

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SEZGİSEL BULANIK SAYILAR İLE REEL OPSİYON
DEĞERLEMESİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIMI UYGULAMASI**

DOKTORA TEZİ

Hüseyin Yiğit ERSEN

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

OCAK 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SEZGİSEL BULANIK SAYILAR İLE REEL OPSİYON
DEĞERLEMESİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIMI UYGULAMASI**

DOKTORA TEZİ

**Hüseyin Yiğit ERSEN
(507112007)**

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oktay TAŞ

OCAK 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507112007 numaralı Doktora Öğrencisi Hüseyin Yiğit ERSEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SEZGİSEL BULANIK SAYILAR İLE REEL OPSİYON DEĞERLEMESİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIMI UYGULAMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Oktay TAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof Dr. Suat TEKER
Işık Üniversitesi

Doç. Dr. Kaya TOKMAKÇIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cem BERK
Arel Üniversitesi

Teslim Tarihi : **24 Aralık 2018**
Savunma Tarihi : **30 Ocak 2019**



ÖNSÖZ

Enerji insanlık tarihi açısından hayatın devamlılığı ve diğer türlere üstünlük için en önemli kavramlardan biridir. Devletler, kurumlar, bireyler enerjiye en kısa yoldan, en ucuz maliyetle, en verimli şekilde ulaşmaya çalışırlar. Günümüzde enerjiye sahip olan devletlerin veya grupların dünyanın geri kalanına karşı üstünlükleri aşikârdır. Özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ekonomilerde enerjiye ucuz ve verimli bir şekilde sahip olma ve dışa bağımlılığı azaltma ülkenin dış ve iç dinamikleri açısından çok önem taşımaktadır. Coğrafi avantajımız nedeniyle sahip olduğumuz yenilenebilir kaynaklar ve yatırımları sosyal, ekonomik, politik vb. boyutlarıyla sürekli olarak kontrol altında tutulmalı ve gelecek projeksiyonları yapılmalıdır. Finansal anlamda piyasa verilerini ve belirsizliğini, uzman görüşlerini ve tereddütlerini içeren sezgisel bulanık sayılar ile reel opsiyon teorisi yenilenebilir enerji piyasası için yol gösterici olacaktır.

Tezimde ve doktora eğitimim boyunca benden katkılarını esirgemeyen, zorlu süreçlerde sürekli yol gösterici olan çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Oktay Taş başta olmak üzere, tez izleme jürimde bulunan, tez ve makale yazım süreçlerinde bilgi ve desteğini hiç esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Cengiz Kahraman'a, yine tez izleme jürimde bulunup tezimin kapsam ve içeriği konusunda yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Suat Teker'e, doktora eğitimimim boyunca verdiği burs desteğinden ötürü Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK), eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok sevgili annem Ümmü Ersen ve babam Ali Ersen'e sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Aralık 2018

**Hüseyin Yiğit Ersen
(İşletme Mühendisi)**



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxv
1. GİRİŞ	1
2. OPSİYON TEORİSİ	7
2.1 Opsiyonların Tarihçesi	7
2.2 Finansal Opsiyonlar	9
2.2.1 Opsiyonlar hakkında temel kavramlar.....	9
2.2.1.1 Dayanak varlık.....	9
2.2.1.2 Opsiyon vade tarihi.....	10
2.2.1.3 Kullanım fiyatı.....	10
2.2.1.4 Opsiyon primi.....	10
2.2.2 Alma ya da satma hakkın açısından opsiyonlar.....	10
2.2.2.1 Alım opsiyonları (Call options).....	10
2.2.2.2 Satım opsiyonları (Put options).....	11
2.2.3 Vadelerine göre opsiyonlar.....	11
2.2.3.1 Avrupa tipi opsiyonlar.....	11
2.2.3.2 Amerikan tipi opsiyonlar.....	12
2.2.4 Kâr durumlarına göre opsiyon türleri.....	12
2.2.4.1 Kârda Opsiyonlar (In the money options).....	12
2.2.4.2 Başa baş opsiyonlar (At the money options).....	12
2.2.4.3 Zararda opsiyonlar (Out of the money options).....	13
2.2.5 Dayanak varlığa göre opsiyon sözleşmeleri.....	13
2.2.5.1 Endeks opsiyonları.....	13
2.2.5.2 Hisse senedi opsiyonları.....	13
2.2.5.3 Döviz opsiyonları.....	13
2.2.5.4 Emtia opsiyonları.....	14
2.2.5.5 Vadeli işlem opsiyon sözleşmeleri.....	14
2.2.6 Opsiyon fiyatını etkileyen unsurlar.....	14
2.2.6.1 Kullanım fiyatı.....	15
2.2.6.2 Mevcut market fiyatı.....	15
2.2.6.3 Dayanak varlık oynaklığı.....	15
2.2.6.4 Gelecek temettülerin miktarı.....	16
2.2.6.5 Vade tarihi (kullanım hakkının bitmesine kalan süre).....	16

2.2.6.6 Risksiz faiz oranı.....	17
2.3 Reel Opsiyonlar.....	17
2.3.1 Reel opsiyonlar ve geleneksel proje değerlendirme yöntemleri arasındaki farklar.....	18
2.3.2 Reel opsiyonların çeşitleri	19
2.3.2.1 Erteleme Opsiyonu	19
2.3.2.2 Vazgeçme opsiyonu	20
2.3.2.3 Büyüme opsiyonu.....	20
2.3.2.4 Kapasiteyi değiştirme opsiyonu	20
2.3.2.5 Kullanımı değiştirme opsiyonu	21
2.3.2.6 Kademeli yatırım opsiyonu.....	21
2.4 Finansal Opsiyonlar ile Reel Opsiyonların Karşılaştırılması.....	22
3. OPSİYON DEĞERLEME MODELLERİ.....	25
3.1 Black & Scholes Opsiyon Fiyatlama Modeli.....	26
3.1.1 Temettüsüz Black & Scholes opsiyon fiyatlandırma modeli.....	26
3.1.2 Temettülü Black-Scholes opsiyon fiyatlandırma modeli	27
3.1.3 Tarihsel volatilité hesabı	28
3.2 Kafes Opsiyon Fiyatlama Modelleri.....	29
3.2.1 Binomial opsiyon fiyatlandırma modeli	29
3.2.1.1 Tek dönemli binomial opsiyon değerlendirme modeli	30
3.2.1.2 Çok dönemli binomial opsiyon değerlendirme modeli	31
3.2.2 Trinomial opsiyon değerlendirme modeli	33
3.3 Monte Carlo Simülasyonu ile Opsiyon Değerleme	35
4. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER.....	37
4.1 Bulanık Kümeler.....	38
4.2 Bulanık Sayılar	39
4.2.1 Üçgensel bulanık sayılar	40
4.2.2 Yamuk bulanık sayılar	40
4.2.3 Sağ-sol bulanık sayılar	41
4.3 Tip-2 Bulanık Kümeler.....	42
4.4 Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets).....	43
4.5 Bulanık Sayılarla İşlemler	48
4.5.1 Tip-1 bulanık sayılarda işlemler	48
4.5.2 Sezgisel bulanık sayılar ile işlemler	49
4.6 Sayılar Arası Geçiş İşlemleri	51
4.6.1 Bulanık sayıların durulaştırılması (defuzzification)	51
4.6.1.1 Ağırlık merkezi yöntemi.....	52
4.6.1.2 Ağırlıklı ortalama yöntemi.....	52
4.6.1.3 En büyük üyelik değeri-ortalaması yöntemi	53
4.6.1.4 Toplamların ortası yöntemi.....	54
4.6.1.5 En büyük alanın ortası yöntemi	54
4.6.2 Sezgisel bulanık sayılardan tip-1 bulanık sayılara geçiş işlemleri	55
4.6.2.1 Tereddüt payının yüksek olan tarafa eklenmesi.....	55
4.6.2.2 Tereddüt payının eşit olarak dağıtılması	56
4.6.2.3 Tereddüt payının orantısal olarak dağıtılması.....	56
4.7. Bulanık Analitik Hiyerarşik Prosesi Modelleri	56
4.7.1 Buckley Bulanık AHP yöntemi	57
4.7.2 Chang Bulanık AHP yöntemi	59
4.8 Bulanık Sayılarda Bütünleştirme İşlemleri	60
4.8.1 Klasik bulanık sayılarda bütünleştirme yöntemleri	60

4.8.2 Sezgisel bulanık sayılarda bütünleştirme işlemi	61
5. BULANIK REEL OPSİYON DEĞERLEME YÖNTEMLERİ	63
5.1 Carlsson ve Fuller Bulanık Reel Opsiyon Değerleme Modeli.....	63
5.1.1 Temettüsüz Carlsson ve Fuller bulanık reel opsiyon değerlendirme modeli ...	63
5.1.2 Temettülü Carlsson ve Fuller bulanık reel opsiyon değerlendirme modeli	64
5.2 Bulanık Sayılarla Kafes Opsiyon Fiyatlama Modelleri	65
5.2.1 Binomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli	65
5.2.1.1 Tek dönemli binomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli	66
5.2.1.2 Çok dönemli binomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli	67
5.2.2 Trinomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli	69
5.3 Literatürde Bulanık Reel Opsiyon Fiyatlama Modeli	71
6. ENERJİ-ELEKTRİK PİYASASI.....	75
6.1 Enerji Kaynakları	76
6.1.1 Yenilenemez enerji kaynakları.....	77
6.1.1.1 Fosil kaynaklı enerji kaynakları	77
6.1.1.2 Çekirdek kaynaklı enerji kaynakları (Nükleer Enerji).....	78
6.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	79
6.1.2.1 Biyokütle	79
6.1.2.2 Hidrolik	79
6.1.2.3 Güneş	80
6.1.2.4 Rüzgar	83
6.1.2.5 Dalga (Gel-Git).....	84
6.1.2.6 Jeotermal	85
6.1.2.7 Hidrojen	85
6.2 Enerji ve Elektrik Piyasaları.....	85
6.2.1 Dünya Enerji ve Elektrik Piyasası.....	86
6.2.2 Türkiye Enerji ve Elektrik Piyasası.....	88
6.3 Yenilenebilir Enerji Piyasaları ve Mevcut Uygulamaları	90
6.3.1 Dünyada Yenilenebilir Enerji	90
6.3.2 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji	93
7. SEZGİSEL BULANIK REEL OPSİYON DEĞERLEME MODELLERİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIMI UYGULAMASI	97
7.1 Sezgisel Bulanık Reel Opsiyon Değerleme Modeli	97
7.2 Sezgisel Bulanık Sayılar ile Trinomial Reel Opsiyon Değerlemesi.....	101
7.3 Oynaklık (Volatilité) Hesapları.....	103
7.3.1 Frekanslı modellerden elde edilen oynaklık	103
7.3.2 Sezgisel bulanık sayının bulanık sayıya çevrilmesi ve Carlsson ve Fuller (2001) posibilistik varyans hesabından elde edilen oynaklık.....	104
7.3.3 Tarihsel volatiliteden elde edilen oynaklık	105
7.4 Sezgisel Bulanık Reel Opsiyon Modeli Güneş Enerjisi Yatırımı Uygulaması.....	106
7.4.1 Varsayımlar	106
7.4.1.1 Elektrik fiyatları ve elektrik fiyatları değişimi	109
7.4.1.2 Yatırım maliyetleri ve değişim senaryosu varsayımları	112
7.4.1.3 Ön lisans, lisans, izinler, arazi tesisi ile ilgili maliyetler	112
7.4.1.4 Yatırım ömrü ve senelik giderler.....	113
7.4.1.5 Devlete ödenen katkı payı.....	113
7.4.1.6 Yıllık elektrik üretim miktarları	114
7.4.1.7 Amortisman uygulaması ve vergi oranı	115

7.4.1.8 Yatırımın sermaye bütçelemesi, ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti ve risksiz faiz oranı.....	115
7.4.1.9 Sezgisel bulanık sayı beklenen değerleri ve modeldeki varyans hesabı	116
7.4.1.10 Hurda değeri ve lisans satış değeri	117
7.4.1.11 Çalışmanın Sonuçları.....	117
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	125
KAYNAKLAR.....	129
EKLER	137
ÖZGEÇMİŞ.....	189



KISALTMALAR

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
BİST	: Borsa İstanbul
CAPM	: Capital Asset Pricing Model
EPIAŞ	: Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
GNBD	: Genişletilmiş Net Bugünkü Değer
GENSED	: Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstricileri Derneği
KV	: Karar Verici
Maks.	: Maksimum
m.	: Milyon
Mtep	: Milyon ton eş değeri petrol
Min.	: Minimum
NBD	: Net Bugünkü Değer
OFGEM	: Office of Gas and Electricity Markets
ROD	: Reel Opsiyon Değeri
SBGNBD	: Sezgisel Bulanık Genişletilmiş Net Bugünkü Değer
SBNBD	: Sezgisel Bulanık Net Bugünkü Değer
SBROD	: Sezgisel Bulanık Reel Opsiyon Değeri
Sup.	: Supremum
SVFM	: Sermaye Varlıkları Fiyatlandırma Modeli
TDK	: Türk Dil Kurumu
TREDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TL	: Türk Lirası
VUK	: Vergi Usul Kanunu
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kanunu
Yüks.	: Yükseklik



SEMBOLLER

GW	: Gigavat
kWsa	: Kilovat.saat
MW	: Megavat
m/s	: Metre bölü saniye
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Opsiyon fiyatlarını etkileyen unsurların özet etki tablosu.	15
Çizelge 2.2: Reel opsiyon çeşitleri ve kısa açıklamaları.	19
Çizelge 2.3: Finansal opsiyonlardaki değişkenlerin reel opsiyonlardaki karşılıkları.	22
Çizelge 4.1: Klasik mantık ve bulanık mantık bakış açısı farklılıkları.	37
Çizelge 4.2: İkili karşılaştırma kıyas ölçeği.	58
Çizelge 6.1: Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.	76
Çizelge 6.2: Dünya Enerjisi BP İstatistiksel Görünümü'nden alınan bazı ülkelerin kaynak bazında elektrik üretimi.	87
Çizelge 6.3: Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü (MW).	89
Çizelge 6.4: Teiaş'tan alınan elektrik enerjisi kurulu güçleri (MW).	90
Çizelge 6.5: Yenilenebilir enerji tesisi ile elektrik üretim teşvikleri.	94
Çizelge 6.6: Yurt içi malzeme kullanılan yenilenebilir enerji tesisi ile elektrik üretim ek teşvikleri.	96
Çizelge 7.1: Değişkenlerin nasıl elde edildiği ile ilgili özet çizelge.	107
Çizelge 7.2: Değişkenlerin nasıl elde edildiği ile ilgili özet çizelgenin İngilizcesi.	108
Çizelge 7.3: Karar vericilerin 2021 yılından itibaren alım garantisindeki değişim tahminleri.	109
Çizelge 7.4: Karar vericilerin senaryo tercihleri.	111
Çizelge 7.5: Karar vericilerin yatırım maliyetlerindeki değişim tahminleri.	112
Çizelge 7.6: Karar vericilerin 2021 yılı katkı payı düşüş tahminleri.	113
Çizelge 7.7: Karar vericilerin 2021 yılı sonrası katkı payı değişimi tahminleri.	113
Çizelge 7.8: Fotovoltaik güneş enerjisi yıllara göre değişen verim oranları.	114
Çizelge 7.9: Yıllara göre hesaplanan volatilité değerleri.	116
Çizelge 7.10: Yıllara göre sezgisel net bugünkü değerlerin beklenen değerleri.	118
Çizelge 7.11: Yıllara göre Carlsson ve Fuller'den esinlenilerek elde edilen sezgisel bulanık opsiyon değerlerinin beklenen değerleri.	119
Çizelge 7.12: Yıllara göre Carlsson ve Fuller'den esinlenilerek elde edilen sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerlerin beklenen değerleri.	120
Çizelge 7.13: Yıllara göre trinomial sezgisel bulanık reel opsiyon modelinden elde edilen sezgisel bulanık opsiyon değerlerinin beklenen değerleri.	122
Çizelge 7.14: Yıllara göre trinomial sezgisel bulanık reel opsiyon modelinden elde edilen sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerlerin beklenen değerleri.	123
Çizelge A.1: Ana kriterler için kullanılan anket formu.	138
Çizelge A.2: Talep kriteri için kullanılan anket formu.	139
Çizelge A.3: Arz kriteri için kullanılan anket formu.	140
Çizelge A.4: Büyüme oranı kriterine göre alternatiflerin 1-7 yıllık dönem için karşılaştırması.	141
Çizelge A.5: Büyüme oranı kriterine göre alternatiflerin 8-14 yıllık dönem için karşılaştırması.	142

Çizelge A.6: Büyüme oranı kriterine göre alternatiflerin 15-21 yıllık dönem için karşılaştırması.....	142
Çizelge A.7: Büyüme oranı kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.....	143
Çizelge A.8: Nüfus kriterine göre alternatiflerin 1-7 yıllık dönem için karşılaştırması.....	143
Çizelge A.9: Nüfus kriterine göre alternatiflerin 8-14 yıllık dönem için karşılaştırması.....	144
Çizelge A.10: Nüfus kriterine göre alternatiflerin 15-21 yıllık dönem için karşılaştırması.....	144
Çizelge A.11: Nüfus kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.....	145
Çizelge A.12: Kentselleşme kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.....	145
Çizelge A.13: Kentselleşme kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.....	146
Çizelge A.14: Kentselleşme kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.....	146
Çizelge A.15: Kentselleşme kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.....	147
Çizelge A.16: İklim kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması... ..	147
Çizelge A.17: İklim kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması..	148
Çizelge A.18: İklim kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.	148
Çizelge A.19: İklim kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.....	149
Çizelge A.20: Enerji verimliliği kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.....	149
Çizelge A.21: Enerji verimliliği kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.....	150
Çizelge A.22: Enerji verimliliği kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.....	150
Çizelge A.23: Enerji verimliliği kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.....	151
Çizelge A.24: Kömür fiyatları kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.....	151
Çizelge A.25: Kömür fiyatları kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.....	152
Çizelge A.26: Kömür fiyatları kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.....	152
Çizelge A.27: Kömür fiyatları kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.....	153
Çizelge A.28: Doğal gaz fiyatları kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.....	153
Çizelge A.29: Doğal gaz fiyatları kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.....	154
Çizelge A.30: Doğal gaz fiyatları kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.....	154
Çizelge A.31: Doğal gaz fiyatları kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.....	155

Çizelge A.32:	Döviz kuru kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.....	155
Çizelge A.33:	Döviz kuru kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.....	156
Çizelge A.34:	Döviz kuru kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.....	156
Çizelge A.35:	Döviz kuru kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.	157
Çizelge A.36:	Hidroloji kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.....	157
Çizelge A.37:	Hidroloji kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.....	158
Çizelge A.38:	Hidroloji kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.....	158
Çizelge A.39:	Hidroloji kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.....	159
Çizelge A.40:	Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.	159
Çizelge A.41:	Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.	160
Çizelge A.42:	Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.	160
Çizelge A.43:	Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.....	161
Çizelge A.44:	Düzenlemeler kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.....	161
Çizelge A.45:	Düzenlemeler kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.....	162
Çizelge A.46:	Düzenlemeler kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.....	162
Çizelge A.47:	Düzenlemeler kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.	163
Çizelge A.48:	Buckley AHP ile hesaplanan bulanık ağırlık değerleri.	163
Çizelge A.49:	Buckley AHP ile hesaplanan senaryoların final bulanık sayı değerleri.....	164
Çizelge B.1:	Elektrik fiyatlarının her bir yıl için piyasa değerleri (Avro/kWsa).....	165
Çizelge B.2:	Toplam yatırım maliyetleri ve devlet katkı payları (Avro).	166
Çizelge B.3:	İlk yılki elektrik üretim miktarları (kWsa).	167
Çizelge B.4:	Yatırım yıllarına göre ödenen toplam faiz miktarları (Avro).	168
Çizelge B.5:	Aylık ortalama elektrik fiyat verisi, Avro/TL kuru ve tarihsel volatilité hesabı.....	169
Çizelge C.1:	Son 1 senelik 10 senelik Türk Devlet tahvili alış yönlü faiz oranları.	171
Çizelge C.2:	BİST-100 endeksi günlük verileri.....	172
Çizelge C.3:	Farklı vadeli Eurobond alış yönlü faiz oranları.	174
Çizelge C.4:	BİST-100 enerji şirketi beta değerleri.....	175
Çizelge D.1:	Nakit akışlarının sezgisel bulanık ve normal bulanık bugünkü değerleri.....	176
Çizelge D.2:	Yatırım maliyetlerinin sezgisel bulanık ve normal bulanık değerleri.	177
Çizelge D.3:	Sezgisel bulanık ve normal bulanık net bugünkü değerler.....	178
Çizelge D.4:	Sezgisel bulanık reel opsiyon modeli hesaplanan ara değerler.	179

Çizelge D.5: Risk seven yatırımcılı model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler. ..	180
Çizelge D.6: Riskten kaçan yatırımcılı model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.	181
Çizelge D.7: Tarihsel volatiliteli model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.....	182
Çizelge D.8: Carlsson ve Fuller'e çevrilen model için bulanık reel opsiyon değerleri ve bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.....	183
Çizelge D.9: Sezgisel bulanık sayılarla oluşturulan trinomial reel opsiyon modelinin yıllara göre hesaplanan ara girdileri.	184
Çizelge D.10: Risk seven yatırımcılı trinomial model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.....	185
Çizelge D.11: Riskten kaçan yatırımcılı trinomial model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.....	186
Çizelge D.12: Tarihsel volatiliteli yatırımcılı trinomial model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.....	187
Çizelge D.13: Carlsson ve Fuller'e çevrilen trinomial model için bulanık reel opsiyon değerleri ve bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.	188

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Tek dönemli binomial opsiyon değerlendirme yapısı.....	31
Şekil 3.2: Çok dönemli binomial opsiyon değerlendirme yapısı.....	32
Şekil 3.3: Trinomial opsiyon değerlendirme modeli yapısı.....	34
Şekil 4.1: Üçgensel bulanık sayı.....	40
Şekil 4.2: Yamuk bulanık sayı.....	41
Şekil 4.3: Yamuk tipte sağ-sol bulanık sayı.....	42
Şekil 4.4: Tip-2 bulanık sayıların genel gösterimi.....	43
Şekil 4.5: Lee ve Chen'e göre tip-2 bulanık sayısı.....	43
Şekil 4.6: Shabani ve Jamkhaneh'a (2014) göre sezgisel bulanık sayı.....	46
Şekil 4.7: Shaw ve Roy'a (2012) göre sezgisel bulanık sayı.....	47
Şekil 4.8: En olabilir değerün üyelik derecesi 1 olan sezgisel bulanık bir sayı.....	48
Şekil 4.9: Ağırlık merkezi ile durulaştırma yöntemi.....	52
Şekil 4.10: Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma.....	53
Şekil 4.11: En büyük üyelik değeri-ortalama yöntemi ile durulaştırma.....	53
Şekil 4.12: Yükseklik yöntemi ile durulaştırma.....	54
Şekil 4.13: Toplamların ortası yöntemi ile durulaştırma.....	54
Şekil 4.14: En büyük alanın ortası yöntemi.....	55
Şekil 5.1: Tek dönemli binomial bulanık opsiyon fiyatlama yapısı.....	67
Şekil 5.2: Çok dönemli binomial bulanık opsiyon fiyatlama yapısı.....	68
Şekil 6.1: Fotovoltaik Sistem.....	80
Şekil 6.2: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA).....	81
Şekil 6.3: Türkiye radyasyon, güneşlenme süreleri ve fotovoltaik tipine göre üretilebilecek enerji.....	81
Şekil 6.4: Elazığ Lisanslı Güneş Enerji Santrali.....	82
Şekil 6.5: Soma Rüzgar Enerji Santrali.....	83
Şekil 6.6: London Array Offshore Wind Farm.....	84
Şekil 7.1: Nakit akışlarının sezgisel bulanık bugünkü değeri.....	98
Şekil 7.2: Yatırım maliyetinin sezgisel bulanık değeri.....	99
Şekil 7.3: Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri.....	100
Şekil 7.4: Trinomial Yaklaşımla Sezgisel Bulanık Reel Opsiyon Değerleme Şeması.....	102



SEZGİSEL BULANIK SAYILAR İLE REEL OPSİYON DEĞERLEMESİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIMI UYGULAMASI

ÖZET

Yatırım kararları günümüzde *Net Bugünkü Değer (NBD)*, *İç Verim Oranı*, *Modifiye Edilmiş İç Verim Oranı*, *Geri Ödeme Süresi*, *İskonto Edilmiş Geri Ödeme Süresi*, *Kârlılık Endeksi* gibi geleneksel yöntemlere göre değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmelerle günümüz için kârlı gözükmeyen projeler gerçekleştirilmemektedir. Ancak bu değerlendirme yöntemlerinin dar kapsamlı doğalarından ötürü projelerin gelecekte kârlılıklarının nasıl olacağı değerlendirilmemektedir. Reel opsiyonlar geleneksel yöntemlerin dar kapsamlı değerlendirme yapısını yönetsel esneklikler ile genişletmektedir. Dahası geleneksel yöntemler belirsizliğin yoğun olduğu yatırım ortamlarında bu belirsizliği değerlendirme sürecine yansıtamamaktadır. Reel opsiyonlar volatilité değişkeni ile yoğun belirsizlik içeren yatırım ortamlarının bilinmezliğini modelleyebilmektedirler.

Opsiyonlar Latince *optio* kökünden türeyen kişiye seçme hakkı veren anlaşmalardır. Tarihte Thales'in zeytin yağı presi makineleri üzerine hasat zamanı kiralama fikri ilk opsiyon anlaşmalarından biri olarak görülür. Günümüzde bu durum finansal opsiyonlar ile hem organize borsalarda hem de tezgah üstü piyasalarda işlem gören sözleşmeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Opsiyon sözleşmesi alıcısı için bir kullanım hakkı yaratıp zorunluluk içermezken, satıcısı için zorunluluk içermektedir. Opsiyon sözleşmeleri belirli bir tarihe kadar veya belirli bir tarihte belirli bir prim karşılığı kullanım hakkı vermektedir. Finansal opsiyonlar *emtia*, *ekonomik ya da finansal gösterge*, *döviz*, *sermaye piyasası aracı*, *kıymetli maden* üzerine yazılabilirler. Opsiyonlar hakkındaki temel kavramlar dayanak varlık, kullanım fiyatı, vade tarihi ve opsiyon primidir. Bir dayanak varlık için alma hakkı üzerine yazılan opsiyonlara alım opsiyonu, satma hakkı üzerine yazılan opsiyonlara ise satım opsiyonu denilir. Belirli bir tarihte geçerliliği olan opsiyonlara *Avrupa tipi*, belirli bir tarihe kadar geçerliliği olan opsiