde{\mathbf{I}}^L \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^U = \begin{bmatrix} 0.0825 & 0.0850 & 0.0850 & 0.0875 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0815 & 0.0850 & 0.0850 & 0.0885 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0810 & 0.0835 & 0.0865 & 0.0890 & 0.95 & 1.00 \\ 0.0810 & 0.0830 & 0.0870 & 0.0890 & 1.00 & 0.95 \\ 0.0805 & 0.0825 & 0.0875 & 0.0895 & 0.95 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^L = \begin{bmatrix} 0.0840 & 0.0850 & 0.0850 & 0.0860 & 0.90 & 0.90 \\ 0.0835 & 0.0850 & 0.0850 & 0.0865 & 0.90 & 0.90 \\ 0.0830 & 0.0840 & 0.0860 & 0.0870 & 0.85 & 0.85 \\ 0.0830 & 0.0840 & 0.0860 & 0.0870 & 0.85 & 0.80 \\ 0.0825 & 0.0835 & 0.0865 & 0.0875 & 0.80 & 0.85 \end{bmatrix}$$

Savunucunun ilk yatırım maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_{D,0} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{FC}}_{D,0}^U & \widetilde{\mathbf{FC}}_{D,0}^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_{D,0}^U = [-22000 \quad -21000 \quad -20000 \quad -19000 \quad 1.00 \quad 1.00]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_{D,0}^L = [-21500 \quad -21000 \quad -20000 \quad -19500 \quad 0.90 \quad 0.90]$$

Savunucunun hurda değeri

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_{D,0} = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{SV}}_{D,0}^U & \widetilde{\mathbf{SV}}_{D,0}^L \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_{D,0}^U = \begin{bmatrix} 12500 & 14500 & 14500 & 16500 & 1.00 & 1.00 \\ 9000 & 9800 & 11600 & 13100 & 0.95 & 1.00 \\ 5500 & 6600 & 8900 & 10300 & 1.00 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_{D,0}^L = \begin{bmatrix} 13500 & 14500 & 14500 & 15600 & 0.90 & 0.90 \\ 9800 & 10400 & 11100 & 12400 & 0.85 & 0.85 \\ 6400 & 7100 & 8500 & 9400 & 0.85 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun yıllık işletme maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,0} = [\widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,0}^U \quad \widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,0}^L]$$

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,0}^U = \begin{bmatrix} -9500 & -8000 & -8000 & -7000 & 1.00 & 1.00 \\ -12500 & -11000 & -9500 & -7800 & 1.00 & 0.90 \\ -16000 & -14800 & -13000 & -11100 & 0.90 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,0}^L = \begin{bmatrix} -9000 & -8000 & -8000 & -7500 & 0.90 & 0.90 \\ -11800 & -10700 & -9700 & -8500 & 0.85 & 0.80 \\ -15200 & -14600 & -13100 & -12000 & 0.80 & 0.85 \end{bmatrix}$$

Adayın ilk yatırım maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_C = [\widetilde{\mathbf{FC}}_C^U \quad \widetilde{\mathbf{FC}}_C^L]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_C^U = [-45000 \quad -43000 \quad -43000 \quad -41000 \quad 1.00 \quad 1.00]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_C^L = [-44000 \quad -43000 \quad -43000 \quad -42000 \quad 0.90 \quad 0.90]$$

Adayın hurda değeri

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_C = [\widetilde{\mathbf{SV}}_C^U \quad \widetilde{\mathbf{SV}}_C^L]$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_C^U = \begin{bmatrix} 31500 & 33000 & 33000 & 34000 & 1.00 & 1.00 \\ 27000 & 29000 & 29000 & 31000 & 1.00 & 1.00 \\ 22300 & 25000 & 25000 & 27900 & 1.00 & 1.00 \\ 18200 & 19000 & 22300 & 23800 & 0.95 & 1.00 \\ 14300 & 15500 & 19300 & 20200 & 1.00 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_C^L = \begin{bmatrix} 32000 & 33000 & 33000 & 33500 & 0.90 & 0.90 \\ 27800 & 29000 & 29000 & 30200 & 0.90 & 0.90 \\ 23200 & 25000 & 25000 & 27000 & 0.85 & 0.85 \\ 19100 & 19800 & 21700 & 22900 & 0.85 & 0.85 \\ 15300 & 16000 & 18600 & 19200 & 0.85 & 0.80 \end{bmatrix}$$

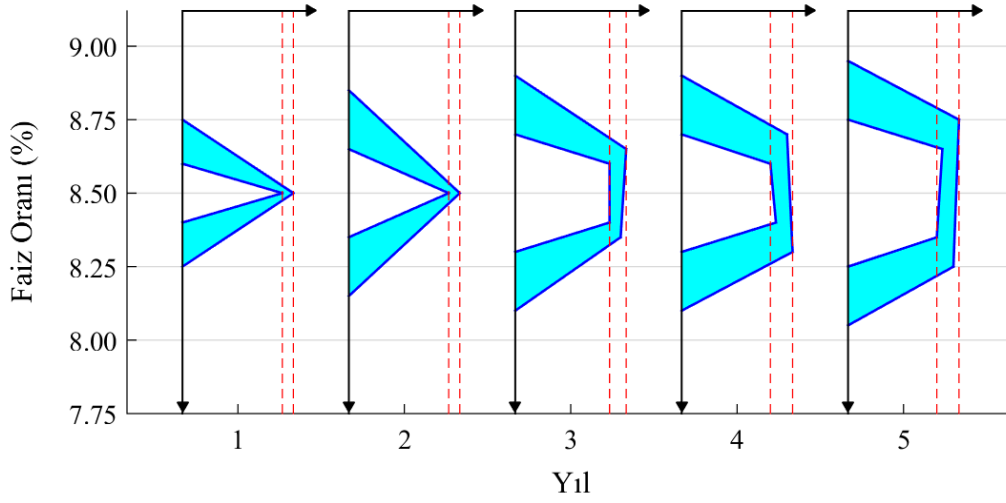
Adayın yıllık işletme maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}_C = [\widetilde{\mathbf{AOC}}_C^U \quad \widetilde{\mathbf{AOC}}_C^L]$$

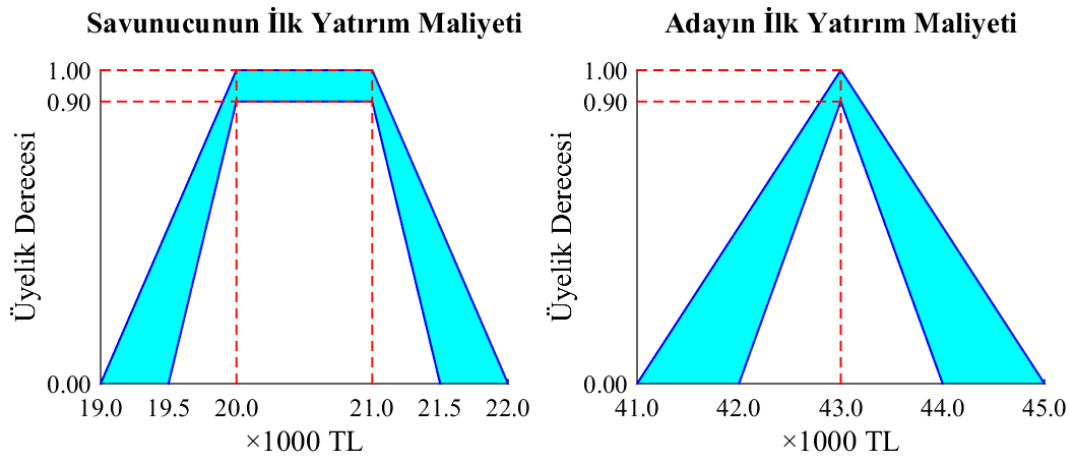
$$\widetilde{AOC}_C^U = \begin{bmatrix} -6500 & -5500 & -5500 & -4000 & 1.00 & 1.00 \\ -10200 & -8500 & -8500 & -6700 & 1.00 & 1.00 \\ -12200 & -10700 & -9100 & -8300 & 0.95 & 1.00 \\ -15900 & -14600 & -12500 & -11100 & 1.00 & 0.90 \\ -17500 & -16300 & -13900 & -12300 & 0.90 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{AOC}_C^L = \begin{bmatrix} -6000 & -5500 & -5500 & -4500 & 0.90 & 0.90 \\ -9500 & -8500 & -8500 & -7500 & 0.90 & 0.90 \\ -11400 & -10400 & -9500 & -9100 & 0.85 & 0.85 \\ -15000 & -14100 & -12900 & -12000 & 0.85 & 0.85 \\ -16600 & -15800 & -14300 & -13400 & 0.80 & 0.85 \end{bmatrix}$$

Yıllara göre faiz oranı Şekil 5.26’da, savunucunun ve adayın ilk yatırım maliyeti Şekil 5.27’de gösterilmiştir.

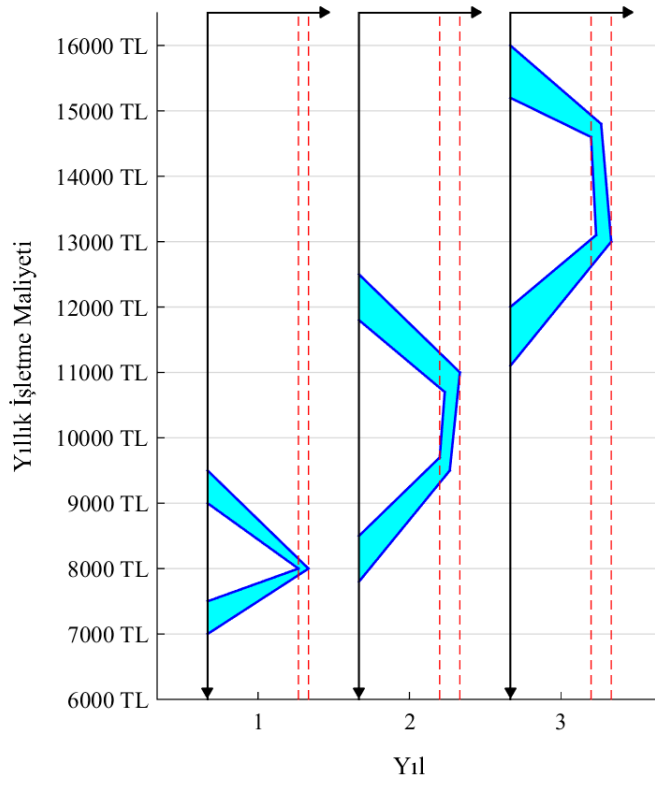


Şekil 5.26 : Durağan piyasa koşulları için faiz oranı.

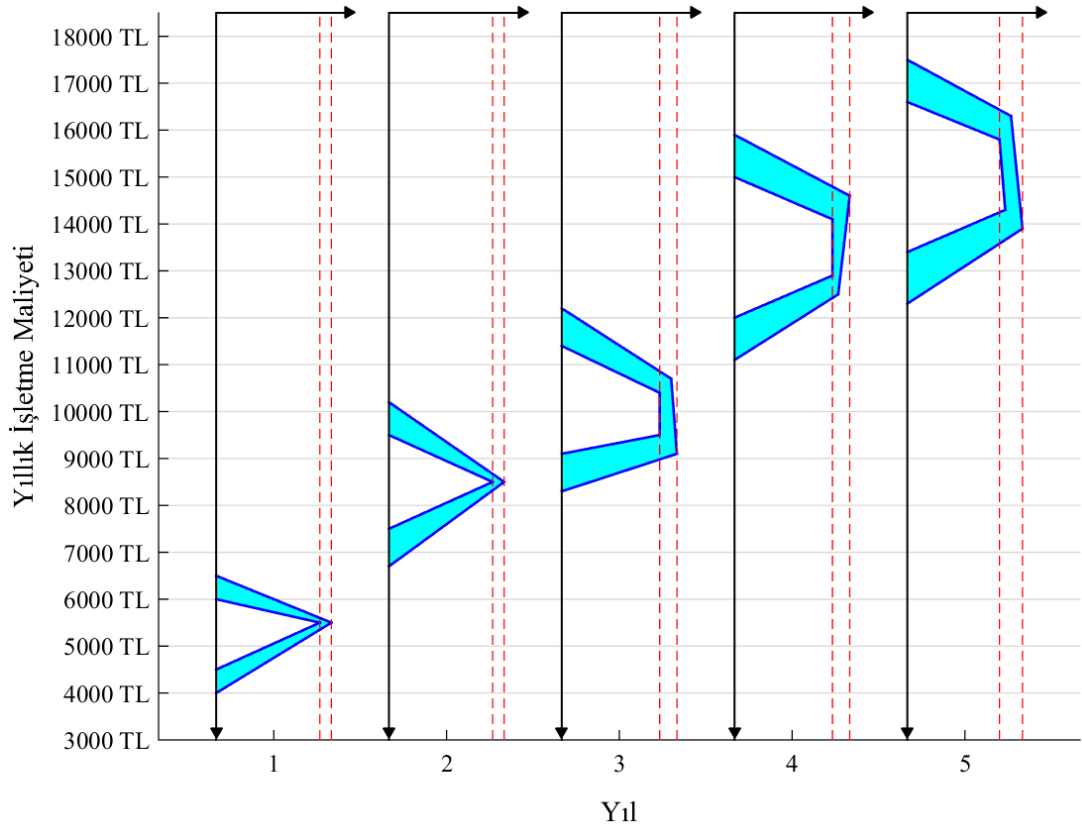


Şekil 5.27 : Savunucunun ve adayın ilk yatırım maliyetleri.

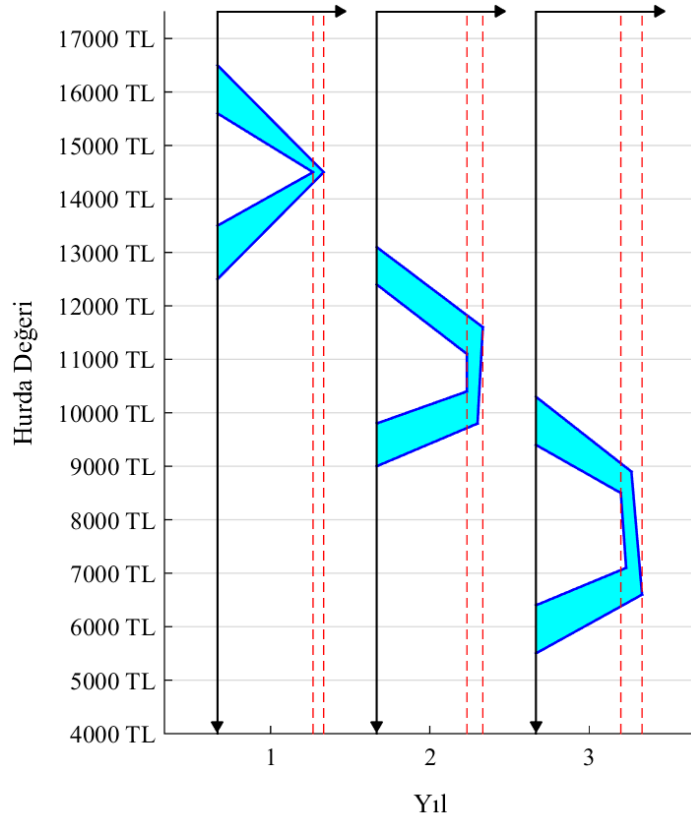
Bu yıl için savunucunun ve adayın yıllara göre işletme maliyeti Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’da, hurda değeri Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de gösterilmiştir.



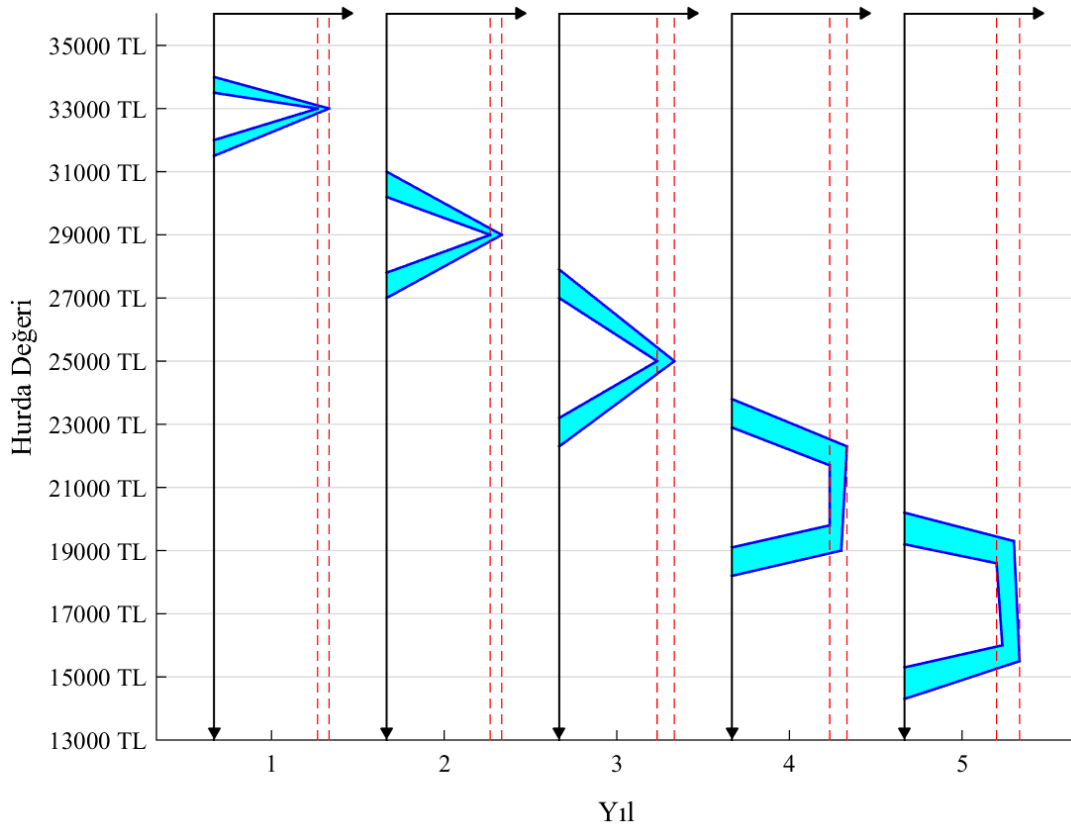
Şekil 5.28 : Savunucunun yıllık işletme maliyeti.



Şekil 5.29 : Adayın yıllık işletme maliyeti.



Şekil 5.30 : Savunucunun hurda değeri.



Şekil 5.31 : Adayın hurda değeri.

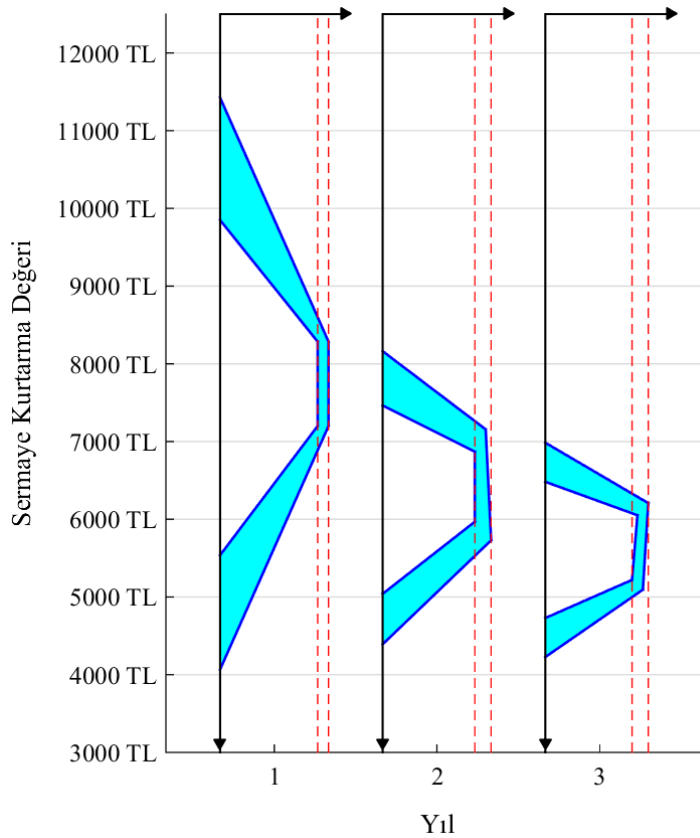
Bu yıla ait verilere göre savunucunun sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_{D,0}$ matrisi, CR fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_{D,0} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_{D,0}^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_{D,0}^L \end{bmatrix} = \text{CR} \left(\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}_{D,0}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_{D,0}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{I}}} \right)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_{D,0}^U = \begin{bmatrix} -11372 & -8285 & -7200 & -4086 & 1.00 & 1.00 \\ -8096 & -7157 & -5729 & -4428 & 0.95 & 1.00 \\ -6902 & -6196 & -5103 & -4278 & 0.95 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_{D,0}^L = \begin{bmatrix} -9831 & -8285 & -7200 & -5548 & 0.90 & 0.90 \\ -7437 & -6869 & -5969 & -5058 & 0.85 & 0.85 \\ -6447 & -6044 & -5226 & -4754 & 0.85 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun bu yıla ait veriler kullanılarak hesaplanan yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değeri Şekil 5.32’de gösterilmiştir.



Şekil 5.32 : Savunucunun sermaye kurtarma değeri.

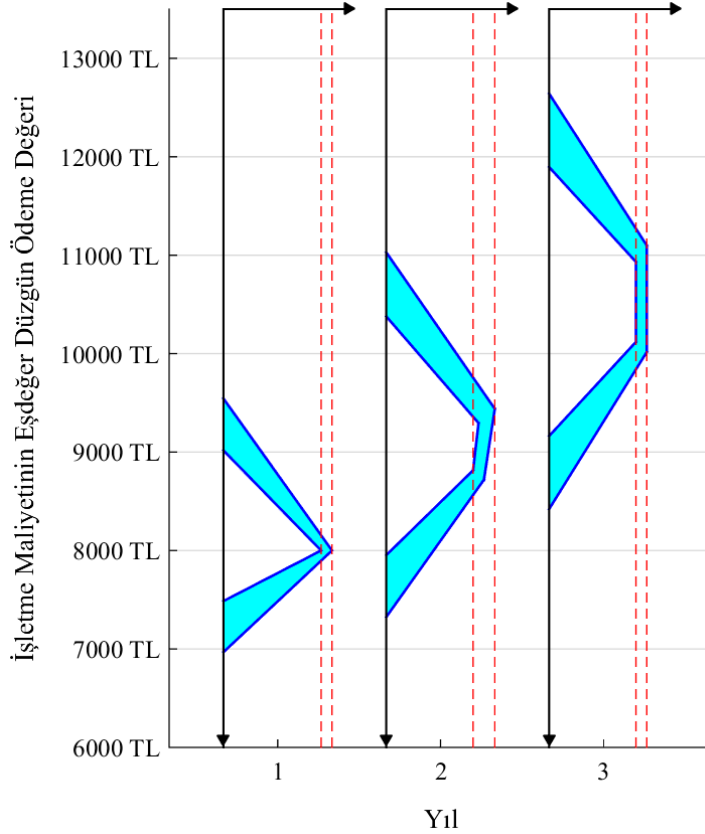
Bu yıla ait verilere göre savunucunun işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{EAO}}}_{D,0}$ matrisi, EAO fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{EAO}}}_{D,0} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{EAO}}}_{D,0}^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{EAO}}}_{D,0}^L \end{bmatrix} = \text{EAO} \left(\widetilde{\widetilde{\mathbf{AOC}}}_{D,0}, \widetilde{\widetilde{\mathbf{I}}} \right)$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}_{D,0}^U = \begin{bmatrix} -9500 & -8000 & -8000 & -7000 & 1.00 & 1.00 \\ -10939 & -9439 & -8719 & -7385 & 1.00 & 0.90 \\ -12492 & -11079 & -10035 & -8522 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}_{D,0}^L = \begin{bmatrix} -9000 & -8000 & -8000 & -7500 & 0.90 & 0.90 \\ -10343 & -9295 & -8815 & -7980 & 0.85 & 0.80 \\ -11831 & -10919 & -10131 & -9213 & 0.80 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun bu yıla ait veriler kullanılarak yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri Şekil 5.33’de gösterilmiştir.



Şekil 5.33 : Savunucunun işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.

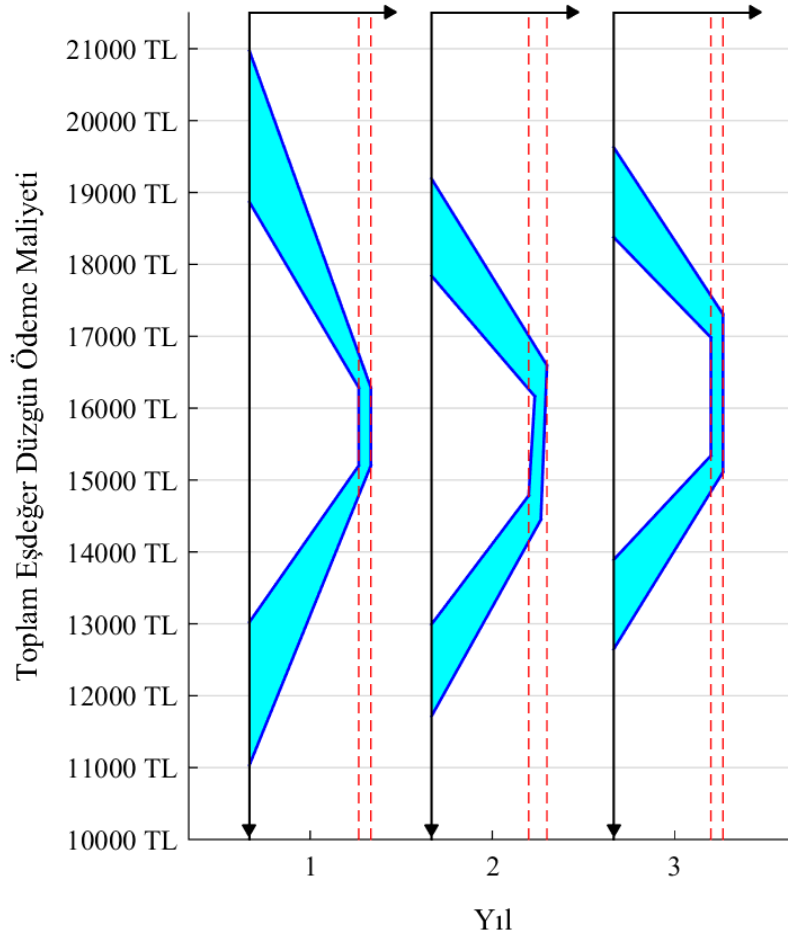
Bu yıla ait verilere göre savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\mathbf{EUAC}}_{D,0}$ matrisi, EUAC fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}_{D,0} = [\widetilde{\mathbf{EUAC}}_{D,0}^U \quad \widetilde{\mathbf{EUAC}}_{D,0}^L] = \text{EUAC}(\widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,0}, \widetilde{\mathbf{SV}}_{D,0}, \widetilde{\mathbf{FC}}_{D,0}, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}_{D,0}^U = \begin{bmatrix} -20872 & -16285 & -15200 & -11086 & 1.00 & 1.00 \\ -19034 & -16596 & -14448 & -11813 & 0.95 & 0.90 \\ -19394 & -17275 & -15138 & -12800 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{EUAC}}_{D,0}^L = \begin{bmatrix} -18831 & -16285 & -15200 & -13048 & 0.90 & 0.90 \\ -17780 & -16164 & -14784 & -13038 & 0.85 & 0.80 \\ -18278 & -16963 & -15357 & -13967 & 0.80 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Savunucunun bu yıla ait veriler kullanılarak yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti Şekil 5.34'te gösterilmiştir.



Şekil 5.34 : Savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.

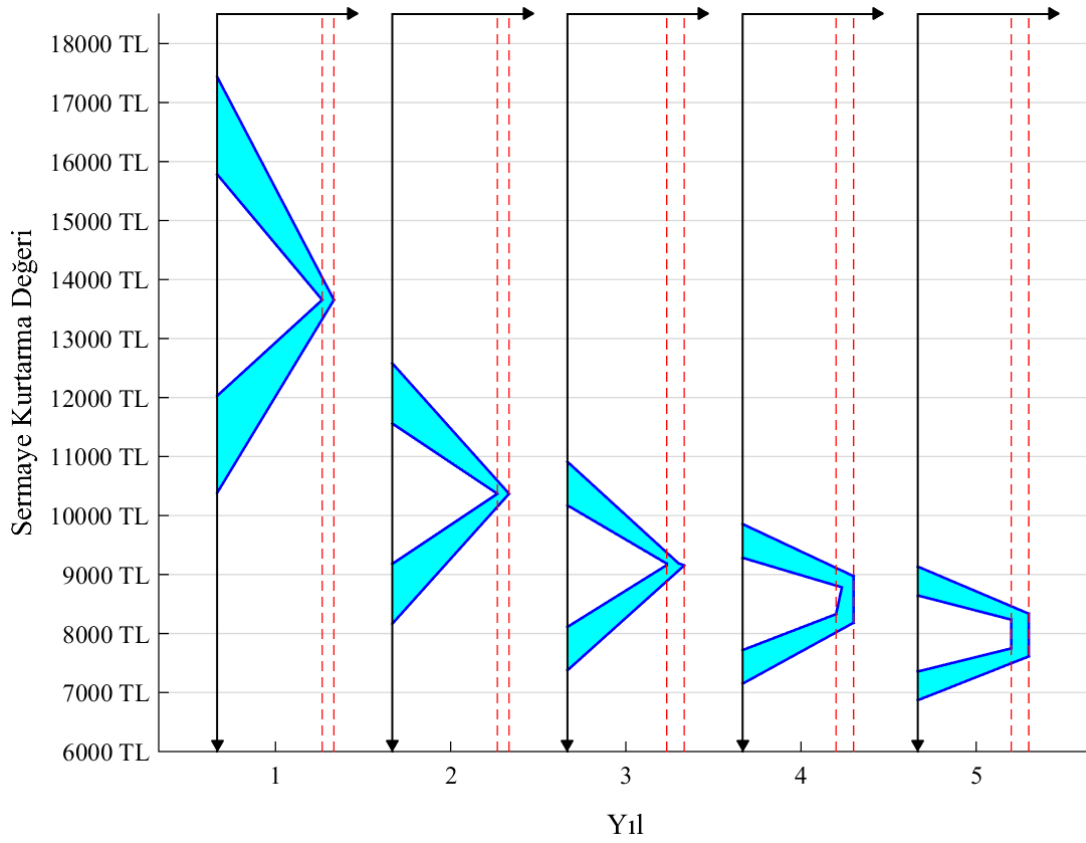
Adayın sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C$ matrisi, CR fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C^U & \widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C^L \end{bmatrix} = \text{CR} \left(\widetilde{\widetilde{\mathbf{SV}}}_C, \widetilde{\widetilde{\mathbf{FC}}}_C, \widetilde{\mathbf{I}} \right)$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C^U = \begin{bmatrix} -17357 & -13655 & -13655 & -10430 & 1.00 & 1.00 \\ -12478 & -10370 & -10370 & -8232 & 1.00 & 1.00 \\ -10781 & -9175 & -9170 & -7466 & 0.95 & 1.00 \\ -9704 & -8938 & -8215 & -7262 & 0.95 & 0.95 \\ -8959 & -8284 & -7661 & -7004 & 0.95 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\mathbf{CR}}}_C^L = \begin{bmatrix} -15755 & -13655 & -13655 & -12050 & 0.90 & 0.90 \\ -11521 & -10370 & -10370 & -9212 & 0.90 & 0.90 \\ -10118 & -9174 & -9171 & -8156 & 0.85 & 0.85 \\ -9217 & -8764 & -8347 & -7775 & 0.85 & 0.80 \\ -8564 & -8205 & -7777 & -7426 & 0.80 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Adayın yıllık kullanıma göre sermaye kurtarma değeri Şekil 5.35'te gösterilmiştir.



Şekil 5.35 : Adayın sermaye kurtarma değeri.

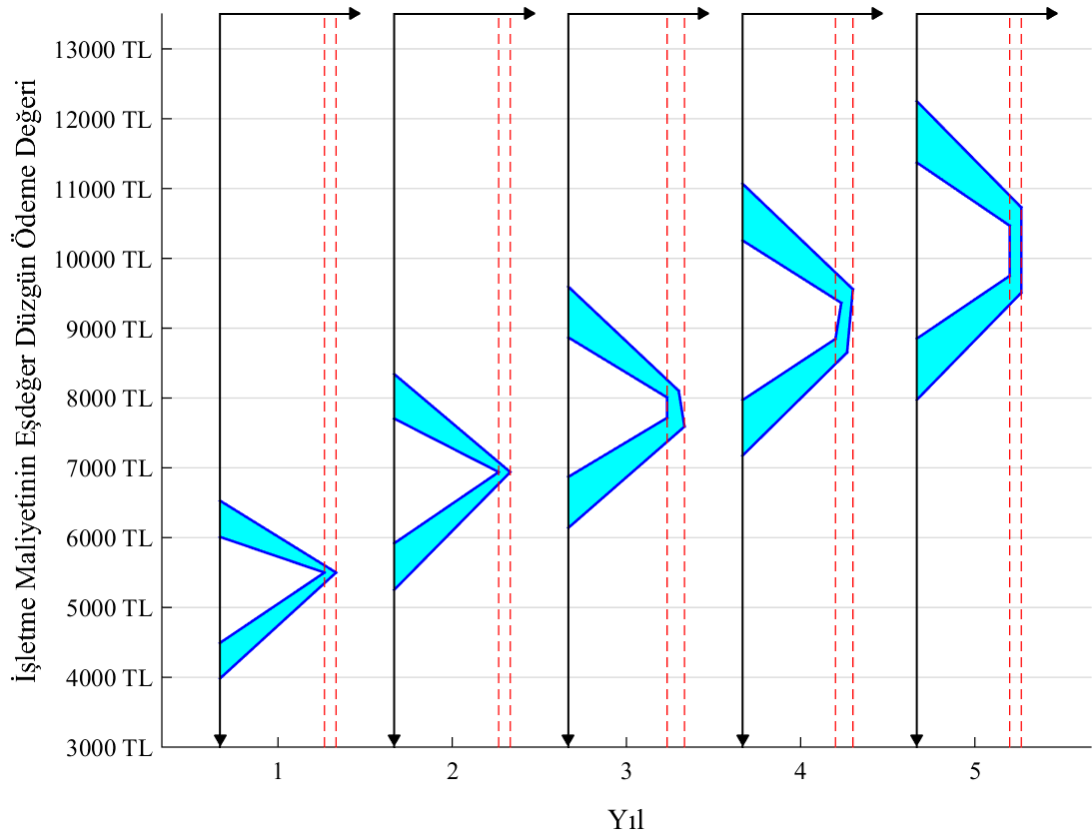
Adayın işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\mathbf{EAOC}}_C$ matrisi, EAO fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}_C = \begin{bmatrix} \widetilde{\mathbf{EAOC}}_C^U & \widetilde{\mathbf{EAOC}}_C^L \end{bmatrix} = \mathbf{EAO}(\widetilde{\mathbf{AOC}}_C, \widetilde{\mathbf{I}})$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}_C^U = \begin{bmatrix} -6500 & -5500 & -5500 & -4000 & 1.00 & 1.00 \\ -8276 & -6939 & -6939 & -5294 & 1.00 & 1.00 \\ -9480 & -8089 & -7604 & -6214 & 0.95 & 1.00 \\ -10899 & -9521 & -8685 & -7286 & 0.95 & 0.90 \\ -12017 & -10662 & -9568 & -8129 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{EAOC}}_C^L = \begin{bmatrix} -6000 & -5500 & -5500 & -4500 & 0.90 & 0.90 \\ -7679 & -6939 & -6939 & -5939 & 0.90 & 0.90 \\ -8819 & -7998 & -7726 & -6908 & 0.85 & 0.85 \\ -10183 & -9341 & -8867 & -8028 & 0.85 & 0.80 \\ -11266 & -10429 & -9786 & -8934 & 0.80 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Adayın yıllık kullanıma göre işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri Şekil 5.36'da gösterilmiştir.



Şekil 5.36 : Adayın işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.

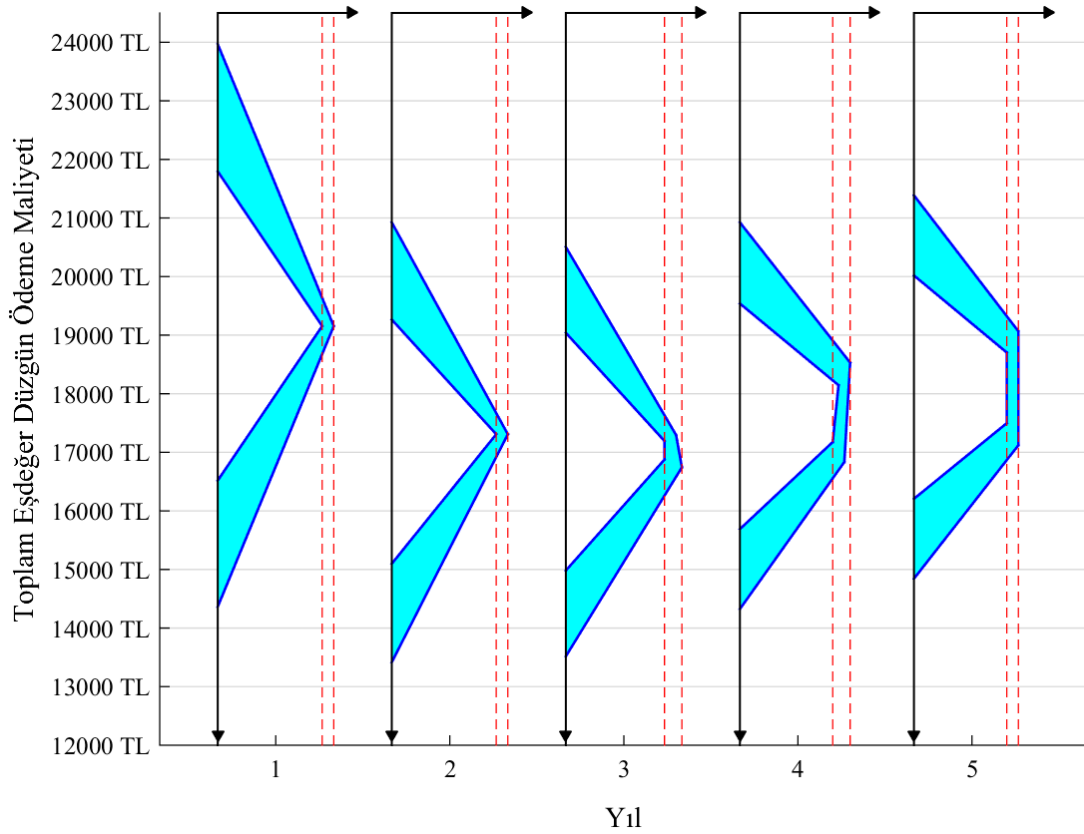
Adayın toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\text{EUAC}}_C$ matrisi, EUAC fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\text{EUAC}}_C = \begin{bmatrix} \widetilde{\text{EUAC}}_C^U & \widetilde{\text{EUAC}}_C^L \end{bmatrix} = \text{EUAC}(\widetilde{\text{AOC}}_C, \widetilde{\text{SV}}_C, \widetilde{\text{FC}}_C, \widetilde{\text{I}})$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_C^U = \begin{bmatrix} -23857 & -19155 & -19155 & -14430 & 1.00 & 1.00 \\ -20754 & -17308 & -17308 & -13526 & 1.00 & 1.00 \\ -20261 & -17264 & -16775 & -13680 & 0.95 & 1.00 \\ -20604 & -18459 & -16900 & -14548 & 0.95 & 0.90 \\ -20977 & -18946 & -17229 & -15133 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_C^L = \begin{bmatrix} -21755 & -19155 & -19155 & -16550 & 0.90 & 0.90 \\ -19200 & -17308 & -17308 & -15150 & 0.90 & 0.90 \\ -18938 & -17172 & -16897 & -15063 & 0.85 & 0.85 \\ -19400 & -18105 & -17214 & -15803 & 0.85 & 0.80 \\ -19831 & -18635 & -17562 & -16359 & 0.80 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Adayın yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti Şekil 5.37’de gösterilmiştir.



Şekil 5.37 : Adayın toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.

Sıralamayla savunucunun ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Savunucunun bu yıla ait veriler göz önünde bulundurularak t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetinin göreceli büyüklüğünü belirten $-\text{Rank}(\widetilde{\text{eüac}}_{t,D,0})$ değeri savunucunun kullanılabileceği $t = 1,2,3$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -\text{Rank}(\widetilde{\text{eüac}}_{1,D,0}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{eüac}}_{2,D,0}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{eüac}}_{3,D,0}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 98223 \\ \mathbf{95418} \\ 99332 \end{bmatrix}$$

Savunucunun bu yıla ait verilere göre en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyetinin göreceli büyüklüğü olan 95418, 2. yıldadır. Savunucunun ekonomik kullanım ömrü 2 yıldır ($n_D = 2$).

Sıralamayla adayın ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Adayın t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetinin göreceli büyüklüğünü belirten $-\text{Rank}(\widetilde{\text{eüac}}_{t,C})$ değeri adayın kullanılabileceği $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{1,C}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{2,C}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{3,C}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{4,C}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{5,C}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 118035 \\ 105952 \\ \mathbf{104309} \\ 107939 \\ 110542 \end{bmatrix}$$

Adayın en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyetinin göreceli büyüklüğü olan 104309, 3. yıldadır. Adayın ekonomik kullanım ömrü 3 yıldır ($n_C = 3$).

Durulaştırmayla savunucunun ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Savunucunun bu yıla ait veriler göz önünde bulundurularak t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $-D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{t,D,0})$ değeri savunucunun kullanılabileceği $t = 1,2,3$ yılları için aşağıdaki hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{1,D,0}) \\ -D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{2,D,0}) \\ -D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{3,D,0}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15457 \\ \mathbf{14478} \\ 14933 \end{bmatrix}$$

Savunucunun en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyeti olan 14478 TL, 2. yıldadır. Savunucunun ekonomik kullanım ömrü 2 yıldır ($n_D = 2$).

Durulaştırmayla adayın ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Adanın t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $-D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{t,C})$ değeri savunucunun kullanılabileceği $t = 1,2,3,4,5$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{1,C}) \\ -D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{2,C}) \\ -D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{3,C}) \\ -D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{4,C}) \\ -D\text{TriT}(\widetilde{\text{euac}}_{5,C}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 18673 \\ 16800 \\ \mathbf{16259} \\ 16517 \\ 16727 \end{bmatrix}$$

Adayın en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyeti olan 16259 TL, 3. yıldadır. Adayın ekonomik kullanım ömrü 3 yıldır ($n_C = 3$).

Sıralamayla yenileme kararının alınması

Aşağıdaki bağıntıya göre savunucu tutularak 2 yıl daha kullanılmalıdır.

$$-\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{2,D,0}) = 95418 < -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{3,C}) = 104309$$

Durulaştırmayla yenileme kararının alınması

Aşağıdaki bağıntıya göre savunucu tutularak 2 yıl kullanılmalıdır. Ancak mevcut durum değişebileceğinden dolayı gelecek sene güncel piyasa değerleri ve işletme maliyetleri göz önüne alınarak yenileme analizi tekrarlanmalıdır.

$$-D\text{TriT}(\widetilde{\text{eua}}_{2,D,0}) = 14478 \text{ TL} < -D\text{TriT}(\widetilde{\text{eua}}_{3,C}) = 16259 \text{ TL}$$

Gelecek yıla ait verilere göre üçgen ve yamuk aralık tip-2 faiz oranı, savunucunun ilk yatırım maliyeti, hurda değerleri ve işletme maliyetleri verileri aşağıda matris formunda yazılmıştır.

Faiz oranı

$$\tilde{\mathbf{I}} = [\tilde{\mathbf{I}}^U \quad \tilde{\mathbf{I}}^L]$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^U = \begin{bmatrix} 0.0815 & 0.0850 & 0.0850 & 0.0885 & 1.00 & 1.00 \\ 0.0810 & 0.0835 & 0.0865 & 0.0890 & 0.95 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{I}}^L = \begin{bmatrix} 0.0835 & 0.0850 & 0.0850 & 0.0865 & 0.90 & 0.90 \\ 0.0830 & 0.0840 & 0.0860 & 0.0870 & 0.85 & 0.85 \end{bmatrix}$$

Savunucunun ilk yatırım maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_{D,1} = [\widetilde{\mathbf{FC}}_{D,1}^U \quad \widetilde{\mathbf{FC}}_{D,1}^L]$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_{D,1}^U = \begin{bmatrix} -16500 & -14500 & -14500 & -12500 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{FC}}_{D,1}^L = \begin{bmatrix} -15600 & -14500 & -14500 & -13500 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

Savunucunun hurda değeri

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_{D,1} = [\widetilde{\mathbf{SV}}_{D,1}^U \quad \widetilde{\mathbf{SV}}_{D,1}^L]$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_{D,1}^U = \begin{bmatrix} 7700 & 9000 & 9000 & 11000 & 1.00 & 1.00 \\ 3500 & 4100 & 5900 & 7000 & 1.00 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{SV}}_{D,1}^L = \begin{bmatrix} 8400 & 9000 & 9000 & 10300 & 0.90 & 0.90 \\ 4000 & 4600 & 5400 & 6200 & 0.85 & 0.85 \end{bmatrix}$$

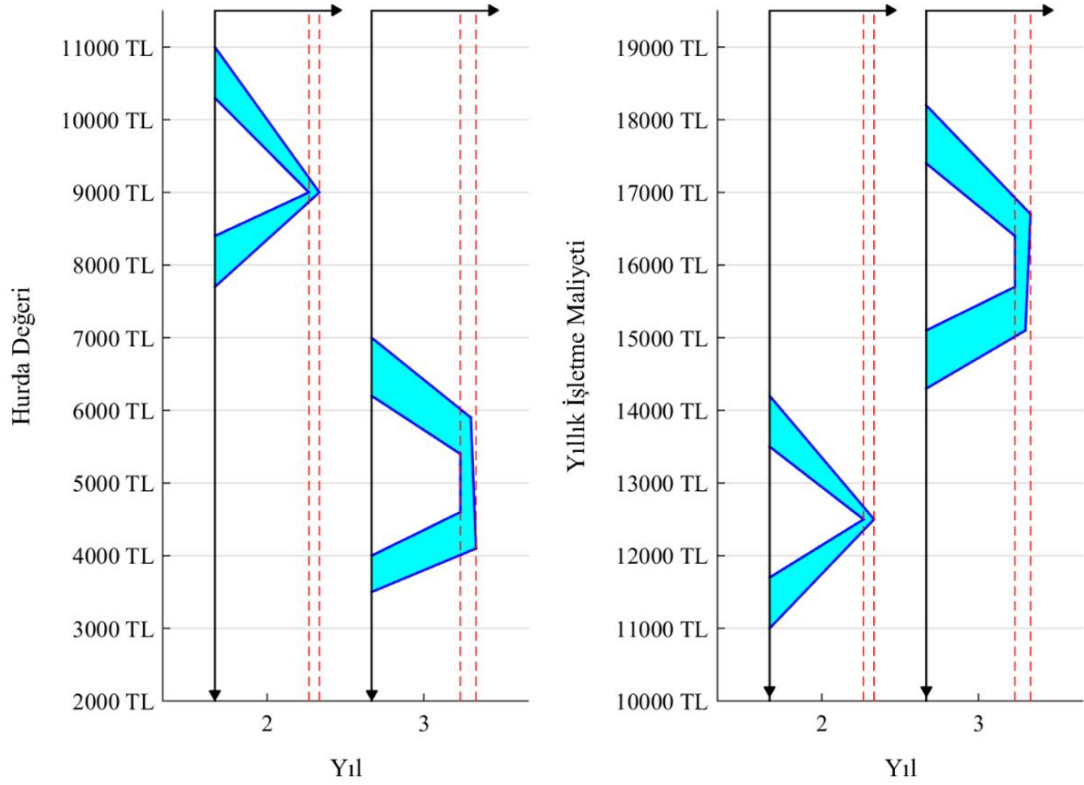
Savunucunun yıllık işletme maliyeti

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,1} = [\widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,1}^U \quad \widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,1}^L]$$

$$\widetilde{\mathbf{AOC}}_{D,1}^U = \begin{bmatrix} -14200 & -12500 & -12500 & -11000 & 1.00 & 1.00 \\ -18200 & -16700 & -15100 & -14300 & 1.00 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{AOC}}}_{D,1}^L = \begin{bmatrix} -13500 & -12500 & -12500 & -11700 & 0.90 & 0.90 \\ -17400 & -16400 & -15700 & -15100 & 0.85 & 0.85 \end{bmatrix}$$

Gelecek yıla ait verilere göre savunucunun yıllık hurda değeri ve işletme maliyeti Şekil 5.38’de gösterilmiştir.



Şekil 5.38 : Savunucunun hurda değeri ve yıllık işletme maliyeti.

Gelecek yıla ait verilere göre savunucunun sermaye kurtarma değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\text{CR}}}_{D,1}$ matrisi, CR fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\text{CR}}}_{D,1} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\text{CR}}}_{D,1}^U & \widetilde{\widetilde{\text{CR}}}_{D,1}^L \end{bmatrix} = \text{CR} \left(\widetilde{\widetilde{\text{SV}}}_{D,1}, \widetilde{\widetilde{\text{FC}}}_{D,1}, \widetilde{\widetilde{\text{I}}} \right)$$

$$\widetilde{\widetilde{\text{CR}}}_{D,1}^U = \begin{bmatrix} -10194 & -6733 & -6733 & -2535 & 1.00 & 1.00 \\ -7610 & -6217 & -5359 & -3696 & 0.95 & 0.95 \end{bmatrix}$$

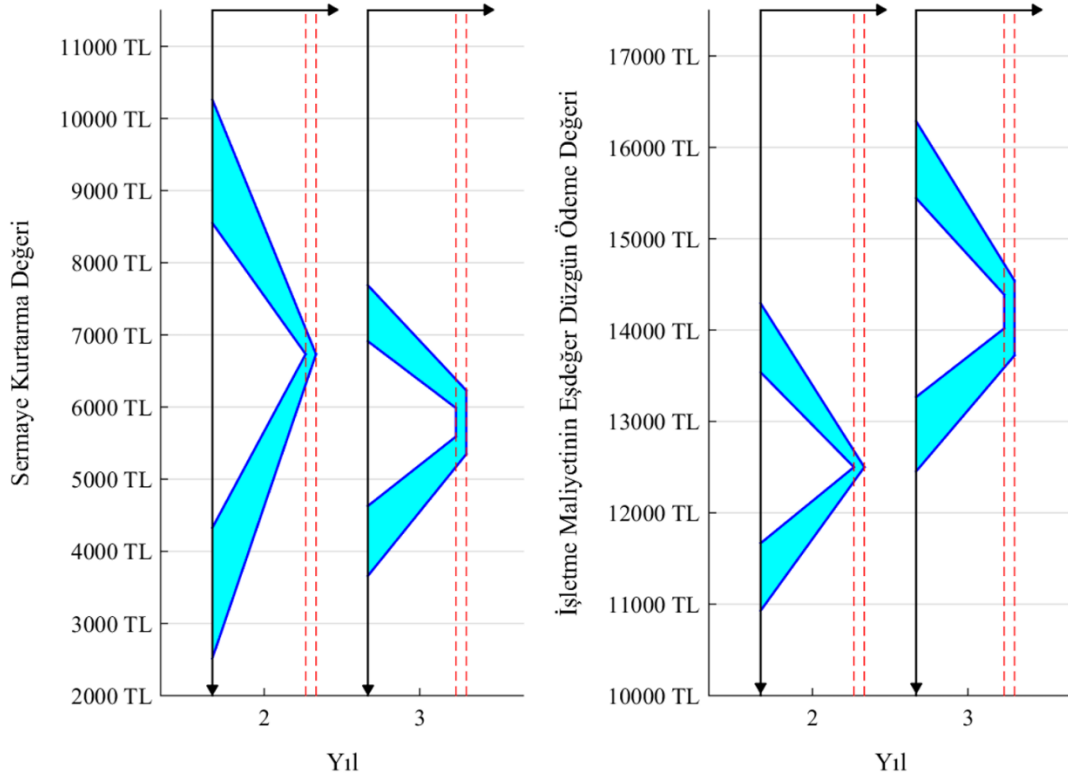
$$\widetilde{\widetilde{\text{CR}}}_{D,1}^L = \begin{bmatrix} -8526 & -6733 & -6733 & -4339 & 0.90 & 0.90 \\ -6879 & -5979 & -5598 & -4650 & 0.85 & 0.85 \end{bmatrix}$$

Gelecek yıla ait verilere göre savunucunun işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değerini belirten $\widetilde{\widetilde{\text{EAO}}}_{D,1}$ matrisi, EAO fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\widetilde{\text{EAO}}}_{D,1} = \begin{bmatrix} \widetilde{\widetilde{\text{EAO}}}_{D,1}^U & \widetilde{\widetilde{\text{EAO}}}_{D,1}^L \end{bmatrix} = \text{EAO} \left(\widetilde{\widetilde{\text{AOC}}}_{D,1}, \widetilde{\widetilde{\text{I}}} \right)$$

$$\widetilde{\text{EAOC}}_{D,1}^U = \begin{bmatrix} -14200 & -12500 & -12500 & -11000 & 1.00 & 1.00 \\ -16120 & -14511 & -13751 & -12581 & 0.95 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\text{EAOC}}_{D,1}^L = \begin{bmatrix} -13500 & -12500 & -12500 & -11700 & 0.90 & 0.90 \\ -15370 & -14368 & -14037 & -13331 & 0.85 & 0.85 \end{bmatrix}$$



Şekil 5.39 : Savunucunun sermaye kurtarma ve işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri.

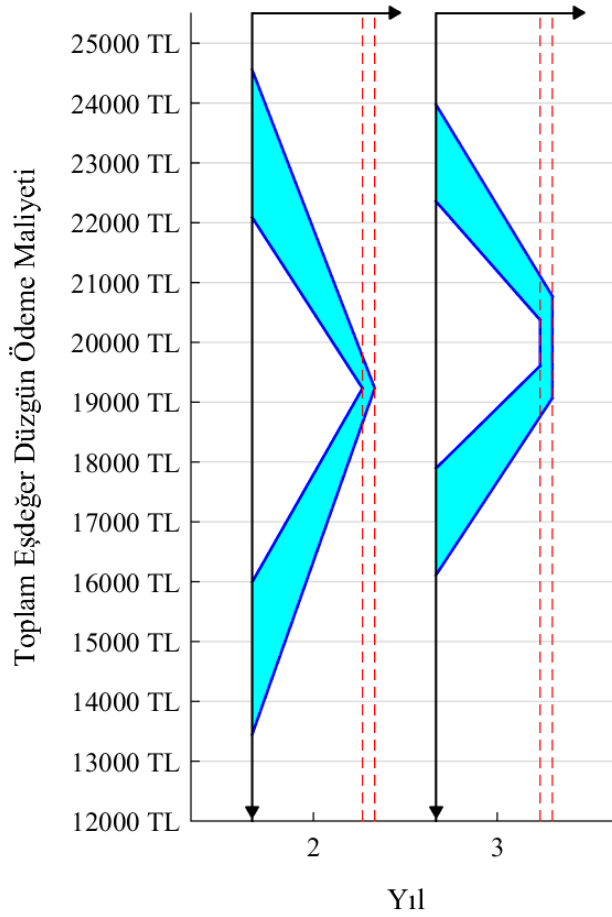
Savunucunun gelecek yıla ait veriler kullanılarak hesaplanan yıllara göre sermaye kurtarma değeri ve işletme maliyetinin eşdeğer düzgün ödeme değeri Şekil 5.39'da gösterilmiştir. Gelecek yıla ait verilere göre savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $\widetilde{\text{EUAC}}_{D,1}$ matrisi, EUAC fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{\text{EUAC}}_{D,1} = [\widetilde{\text{EUAC}}_{D,1}^U \quad \widetilde{\text{EUAC}}_{D,1}^L] = \text{EUAC}(\widetilde{\text{AC}}_{D,1}, \widetilde{\text{SV}}_{D,1}, \widetilde{\text{FC}}_{D,1}, \widetilde{\text{I}})$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_{D,1}^U = \begin{bmatrix} -24394 & -19233 & -19233 & -13535 & 1.00 & 1.00 \\ -23730 & -20727 & -19110 & -16277 & 0.95 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\text{EUAC}}_{D,1}^L = \begin{bmatrix} -22026 & -19233 & -19233 & -16039 & 0.90 & 0.90 \\ -22250 & -20347 & -19636 & -17981 & 0.85 & 0.85 \end{bmatrix}$$

Savunucunun gelecek yıla ait veriler kullanılarak hesaplanan yıllık kullanıma göre toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti Şekil 5.40'ta gösterilmiştir.



Şekil 5.40 : Savunucunun toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyeti.

Sıralamayla savunucunun güncel ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Savunucunun gelecek yıla ait veriler göz önünde bulundurularak t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetinin göreceli büyüklüğünü belirten $-\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{t,D,1})$ değeri savunucunun kullanılabileceği $t = 1,2$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{1,D,1}) \\ -\text{Rank}(\widetilde{\text{euac}}_{2,D,1}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{118519} \\ \mathbf{122457} \end{bmatrix}$$

Savunucunun en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyetinin göreceli büyüklüğü olan 118519, 1. yıldadır. Savunucunun ekonomik kullanım ömrü 1 yıldır ($n_D = 1$).

Durulaştırmayla savunucunun güncel ekonomik kullanım ömrünün belirlenmesi

Savunucunun gelecek yıla ait veriler göz önünde bulundurularak t yıllık kullanımının toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetini belirten $-\text{DTriT}(\widetilde{\text{euac}}_{t,D,1})$ değeri

savunucunun kullanılabileceği $t = 1,2$ yılları için aşağıdaki şekilde hesaplanarak en düşük maliyet belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{e}\mathbf{u}\mathbf{a}\mathbf{c}}_{1,D,1}) \\ -D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{e}\mathbf{u}\mathbf{a}\mathbf{c}}_{2,D,1}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{18635} \\ \mathbf{19009} \end{bmatrix}$$

Savunucunun en düşük toplam eşdeğer düzgün yıllık maliyeti olan 18635 TL, 1. yıldadır. Savunucunun ekonomik kullanım ömrü 1 yıldır ($n_D = 1$).

Adayın piyasa değerleri ile yıllık işletme maliyetlerinin değişmediğinden güncel yenileme kararı alınırken adayın ilk yıl hesaplanan maliyetleri kullanılır.

Gelecek yıl için sıralamayla yenileme kararının alınması

Aşağıdaki bağıntıya göre savunucu aday ile değiştirilmedilir ve aday 3 yıl kullanılmalıdır.

$$- \text{Rank}(\widetilde{\mathbf{e}\mathbf{u}\mathbf{a}\mathbf{c}}_{3,C}) = 104309 < - \text{Rank}(\widetilde{\mathbf{e}\mathbf{u}\mathbf{a}\mathbf{c}}_{1,D,1}) = 118519$$

Gelecek yıl için durulaştırmayla yenileme kararının alınması

Aşağıdaki bağıntıya göre savunucu aday ile değiştirilmedilir ve aday 3 yıl kullanılmalıdır.

$$- D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{e}\mathbf{u}\mathbf{a}\mathbf{c}}_{3,C}) = 16259 \text{ TL} < - D\text{TriT}(\widetilde{\mathbf{e}\mathbf{u}\mathbf{a}\mathbf{c}}_{1,D,1}) = 18635 \text{ TL}$$

Savunucunun güncel işletme maliyetleri ve piyasa değerleri dikkate alınarak tekrarlanan yenileme analizinde, yenileme kararının değiştiği görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, değişen piyasa koşullarında, belirli ve sonsuz planlama ufku içerisinde, kullanım ömürleri birbirinden farklı olan savunucunun ve adayın karşılaştırılarak yenileme kararlarının alındığı aralık tip-2 bulanık üçgen ve yamuk yenileme analizi modelleri geliştirilmiştir.

Klasik faiz oranlarında paranın zaman değerindeki belirsizlikler dikkate alınmadığından faiz oranları her dönem için üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar kullanılarak ifade edilmiştir. Sıradan yenileme analizinden farklı olarak önerilen modellerde üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar kullanılarak ilk yatırım maliyeti, piyasa değerleri ve işletme maliyetlerindeki belirsizlikler dikkate alınmıştır. Aralık tip-2 faiz oranları ve nakit akışları verileri için matris formu kullanılarak yenileme analizi hesaplamalarının düzenli bir şekilde yapılabilmesi ve geliştirilen modelin değişen problem büyüklüklerine adapte olması sağlanmıştır. Geliştirilen aralık tip-2 bulanık yenileme analizi problemlerinde savunucu ve adaydan alınan hizmetin aynı olduğu kabul edilerek toplam maliyetin enazlanması amaçlanmıştır. Üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayıların bir yenileme analizinde birlikte yer aldığı durumlar karma aralık tip-2 bulanık yenileme analizi olarak adlandırılmıştır. Bu tip problemlerdeki bütün verilerin yamuk aralık tip-2 bulanık verilere dönüştürüldükten sonra problemin yamuk aralık tip-2 yenileme analizi problemi olarak ele alınması önerilmiştir. Yenileme analizinde kullanılan nakit akışı diyagramlarının yerine üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayıların kullanıldığı grafiksel anlatımlar geliştirilmiştir. Aralık tip-2 bulanık verilerin sıralanması ve durulaştırılması için literatürdeki farklı yöntemler incelenerek aralık tip-2 bulanık sayıların referans noktaları ve üyelik derecelerinin birlikte ele alınarak gerçeğe daha yakın sonuçların elde edildiği yöntemler kullanılmıştır. Gerçeğe uygun olarak geliştirilen aralık tip-2 bulanık yenileme analizi uygulamalarına önerilen modeller uygulanarak yenileme kararlarının doğru olarak alınabilmesi için aralık tip-2 bulanık sayıların hem sıralanması hem de durulaştırılması ile elde edilen değerler dikkate alınmıştır.

Sonsuz planlama dönemi içerisindeki problemlerde savunucu ve adayın toplam eşdeğer düzgün ödeme maliyetleri karşılaştırılarak ekonomik kullanım ömürleri belirlenmiştir. Planlama ufkunun belirli olduğu problemde ise bütün alternatifler için şimdiki değer analizi yapılarak en düşük maliyetli alternatif seçilmiştir. Ayrıca geliştirilen problemlerde batmış maliyetler, savunucunun güncel maliyetleri, teknolojinin ilerlemesi dikkate alınmıştır.

Önerilen aralık tip-2 bulanık yenileme analizi modelleri teorik ve gerçek hayat uygulamaları için kullanılabilecek kapsamdadır. Çalışmadaki uygulamalar dikkate alındığında, yenileme analizi verilerinin niceliksel ve niteliksel olarak ifade edilebilmesi için kullanılan üçgen ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayıların karar vericiler için oldukça faydalı olacağına inanılmaktadır. Çalışmada önerilen modeller literatürdeki mevcut modellerle karşılaştırıldığında piyasa koşullarındaki ve yenileme analizindeki belirsizliklerin kapsamlı olarak ele alınması ve verilerin grafiksel anlatımla desteklemesi mühendislik ekonomisi konularında çalışan araştırmacılar için yararlı olacaktır. Aralık tip-2 bulanık yenileme analizi konusunda literatürün oldukça sınırlı olması, bu konuda yeni çalışmaların yapılması gerektiğini göstermektedir. Aralık tip-2 bulanık yenileme analizi için geliştirilen formüller ve grafiksel anlatımlar için MATLAB programında yazılan kodlar araştırmacıları önerilen modelleri kendi çalışmalarında uygulamaya teşvik etmek için ekler kısmında paylaşılmıştır. Araştırmacıların klasik yenileme analizinin dışına çıkarak çalışmalarında bulanık mantığı kullanarak karar vericilerin yenileme analizi problemlerindeki güven ve şüphelerinin sayısal olarak dikkate alınması ve eniyilenmesi gibi yüksek potansiyelli uygulamalara yoğunlaşması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Najjar, B. & Alsayouf, I.** (2003). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making, *International Journal of Production Economics*, 84-100.
- Baskak, M. & Kahraman, C.** (1998). Fuzzy replacement analysis, *Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – Nafips* (pp. 77-81). Persacola Beach, Florida, USA : August 20-21.
- Bellman, R.** (1955). Equipment replacement policy, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 3(3), 133-136.
- Bellman, R. & Zadeh, L. A.** (1970). Decision making in a fuzzy environment, *Management Science*, 17(4), 141-164.
- Blank, L. & Tarquin, A.** (2012). Replacement and Retention Decisions, In Marty Lange (Ed.), *Engineering Economy* (7th ed., pp.292-321). Boston, USA: McGraw-Hill.
- Boussabaine, A. H. & Elhag, T.** (1999). Applying fuzzy techniques to cash flow analysis, *Construction Management and Economics*, 17(6), 745-755.
- Buckley, J. J.** (1987). The fuzzy mathematics of finance, *Fuzzy Sets and Systems*, 21(3), 257-273.
- Buckley, J. J.** (1992). Solving fuzzy equations in economics and finance, *Fuzzy Sets and Systems*, 48(3), 289-296.
- Cetin, N. & Kahraman, C.** (1999). Fuzzy future value and annual cash flow analyses, In N. Zhong, A. Skowron, S. Ohsuga (Eds.), *New Directions in Rough Sets Data Mining and Granular-Soft Computing* (pp. 266-270). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Chen, S. M. & Lee, L. W.** (2010). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method, *Expert Systems with Applications*, 37(4): 2790-2798.
- 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.
- Co, J., Ji, X., Li, P. & Liu, H.** (2011). Design of adaptive interval type-2 fuzzy control system and its stability analysis, *International Journal of Fuzzy Systems*, 13(4), 335-343.
- Damghani, K. K., Sadi-Nezhad, S. & Aryanezhad, M. B.** (2011). A modular Decision Support System for optimum investment selection in presence of uncertainty: Combination of fuzzy mathematical programming and

fuzzy rule based system, *Expert Systems with Applications*, 38(1), 824-834.

- Demircan, M. L.** (2004). *Bulanik Yenileme Analizi* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demircan, M. L. & Kahraman, C.** (2008). Fuzzy Replacement Analysis Chapter, In C. Kahraman (Ed.), *Fuzzy Engineering Economics with Applications* (pp. 145-157). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Demircan, M. L.** (2016). Multiple-criteria decision making of call center system replacement investment using interval type-2 fuzzy replacement analysis, *Proceedings of 20th Research World International Conference*, Amsterdam, Netherlands: August 16.
- Dimitrovski, A.D. & Matos, M.A.** (2000). Fuzzy engineering economic analysis, *IEEE Transactions on Power Systems*, 15(1), 283-289.
- Dreyfus, S. E.** (1960). A generalized equipment replacement study, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 8(3), 425-435.
- Ho, S. H. & Liao, S. H.** (2011). A fuzzy real option approach for investment project valuation, *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15296-15302.
- Kahraman, C., Beskese, A. & Ruan, D.** (2004). Measuring flexibility of computer integrated manufacturing systems using fuzzy cash flow analysis, *Information Sciences*, 168(1-4), 77-94
- Kahraman, C., Gulbay, M. & Ulukan, Z.** (2006). Applications of fuzzy capital budgeting techniques, In C. Kahraman (Ed.), *Fuzzy Applications in Industrial Engineering* (pp. 177-203). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kahraman, C., Oztaysi, B., Ucal Sari, I. & Turanoglu, E.** (2014). Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets, *Knowledge-Based Systems*, 59(1), 48-57.
- Kahraman, C., Ruan, D. & Tolga, E.** (2002). Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows, *Information Sciences*, 142(1-4), 57-76.
- Kahraman, C., Tolga, E. & Ulukan, Z.** (2000). Justification of manufacturing technologies using fuzzy benefit/cost ratio analysis, *International Journal of Production Economics*, 66(1), 45-52.
- Karnik, N. N. & Mendel, J. M.** (2001). Centroid of a type-2 fuzzy set, *Information Sciences*, 132(1-4), 195-220.
- 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. & Gupta, M. M.** (1985). Introduction to Fuzzy Arithmetic, Van Nostrand, New York.
- Kuchta, D.** (2000). Fuzzy capital budgeting, *Fuzzy Sets and Systems*, 111(3), 367-385.
- Kuo-Ping, C.** (2011). Multiple criteria group decision making with triangular interval type-2 fuzzy sets, *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ)*, (pp. 1098-7584). Tapei, June 27-30.

- Lake, D. H. & Muhlemann, A. P.** (1979). An equipment replacement problem, *Journal of the Operational Research Society*, 30(5), 405-411.
- Lee, L. W. & Chen, S. M.** (2008). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the extension of TOPSIS method and interval type-2 fuzzy sets, *In Proceedings of the 2008 international conference on machine learning and Cybernetic* (pp. 3260–3265). Kunming, China.
- Lohmann, J. R.** (1986). A stochastic replacement economic decision model, *IEEE Transactions*, 18(2), 182-194.
- Ly, Z., Jin, H. & Yuan, P.** (2009). The Theory of Triangle Type-2 Fuzzy Sets, *IEEE Ninth International Conference on Computer and Information Technology*. Xiamen, China.
- Mendel, J. M., John, R. I. & Liu, F. L.** (2006). Interval type-2 fuzzy logical systems made simple, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 14(6), 808-821.
- Oakford, R. V., Lohmann, J. R. & Salazar, A. A.** (1984). A dynamic replacement economy decision mode, *IEEE Transactions*, 16(1), 65-72.
- Park, S. C.** (2013). Replacement Decisions, In Marcia J. Horton (Ed.), *Fundamentals of Engineering Economy* (3th ed., pp.530-561). Edinburgh Gate, United Kingdom: Pearson Education Limited
- Ross, T. J.** (2010). Classical Sets and Fuzzy Sets, *Fuzzy logic with engineering applications* (3th ed., pp.25-42). United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- Sevastjanov, P., Dimova, L. & Sevastianov, D.** (2006). Fuzzy capital budgeting: investment project evaluation and optimization, In C. Kahraman (Ed.), *Fuzzy Applications in Industrial Engineering* (pp. 205-228). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Shahriari, M.** (2011). Mapping fuzzy approach in engineering economics, *International Research Journal of Finance and Economics*, 81, 1450-2887.
- Tolga, E., Demircan, M. L. & Kahraman, C.** (2005). Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process, *International Journal of Production Economics*, 97(1), 89-117.
- Ucal Sari, I. & Kahraman, C.** (2015). Interval Type-2 Fuzzy Capital Budgeting, *International Journal of Fuzzy Systems*, 17(4), 635-646.
- Usher, J. S. & Whitfield, G. M.** (1993). Evaluation of used-system life cycle costs using fuzzy set theory, *IIE Transactions*, 25(6), 84-88.
- Yao, J. S., Chen, M. S. & Lin, H. W.** (2005). Valuation by using a fuzzy discounted cash flow model, *Expert Systems with Applications*, 28(2), 209-222.
- You, C. J., Lee, C. K. M., Chen, S. L. & Jiao, R. J.** (2012). A real option theoretic fuzzy evaluation model for enterprise resource planning investment, *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(1), 47-61.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. A.** (1974). Fuzzy logic and its application to approximate reasoning. *Information Processing*, 74, 591-594.

- Zadeh, L. A.** (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I, *Information Sciences*, 8(3), 199-249.
- Zadeh, L. A.** (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 3-28.

EKLER

EK A: Aralık Tip-2 Bulanık Sayılar İçin Önerilen MATLAB Kodları

EK B: Aralık Tip-2 Bulanık Yatırım Analizi İçin Önerilen MATLAB Kodları

EK B: Aralık Tip-2 Bulanık Yenileme Analizi İçin Önerilen MATLAB Kodları

EK A

EK A.1: Aralık tip-2 bulanık sayının grafiksek anlatım fonksiyonu

```
function plot_A(A)
```

```
if (numel(A)==8)
    U_l=A(:,1);
    U_m=A(:,2);
    U_r=A(:,3);
    H_U=A(:,4);
    L_l=A(:,5);
    L_m=A(:,6);
    L_r=A(:,7);
    H_L=A(:,8);
    hold on
    fill([U_l,U_m,U_r,L_r,L_m,L_l], [0, H_U,0,0 H_L,0],'c')
    plot([U_l,U_m],[0,H_U],'Color','b','Linewidth',1)
    plot([U_m,U_r],[H_U,0],'Color','b','Linewidth',1)
    plot([L_l,L_m],[0,H_L],'Color','b','Linewidth',1)
    plot([L_m,L_r],[H_L,0],'Color','b','Linewidth',1)
    if U_m==L_m
        plot([U_m,U_m],[0,H_U], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
    else
        plot([U_m,U_m],[0,H_U], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
        plot([L_m,L_m],[0,H_L], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
    end
    plot([U_l,U_m],[H_U,H_U], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
    plot([U_l,L_m],[H_L,H_L], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
    ax = gca;
    ax.XTick = sort(unique([U_l,U_m,U_r,L_l,L_m,L_r]),'ascend');
    ax.YTick = sort(unique([0,H_L,H_U,1]),'ascend');
    xlim([U_l,U_r])
    ylim([0,1])
    ax.XColor = 'k';
    ax.YColor = 'k';
    set(gca, 'FontName','Times New Roman', 'FontSize',12,'FontWeight','normal')
    ylabel('Üyelik Derecesi', 'FontName','Times New Roman', 'FontSize',12, 'Color','k',
    'FontWeight','normal')
    set(gca,'xticklabel',num2str(get(gca,'xtick'),'%.2f'))
    set(gca,'yticklabel',num2str(get(gca,'ytick'),'%.2f'))

elseif numel(A)==12
    U_1=A(:,1);
    U_2=A(:,2);
    U_3=A(:,3);
    U_4=A(:,4);
    H1_U=A(:,5);
    H2_U=A(:,6);
    L_1=A(:,7);
```

```

L_2=A(:,8);
L_3=A(:,9);
L_4=A(:,10);
H1_L=A(:,11);
H2_L=A(:,12);
hold on
fill([U_1,U_2,U_3,U_4,L_4,L_3,L_2,L_1], [0, H1_U,H2_U,0,0,H2_L,H1_L,0],'c')
plot([U_1,U_2],[0,H1_U],'Color','b','Linewidth',1)
plot([U_2,U_3],[H1_U,H2_U],'Color','b','Linewidth',1)
plot([U_3,U_4],[H2_U,0],'Color','b','Linewidth',1)
plot([L_1,L_2],[0,H1_L],'Color','b','Linewidth',1)
plot([L_2,L_3],[H1_L,H2_L],'Color','b','Linewidth',1)
plot([L_3,L_4],[H2_L,0],'Color','b','Linewidth',1)
plot([U_2,U_2],[0,H1_U], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
plot([U_3,U_3],[0,H2_U], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
plot([L_2,L_2],[0,H1_L], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
plot([L_3,L_3],[0,H2_L], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
plot([U_1,U_2],[H1_U,H1_U], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
plot([U_1,U_3],[H2_U,H2_U], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
plot([U_1,L_2],[H1_L,H1_L], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
plot([U_1,L_3],[H2_L,H2_L], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.75)
ax = gca;
ax.XTick = sort(unique([U_1,U_2,U_3,U_4, L_1,L_2,L_3,L_4]),'ascend');
ax.YTick = sort(unique([0,H1_L,H2_L,H1_U,H2_U,1]),'ascend');
xlim([U_1,U_4])
ylim([0,1])
ax.XColor = 'k';
ax.YColor = 'k';
set(gca, 'FontName','Times New Roman', 'FontSize',12,'FontWeight','normal')
ylabel('Üyelik Derecesi', 'FontName','Times New Roman', 'FontSize',12, 'Color','k',
'FontWeight','normal')
set(gca,'xticklabel',num2str(get(gca,'xtick'), '%.2f'))
set(gca,'yticklabel',num2str(get(gca,'ytick'), '%.2f'))
end
end

```

EK A.2: Aralık tip-2 bulanık sayının seçilen olabilirlik değeri fonksiyonu

```

function [ P ] = P(A,x)

if (numel(A)==8)
U_l=A(1);
U_m=A(2);
U_r=A(3);
U_H=A(4);
L_l=A(5);
L_m=A(6);
L_r=A(7);
L_H=A(8);
if (U_l<=x)&&(x<=U_m)

```

```

P_U=(U_H*(x-U_l))/(U_m-U_l);
elseif (U_r>=x)&&(x>=U_m)
P_U=(U_H*(U_r-x))/(U_r-U_m);
else
P_U=0;
end
if (L_l<=x)&&(x<=L_m)
P_L=(L_H*(x-L_l))/(L_m-L_l);
elseif (L_r>=x)&&(x>=L_m)
P_L=(L_H*(L_r-x))/(L_r-L_m);
else
P_L=0;
end

elseif numel(A)==12
U_1=A(1);
U_2=A(2);
U_3=A(3);
U_4=A(4);
H1_U=A(5);
H2_U=A(6);
L_1=A(7);
L_2=A(8);
L_3=A(9);
L_4=A(10);
H1_L=A(11);
H2_L=A(12);

if H1_U<=H2_U
if (U_1<=x)&&(x<=U_2)
P_U=(H1_U*(x-U_1))/(U_2-U_1);
elseif (U_2<=x)&&(x<=U_3)
P_U= (((H2_U-H1_U)*(x-U_2))/(U_3-U_2))+H1_U;
elseif (U_4>=x)&&(x>=U_3)
P_U=(H2_U*(U_4-x))/(U_4-U_3);
else
P_U=0;
end

elseif H2_U<=H1_U
if (U_1<=x)&&(x<=U_2)
P_U=( H1_U *(x-U_1))/(U_2-U_1);
elseif (U_2<=x)&&(x<=U_3)
P_U= (((H1_U-H2_U)*(U_3-x))/(U_3-U_2))+H2_U;
elseif (U_4>=x)&&(x>=U_3)
P_U=(H2_U*(U_4-x))/(U_4-U_3);
else
P_U=0;
end
end
end

```

```

if H1_L<=H2_L
if (L_1<=x)&&(x<=L_2)
P_L=( H1_L*(x-L_1))/(L_2-L_1);
elseif (L_2<=x)&&(x<=L_3)
P_L=((H2_L-H1_L)*(x-L_2))/(L_3- L_2))+H1_L;
elseif (L_4>=x)&&(x>=L_3)
P_L=(H2_L*(L_4-x))/(L_4-L_3);
else
P_L=0;
end

elseif H2_L<=H1_L
if (L_1<=x)&&(x<=L_2)
P_L=(H1_L*(x-L_1))/(L_2-L_1);
elseif (L_2<=x)&&(x<=L_3)
P_L=((H1_L-H2_L)*(L_3-x))/(L_3-L_2))+H2_L;
elseif (L_4>=x)&&(x>=L_3)
P_L=(H2_L*(L_4-x))/(L_4-L_3);
else
P_L=0;
end
end
end
P=[P_L P_U];
end

```

EK A.3: Aralık tip-2 bulanık sayının sıralama büyüklüğü fonksiyonu

```

function [ rank ] = rank(A)

if (numel(A)==8)
U_l=A(1);
U_m=A(2);
U_r=A(3);
U_H=A(4);
L_l=A(5);
L_m=A(6);
L_r=A(7);
L_H=A(8);
M_1_U=(U_l+U_m)/2;
M_1_L=(L_l+L_m)/2;
M_2_U=(U_m+U_r)/2;
M_2_L=(L_m+L_r)/2;
S_1_U=std([U_l,U_m], 1);
S_1_L=std([L_l, L_m], 1);
S_2_U=std([U_m,U_r], 1);
S_2_L=std([L_m, L_r], 1);
S_3_U= std([U_l,U_m,U_r], 1);
S_3_L= std([L_l,L_m,L_r], 1);

```

```
rank=M_1_U+M_1_L+M_2_U+M_2_L-(1/3)*(S_1_U+S_1_L+ S_2_U+ S_2_L+
S_3_U+ S_3_L)+U_H+L_H;
```

```
elseif numel(A)==12
```

```
U_1=A(1);
```

```
U_2=A(2);
```

```
U_3=A(3);
```

```
U_4=A(4);
```

```
H1_U=A(5);
```

```
H2_U=A(6);
```

```
L_1=A(7);
```

```
L_2=A(8);
```

```
L_3=A(9);
```

```
L_4=A(10);
```

```
H1_L=A(11);
```

```
H2_L=A(12);
```

```
M_1_U=(U_1+U_2)/2;
```

```
M_2_U=(U_2+U_3)/2;
```

```
M_3_U=(U_3+U_4)/2;
```

```
M_1_L=(L_1+L_2)/2;
```

```
M_2_L=(L_2+L_3)/2;
```

```
M_3_L=(L_3+L_4)/2;
```

```
S_1_U=std([U_1,U_2], 1);
```

```
S_1_L=std([L_1, L_2], 1);
```

```
S_2_U=std([U_2,U_3], 1);
```

```
S_2_L=std([L_2, L_3], 1);
```

```
S_3_U=std([U_3,U_4], 1);
```

```
S_3_L=std([L_3, L_4], 1);
```

```
S_4_U= std([U_1,U_2,U_3,U_4], 1);
```

```
S_4_L= std([L_1,L_2,L_3,L_4], 1);
```

```
rank=M_1_U+M_1_L+M_2_U+M_2_L+ M_3_U+M_3_L-0.25*(S_1_U+S_1_L+
S_2_U+ S_2_L+ S_3_U+ S_3_L+ S_4_U+ S_4_L)+H1_U+H1_L+H2_U+H2_L;
```

```
end
```

EK A.4: Aralık tip-2 bulanık sayıyı durulaştırma fonksiyonu

```
function [ DF ] = DF(A)
```

```
if (numel(A)==8)
```

```
U_l=A(1);
```

```
U_m=A(2);
```

```
U_r=A(3);
```

```
U_H=A(4);
```

```
L_l=A(5);
```

```
L_m=A(6);
```

```
L_r=A(7);
```

```
L_H=A(8);
```

```
DF=(U_H*((U_r+U_m+U_l)/3)+L_H*((L_r+L_m+L_l)/3))/2;
```

```
elseif numel(A)==12
```

```
U_1=A(1);
```

```

U_2=A(2);
U_3=A(3);
U_4=A(4);
H1_U=A(5);
H2_U=A(6);
L_1=A(7);
L_2=A(8);
L_3=A(9);
L_4=A(10);
H1_L=A(11);
H2_L=A(12);
DF= ((U_4-U_1+min(H1_U,H2_U)*U_2-U_1+max(H1_U,H2_U)*U_3-
U_1)/4+U_1+(L_4-L_1+min(H1_L,H2_L)*L_2-L_1+max(H1_L,H2_L)*L_3-
L_1)/4+L_1)/2;
end

```

EK B

EK B.1: Aralık tip-2 bulanık net şimdiki değer fonksiyonu

```
function [ NPV ] = NPV( CF,FC,i )

if (numel(CF(1,:))==8)&&(numel(i(1,:))==8)
CF_U_l=CF(:,1);
CF_U_m=CF(:,2);
CF_U_r=CF(:,3);
H_CF_U=CF(:,4);
CF_L_l=CF(:,5);
CF_L_m=CF(:,6);
CF_L_r=CF(:,7);
H_CF_L=CF(:,8);
i_U_l=i(:,1);
i_U_m=i(:,2);
i_U_r=i(:,3);
H_i_U=i(:,4);
i_L_l=i(:,5);
i_L_m=i(:,6);
i_L_r=i(:,7);
H_i_L=i(:,8);
FC_U_l=FC(1);
FC_U_m=FC(2);
FC_U_r=FC(3);
H_FC_U=FC(4);
FC_L_l=FC(5);
FC_L_m=FC(6);
FC_L_r=FC(7);
H_FC_L=FC(8);
n=numel(CF(:,1));
t=1:n;
NPV(1)=FC_U_l+sum(max(CF_U_l(t),0)./cumprod(1+i_U_r(t)) +
min(CF_U_l(t),0)./cumprod(1+i_U_l(t))); %U_l
NPV(2)=FC_U_m+sum(CF_U_m(t)./cumprod(1+i_U_m(t))); % U_m
NPV(3)=FC_U_r+sum(max(CF_U_r(t),0)./cumprod(1+i_U_l(t))
+min(CF_U_r(t),0)./cumprod(1+i_U_r(t))); % U_r
NPV(4)=min(min(min(H_CF_U, H_i_U)),H_FC_U); % H_U
NPV(5)=FC_L_l+sum(max(CF_L_l(t),0)./cumprod(1+i_L_r(t))
+min(CF_L_l(t),0)./cumprod(1+i_L_l(t))); % L_l
NPV(6)=FC_L_m+sum(CF_L_m(t)./cumprod(1+i_L_m(t))); % L_m
NPV(7)=FC_L_r+sum(max(CF_L_r(t),0)./cumprod(1+i_L_l(t))
+min(CF_L_r(t),0)/prod(1+i_L_r(1:t))); % L_r
NPV(8)=min(min(min(H_CF_L, H_i_L)),H_FC_L); % H_L

elseif (numel(CF(1,:))==12)&&(numel(i(1,:))==12)
CF_U_1=CF(:,1);
CF_U_2=CF(:,2);
CF_U_3=CF(:,3);
```



```

CF_U_4=CF(:,4);
H1_CF_U=CF(:,5);
H2_CF_U=CF(:,6);
CF_L_1=CF(:,7);
CF_L_2=CF(:,8);
CF_L_3=CF(:,9);
CF_L_4=CF(:,10);
H1_CF_L=CF(:,11);
H2_CF_L=CF(:,12);
i_U_1=i(:,1);
i_U_2=i(:,2);
i_U_3=i(:,3);
i_U_4=i(:,4);
H1_i_U=i(:,5);
H2_i_U=i(:,6);
i_L_1=i(:,7);
i_L_2=i(:,8);
i_L_3=i(:,9);
i_L_4=i(:,10);
H1_i_L=i(:,11);
H2_i_L=i(:,12);
FC_U_1=FC(:,1);
FC_U_2=FC(:,2);
FC_U_3=FC(:,3);
FC_U_4=FC(:,4);
H1_FC_U=FC(:,5);
H2_FC_U=FC(:,6);
FC_L_1=FC(:,7);
FC_L_2=FC(:,8);
FC_L_3=FC(:,9);
FC_L_4=FC(:,10);
H1_FC_L=FC(:,11);
H2_FC_L=FC(:,12);
n=numel(CF(:,1));
t=1:n;
NPV(1)=FC_U_1+sum(max(CF_U_1(t),0)./cumprod(1+i_U_4(t)) +
min(CF_U_1(t),0)./cumprod(1+i_U_1(t))); %U_1
NPV(2)=FC_U_2+sum(max(CF_U_2(t),0)./cumprod(1+i_U_3(t)) +
min(CF_U_2(t),0)./cumprod(1+i_U_2(t))); %U_2
NPV(3)=FC_U_3+sum(max(CF_U_3(t),0)./cumprod(1+i_U_2(t)) +
min(CF_U_3(t),0)./cumprod(1+i_U_3(t))); %U_3
NPV(4)=FC_U_4+sum(max(CF_U_4(t),0)./cumprod(1+i_U_1(t)) +
min(CF_U_4(t),0)./cumprod(1+i_U_4(t))); %U_4
NPV(5)=min(min(min(H1_CF_U, H1_i_U)),H1_FC_U); % H1_U
NPV(6)=min(min(min(H2_CF_U, H2_i_U)),H2_FC_U); % H2_U
NPV(7)=FC_L_1+sum(max(CF_L_1(t),0)./cumprod(1+i_L_4(t)) +
min(CF_L_1(t),0)./cumprod(1+i_L_1(t))); %L_1
NPV(8)=FC_L_2+sum(max(CF_L_2(t),0)./cumprod(1+i_L_3(t)) +
min(CF_L_2(t),0)./cumprod(1+i_L_2(t))); %L_2

```

```

NPV(9)=FC_L_3+sum(max(CF_L_3(t),0)./cumprod(1+i_L_2(t)) +
min(CF_L_3(t),0)./cumprod(1+i_L_3(t))); %L_3
NPV(10)=FC_L_4+sum(max(CF_L_4(t),0)./cumprod(1+i_L_1(t)) +
min(CF_L_4(t),0)./cumprod(1+i_L_4(t))); %L_4
NPV(11)=min(min(min(H1_CF_L, H1_i_L),H1_FC_L); % H1_L
NPV(12)=min(min(min(H2_CF_L, H2_i_L),H2_FC_L); % H2_L
end
end

```

EK B.2: Aralık tip-2 bulanık eşdeğer düzgün ödeme değeri fonksiyonu

```

function [ EUAV ] = EUAV(NPV,i,n)

if (numel(NPV)==8)&&(numel(i(1,:))==8)
NPV_U_l=NPV(1);
NPV_U_m=NPV(2);
NPV_U_r=NPV(3);
H_NPV_U=NPV(4);
NPV_L_l=NPV(5);
NPV_L_m=NPV(6);
NPV_L_r=NPV(7);
H_NPV_L=NPV(8);
i_U_l=geomean(i(1:n,1));
i_U_m=geomean(i(1:n,2));
i_U_r=geomean(i(1:n,3));
H_i_U=min(i(1:n,4));
i_L_l=geomean(i(1:n,5));
i_L_m=geomean(i(1:n,6));
i_L_r=geomean(i(1:n,7));
H_i_L=min(i(1:n,8));
EUAV(1)=max(NPV_U_l,0)*(((1+i_U_r)^n)*i_U_r)/(((1+i_U_r)^n)-1)+
min(NPV_U_l,0)*(((1+i_U_l)^n)*i_U_l)/(((1+i_U_l)^n)-1); %U_l
EUAV(2)=NPV_U_m*(((1+i_U_m)^n)*i_U_m)/(((1+i_U_m)^n)-1); %U_m
EUAV(3)=max(NPV_U_r,0)*(((1+i_U_l)^n)*i_U_l)/(((1+i_U_l)^n)-1)+
min(NPV_U_r,0)*(((1+i_U_r)^n)*i_U_r)/(((1+i_U_r)^n)-1); %U_r
EUAV(4)=min(H_NPV_U,H_i_U); %H_U
EUAV(5)=max(NPV_L_l,0)*(((1+i_L_r)^n)*i_L_r)/(((1+i_L_r)^n)-1)+
min(NPV_L_l,0)*(((1+i_L_l)^n)*i_L_l)/(((1+i_L_l)^n)-1); %L_l
EUAV(6)=NPV_L_m*(((1+i_L_m)^n)*i_L_m)/(((1+i_L_m)^n)-1); %L_m
EUAV(7)=max(NPV_L_r,0)*(((1+i_L_l)^n)*i_L_l)/(((1+i_L_l)^n)-1)+
min(NPV_L_r,0)*(((1+i_L_r)^n)*i_L_r)/(((1+i_L_r)^n)-1); %L_r
EUAV(8)=min(H_NPV_L,H_i_L); %H_L

elseif (numel(NPV)==12)&&(numel(i(1,:))==12)
NPV_U_1=NPV(1);
NPV_U_2=NPV(2);
NPV_U_3=NPV(3);
NPV_U_4=NPV(4);
H1_NPV_U=NPV(5);
H2_NPV_U=NPV(6);

```

```

NPV_L_1=NPV(7);
NPV_L_2=NPV(8);
NPV_L_3=NPV(9);
NPV_L_4=NPV(10);
H1_NPV_L=NPV(11);
H2_NPV_L=NPV(12);
i_U_1=geomean(i(1:n,1));
i_U_2=geomean(i(1:n,2));
i_U_3=geomean(i(1:n,3));
i_U_4=geomean(i(1:n,4));
H1_i_U=min(i(1:n,5));
H2_i_U=min(i(1:n,6));
i_L_1=geomean(i(1:n,7));
i_L_2=geomean(i(1:n,8));
i_L_3=geomean(i(1:n,9));
i_L_4=geomean(i(1:n,10));
H1_i_L=min(i(1:n,11));
H2_i_L=min(i(1:n,12));
EUAV(1)=max(NPV_U_1,0)*(((1+i_U_4)^n)*i_U_4)/(((1+i_U_4)^n)-1)+
min(NPV_U_1,0)*(((1+i_U_1)^n)*i_U_1)/(((1+i_U_1)^n)-1); %U_1
EUAV(2)=max(NPV_U_2,0)*(((1+i_U_3)^n)*i_U_3)/(((1+i_U_3)^n)-1)+
min(NPV_U_2,0)*(((1+i_U_2)^n)*i_U_2)/(((1+i_U_2)^n)-1); %U_2
EUAV(3)=max(NPV_U_3,0)*(((1+i_U_2)^n)*i_U_2)/(((1+i_U_2)^n)-1)+
min(NPV_U_3,0)*(((1+i_U_3)^n)*i_U_3)/(((1+i_U_3)^n)-1); %U_3
EUAV(4)=max(NPV_U_4,0)*(((1+i_U_1)^n)*i_U_1)/(((1+i_U_1)^n)-1)+
min(NPV_U_4,0)*(((1+i_U_4)^n)*i_U_4)/(((1+i_U_4)^n)-1); %U_4
EUAV(5)=min(H1_NPV_U,H1_i_U); %H1_U
EUAV(6)=min(H2_NPV_U,H2_i_U); %H2_U
EUAV(7)=max(NPV_L_1,0)*(((1+i_L_4)^n)*i_L_4)/(((1+i_L_4)^n)-1)+
min(NPV_L_1,0)*(((1+i_L_1)^n)*i_L_1)/(((1+i_L_1)^n)-1); %L_1
EUAV(8)=max(NPV_L_2,0)*(((1+i_L_3)^n)*i_L_3)/(((1+i_L_3)^n)-1)+
min(NPV_L_2,0)*(((1+i_L_2)^n)*i_L_2)/(((1+i_L_2)^n)-1); %L_2
EUAV(9)=max(NPV_L_3,0)*(((1+i_L_2)^n)*i_L_2)/(((1+i_L_2)^n)-1)+
min(NPV_L_3,0)*(((1+i_L_3)^n)*i_L_3)/(((1+i_L_3)^n)-1); %L_3
EUAV(10)=max(NPV_L_4,0)*(((1+i_L_1)^n)*i_L_1)/(((1+i_L_1)^n)-1)+
min(NPV_L_4,0)*(((1+i_L_4)^n)*i_L_4)/(((1+i_L_4)^n)-1); %L_4
EUAV(11)=min(H1_NPV_L,H1_i_L); %H1_L
EUAV(12)=min(H2_NPV_L,H2_i_L); %H2_Lend
end

```

EK B.3: Aralık tip-2 bulanık nakit akışlarının grafiksel anlatım fonksiyonu

```
function plot_CF( CF,ylim1,inc,ylim2 ,xtitle,ytitle)
```

```

if (numel(CF(1,:))==8)
CF_U_l=CF(:,1);
CF_U_m=CF(:,2);
CF_U_r=CF(:,3);
H_CF_U=CF(:,4);
CF_L_l=CF(:,5);

```

```

CF_L_m=CF(:,6);
CF_L_r=CF(:,7);
H_CF_L=CF(:,8);
x=[0.5:1.5:0.5+1.5*(numel(CF(:,1))-1)];
y=[ylim1:inc:ylim2];
for t=1:numel(CF(:,1))
hold on
fill([x(t), x(t)+H_CF_U(t), x(t), x(t), x(t)+H_CF_L(t), x(t)], [CF_U_r(t), CF_U_m(t),
CF_U_l(t), CF_L_l(t), CF_L_m(t), CF_L_r(t)], 'c')
plot([x(t), x(t)+H_CF_U(t)], [CF_U_r(t), CF_U_m(t)], 'Color', 'b','Linewidth',1.25)
plot([x(t), x(t)+H_CF_U(t)], [CF_U_l(t), CF_U_m(t)], 'Color', 'b','Linewidth',1.25)
plot([x(t), x(t)+H_CF_L(t)], [CF_L_r(t), CF_L_m(t)], 'Color', 'b','Linewidth',1.25)
plot([x(t), x(t)+H_CF_L(t)], [CF_L_l(t), CF_L_m(t)], 'Color', 'b','Linewidth',1.25)
if CF_U_m(t)==CF_L_m(t)
plot([x(t)+H_CF_U(t), x(t)], [CF_U_m(t), CF_U_m(t)], '--', 'Color',
'r','Linewidth',0.50)
else
plot([x(t)+H_CF_U(t), x(t)], [CF_U_m(t), CF_U_m(t)], '--', 'Color',
'r','Linewidth',0.50)
plot([x(t)+H_CF_L(t), x(t)], [CF_L_m(t), CF_L_m(t)], '--', 'Color',
'r','Linewidth',0.50)
end
plot([x(t), x(t)], [ylim1,ylim2], 'Color', 'k','Linewidth',1)
plot([x(t)+H_CF_U(t), x(t)+H_CF_U(t)], [ylim1,ylim2], '--', 'Color',
'r','Linewidth',0.50)
plot([x(t)+H_CF_L(t), x(t)+H_CF_L(t)], [ylim1,ylim2], '--', 'Color',
'r','Linewidth',0.50)
plot([x(t), x(t)+1.15], [ylim2,ylim2], 'Color', 'k','Linewidth',1)
plot(x(t),ylim1,'v','Color', 'k', 'MarkerFaceColor', 'k','MarkerSize',5)
plot(x(t)+1.15, ylim2,'>','Color', 'k', 'MarkerFaceColor', 'k', 'MarkerSize',5)
end
for i=1:numel(y)
Y_tick_label{i}= sprintf('%d TL',y(i));
end
ax = gca;
ax.XTick = x+0.5;
ax.YTick = y;
xlim([0,x(numel(CF(:,1)))+1.5])
ylim([ylim1,ylim2])
ax.XTickLabel = {1:numel(CF(:,1))};
ax.YTickLabel = Y_tick_label;
ax.XColor = 'k';
ax.YColor = 'k';
set(gca, 'FontName','Times New Roman',
'FontSize',12,'FontWeight','normal','xgrid','off','ygrid','on')
xlabel(sprintf('%s',xtitle))
ylabel(sprintf('%s',ytitle))
set(xlabel(sprintf('%s',xtitle)), 'FontName','Times New Roman', 'FontSize',14,
'Color','k', 'FontWeight','normal','Units', 'Normalized', 'Position', [0.5, -0.075, 0]);

```

```

set ylabel(sprintf('%s',ytitle),'FontName','Times New Roman','FontSize',14,
'Color','k','FontWeight','normal','Units','Normalized','Position',[-0.13, 0.5, 0]);

elseif (numel(CF(1,:))==12)
CF_U_1=CF(:,1);
CF_U_2=CF(:,2);
CF_U_3=CF(:,3);
CF_U_4=CF(:,4);
H1_CF_U=CF(:,5);
H2_CF_U=CF(:,6);
CF_L_1=CF(:,7);
CF_L_2=CF(:,8);
CF_L_3=CF(:,9);
CF_L_4=CF(:,10);
H1_CF_L=CF(:,11);
H2_CF_L=CF(:,12);
x=[0.5:1.5:0.5+1.5*(numel(CF(:,1))-1)];
y=[ylim1:inc:ylim2];
for t=1:numel(CF(:,1))
hold on
fill([x(t), x(t)+H2_CF_U(t), x(t)+H1_CF_U(t), x(t), x(t), x(t)+H1_CF_L(t),
x(t)+H2_CF_L(t), x(t)], [CF_U_4(t), CF_U_3(t), CF_U_2(t), CF_U_1(t), CF_L_1(t),
CF_L_2(t), CF_L_3(t), CF_L_4(t)], 'c')
plot([x(t), x(t)+H2_CF_U(t)], [CF_U_4(t), CF_U_3(t)], 'Color', 'b','Linewidth',1.25)
plot([x(t)+H2_CF_U(t), x(t)+H1_CF_U(t)], [CF_U_3(t), CF_U_2(t)], 'Color',
'b','Linewidth',1.25)
plot([x(t)+H1_CF_U(t), x(t)], [CF_U_2(t), CF_U_1(t)], 'Color', 'b','Linewidth',1.25)
plot([x(t), x(t)+H2_CF_L(t)], [CF_L_4(t), CF_L_3(t)], 'Color', 'b','Linewidth',1.25)
plot([x(t)+H2_CF_L(t), x(t)+H1_CF_L(t)], [CF_L_3(t), CF_L_2(t)], 'Color',
'b','Linewidth',1.25)
plot([x(t)+H1_CF_L(t), x(t)], [CF_L_2(t), CF_L_1(t)], 'Color', 'b','Linewidth',1.25)
plot([x(t), x(t)], [ylim1,ylim2], 'Color', 'k','Linewidth',1)
plot([x(t)+max(H1_CF_U(t),H2_CF_U(t)),
x(t)+max(H1_CF_U(t),H2_CF_U(t))], [ylim1, ylim2], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.50)
plot([x(t)+min(H1_CF_L(t),H2_CF_L(t)),
x(t)+min(H1_CF_L(t),H2_CF_L(t))], [ylim1, ylim2], '--', 'Color', 'r','Linewidth',0.50)
plot([x(t), x(t)+1.15], [ylim2, ylim2], 'Color', 'k','Linewidth',1)
plot(x(t),ylim1,'v','Color', 'k', 'MarkerFaceColor', 'k','MarkerSize',5)
plot(x(t)+1.15, ylim2,'>','Color', 'k', 'MarkerFaceColor', 'k', 'MarkerSize',5)
end
for i=1:numel(y)
Y_tick_label{i}= sprintf('%d TL',y(i));
end
ax = gca;
ax.XTick =x+0.5;
ax.YTick = y;
xlim([0,x(numel(CF(:,1)))+1.5])
ylim([ylim1,ylim2])
ax.XTickLabel = {1:numel(CF(:,1))};
ax.YTickLabel = Y_tick_label;

```

```

ax.XColor = 'k';
ax.YColor = 'k';
set(gca, 'FontName','Times New Roman',
'FontSize',12,'FontWeight','normal','xgrid','off','ygrid','on')
xlabel(sprintf('%s',xtitle))
ylabel(sprintf('%s',ytitle))
set(xlabel(sprintf('%s',xtitle)), 'FontName','Times New Roman', 'FontSize',14,
'Color','k', 'FontWeight','normal','Units', 'Normalized', 'Position', [0.5, -0.075, 0]);
set(ylabel(sprintf('%s',ytitle)), 'FontName','Times New Roman', 'FontSize',14,
'Color','k', 'FontWeight','normal','Units', 'Normalized', 'Position', [-0.13, 0.5, 0]);
end
end

```

EK C

EK C.1: Aralık tip-2 bulanık sermaye kurtarma değeri fonksiyonu

function [CR] = CR(SV,FC,i)

```
if (numel(FC(1,:))==8)&&(numel(i(1,:))==8)
SV_U_l=SV(:,1);
SV_U_m=SV(:,2);
SV_U_r=SV(:,3);
H_SV_U=SV(:,4);
SV_L_l=SV(:,5);
SV_L_m=SV(:,6);
SV_L_r=SV(:,7);
H_SV_L=SV(:,8);
i_U_l=i(:,1);
i_U_m=i(:,2);
i_U_r=i(:,3);
H_i_U=i(:,4);
i_L_l=i(:,5);
i_L_m=i(:,6);
i_L_r=i(:,7);
H_i_L=i(:,8);
FC_U_l=FC(1);
FC_U_m=FC(2);
FC_U_r=FC(3);
H_FC_U=FC(4);
FC_L_l=FC(5);
FC_L_m=FC(6);
FC_L_r=FC(7);
H_FC_L=FC(8);
for n=1:numel(SV(:,1))
t=1:n;
npv_CR(n,1)=FC_U_l+ SV_U_l(n)./prod(1+i_U_r(t)); %U_l
npv_CR(n,2)=FC_U_m+SV_U_m(n)./prod(1+i_U_m(t)); % U_m
npv_CR(n,3)=FC_U_r+ SV_U_r(n)./prod(1+i_U_l(t)); % U_r
npv_CR(n,4)=min(min(min(H_i_U(t)),H_SV_U(n)),H_FC_U); % H_U
npv_CR(n,5)=FC_L_l+ SV_L_l(n)./prod(1+i_L_r(t)); %L_l
npv_CR(n,6)=FC_L_m+SV_L_m(n)./prod(1+i_L_m(t)); % L_m
npv_CR(n,7)=FC_L_r+SV_L_r(n)/prod(1+i_L_l(t)) ; % L_r
npv_CR(n,8)= min(min(min(H_i_L(t)),H_SV_L(n)),H_FC_L) ; % H_L
CR(n,:)=EUAV(npv_CR(n,:),i,n);
end

elseif (numel(FC(1,:))==12)&&(numel(i(1,:))==12)
SV_U_1=SV(:,1);
SV_U_2=SV(:,2);
SV_U_3=SV(:,3);
SV_U_4=SV(:,4);
H1_SV_U=SV(:,5);
```

```

H2_SV_U=SV(:,6);
SV_L_1=SV(:,7);
SV_L_2=SV(:,8);
SV_L_3=SV(:,9);
SV_L_4=SV(:,10);
H1_SV_L=SV(:,11);
H2_SV_L=SV(:,12);
i_U_1=i(:,1);
i_U_2=i(:,2);
i_U_3=i(:,3);
i_U_4=i(:,4);
H1_i_U=i(:,5);
H2_i_U=i(:,6);
i_L_1=i(:,7);
i_L_2=i(:,8);
i_L_3=i(:,9);
i_L_4=i(:,10);
H1_i_L=i(:,11);
H2_i_L=i(:,12);
FC_U_1=FC(:,1);
FC_U_2=FC(:,2);
FC_U_3=FC(:,3);
FC_U_4=FC(:,4);
H1_FC_U=FC(:,5);
H2_FC_U=FC(:,6);
FC_L_1=FC(:,7);
FC_L_2=FC(:,8);
FC_L_3=FC(:,9);
FC_L_4=FC(:,10);
H1_FC_L=FC(:,11);
H2_FC_L=FC(:,12);
for n=1: numel(SV(:,1))
t=1:n;
npv_CR(n,1)=FC_U_1+SV_U_1(n)./prod(1+i_U_4(t)) %U_1
npv_CR(n,2)=FC_U_2+SV_U_2(n)./prod(1+i_U_3(t)) ; %U_2
npv_CR(n,3)=FC_U_3+SV_U_3(n)./prod(1+i_U_2(t)) ; %U_3
npv_CR(n,4)=FC_U_4+SV_U_4(n)./prod(1+i_U_1(t)) ; %U_4
npv_CR(n,5)=min(min(min(H1_i_U(t)),H1_SV_U(n)),H1_FC_U); % H1_U
npv_CR(n,6)=min(min(min(H2_i_U(t)),H2_SV_U(n)),H2_FC_U); % H2_U
npv_CR(n,7)=FC_L_1+SV_L_1(n)./prod(1+i_L_4(t)) ; %L_1
npv_CR(n,8)=FC_L_2+SV_L_2(n)./prod(1+i_L_3(t)) ; %L_2
npv_CR(n,9)=FC_L_3+SV_L_3(n)./prod(1+i_L_2(t)) ; %L_3
npv_CR(n,10)=FC_L_4+SV_L_4(n)./prod(1+i_L_1(t)) ; %L_4
npv_CR(n,11)=min(min(min(H1_i_L(t)),H1_SV_L(n)),H1_FC_L); % H1_L
npv_CR(n,12)=min(min(min(H2_i_L(t)),H2_SV_L(n)),H2_FC_L); % H2_L
CR(n,:)=EUAV(npv_CR(n,:),i,n);
end
end
end

```


EK C.2: Aralık tip-2 bulanık işletme maliyetinin eşdeğer ödeme değeri fonksiyonu

```
function [ EAO ] = EAO( AOC,i )

if (numel(AOC(1,:))==8)&&(numel(i(1,:))==8)
    AOC_U_l=AOC(:,1);
    AOC_U_m=AOC(:,2);
    AOC_U_r=AOC(:,3);
    H_AOC_U=AOC(:,4);
    AOC_L_l=AOC(:,5);
    AOC_L_m=AOC(:,6);
    AOC_L_r=AOC(:,7);
    H_AOC_L=AOC(:,8);
    i_U_l=i(:,1);
    i_U_m=i(:,2);
    i_U_r=i(:,3);
    H_i_U=i(:,4);
    i_L_l=i(:,5);
    i_L_m=i(:,6);
    i_L_r=i(:,7);
    H_i_L=i(:,8);
    for n=1:numel(AOC(:,1))
        t=1:n;
        npv_AOC(n,1)=sum(AOC_U_l(t)./cumprod(1+i_U_l(t))); %U_l
        npv_AOC(n,2)=sum(AOC_U_m(t)./cumprod(1+i_U_m(t))); % U_m
        npv_AOC(n,3)=sum(AOC_U_r(t)./cumprod(1+i_U_r(t))); % U_r
        npv_AOC(n,4)=min(min(H_AOC_U(t), H_i_U(t))); % H_U
        npv_AOC(n,5)=sum(AOC_L_l(t)./cumprod(1+i_L_l(t))); % L_l
        npv_AOC(n,6)=sum(AOC_L_m(t)./cumprod(1+i_L_m(t))); % L_m
        npv_AOC(n,7)=sum(AOC_L_r(t)./cumprod(1+i_L_r(t))); % L_r
        npv_AOC(n,8)=min(min(H_AOC_L(t), H_i_L(t))); % H_L
        EAO(n,:)=EUAV(npv_AOC(n,:),i,n);
    end
elseif (numel(AOC(1,:))==12)&&(numel(i(1,:))==12)
    AOC_U_1=AOC(:,1);
    AOC_U_2=AOC(:,2);
    AOC_U_3=AOC(:,3);
    AOC_U_4=AOC(:,4);
    H1_AOC_U=AOC(:,5);
    H2_AOC_U=AOC(:,6);
    AOC_L_1=AOC(:,7);
    AOC_L_2=AOC(:,8);
    AOC_L_3=AOC(:,9);
    AOC_L_4=AOC(:,10);
    H1_AOC_L=AOC(:,11);
    H2_AOC_L=AOC(:,12);
    i_U_1=i(:,1);
    i_U_2=i(:,2);
    i_U_3=i(:,3);
    i_U_4=i(:,4);
```

```

H1_i_U=i(:,5);
H2_i_U=i(:,6);
i_L_1=i(:,7);
i_L_2=i(:,8);
i_L_3=i(:,9);
i_L_4=i(:,10);
H1_i_L=i(:,11);
H2_i_L=i(:,12);
for n=1: numel(AOC(:,1))
t=1:n;
npv_AOC(n,1)=sum(AOC_U_1(t)/cumprod(1+i_U_1(t))); %U_1
npv_AOC(n,2)=sum(AOC_U_2(t)/cumprod(1+i_U_2(t))); %U_2
npv_AOC(n,3)=sum(AOC_U_3(t)/cumprod(1+i_U_3(t))); %U_3
npv_AOC(n,4)=sum(AOC_U_4(t)/cumprod(1+i_U_4(t))); %U_4
npv_AOC(n,5)=min(H1_AOC_U(t), H1_i_U(t)); % H1_U
npv_AOC(n,6)=min(H2_AOC_U(t), H2_i_U(t)); % H2_U
npv_AOC(n,7)=sum(AOC_L_1(t)./cumprod(1+i_L_1(t))); %L_1
npv_AOC(n,8)=sum(AOC_L_2(t)./cumprod(1+i_L_2(t))); %L_2
npv_AOC(n,9)=sum(AOC_L_3(t)./cumprod(1+i_L_3(t))); %L_3
npv_AOC(n,10)=sum(min(AOC_L_4(t),0)./cumprod(1+i_L_4(t))); %L_4
npv_AOC(n,11)=min(min(H1_AOC_L(t), H1_i_L(t))); % H1_L
npv_AOC(n,12)=min(min(H2_AOC_L(t), H2_i_L(t))); % H2_L
EAOC(n,:)=EUAV(npv_AOC(n,:),i,n);
end
end
end

```

EK C.3: Aralık tip-2 bulanık toplam eşdeğer ödeme maliyeti fonksiyonu

```

function [ EUAC ] = EUAC( AOC,SV,FC,i )

CR_ = CR( SV,FC,i );
EAOC_ = EAOC( AOC,i );

if (numel(CR_(1,:))==8)&&(numel(EAOC_(1,:))==8)
EUAC(:,1)= CR_(:,1)+ EAOC_(:,1);
EUAC(:,2)= CR_(:,2)+ EAOC_(:,2);
EUAC(:,3)= CR_(:,3)+ EAOC_(:,3);
EUAC(:,5)= CR_(:,5)+ EAOC_(:,5);
EUAC(:,6)= CR_(:,6)+ EAOC_(:,6);
EUAC(:,7)= CR_(:,7)+ EAOC_(:,7);
n=numel(CR_(:,1));
for t=1:n;
EUAC(t,4)=min(CR_(t,4), EAOC_(t,4));
EUAC(t,8)=min(CR_(t,8), EAOC_(t,8));
end

elseif (numel(CR_(1,:))==12)&&(numel(EAOC_(1,:))==12)
EUAC(:,1)= CR_(:,1)+ EAOC_(:,1);
EUAC(:,2)= CR_(:,2)+ EAOC_(:,2);

```

```

EUAC(:,3)= CR_(:,3)+ EAOC_(:,3);
EUAC(:,4)= CR_(:,4)+ EAOC_(:,4);
EUAC(:,7)= CR_(:,7)+ EAOC_(:,7);
EUAC(:,8)= CR_(:,8)+ EAOC_(:,8);
EUAC(:,9)= CR_(:,9)+ EAOC_(:,9);
EUAC(:,10)= CR_(:,10)+ EAOC_(:,10);
n=numel(CR_(:,1));
for t=1:n;
EUAC(t,5)=min(CR_(t,5),EAOC_(t,5));
EUAC(t,6)=min(CR_(t,6),EAOC_(t,6));
EUAC(t,11)=min(CR_(t,11),EAOC_(t,11));
EUAC(t,12)=min(CR_(t,12),EAOC_(t,12));
end
end
end

```


ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Tuğberk Tunçinan
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.01.1991 Bursa
E-posta : tuncinan@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği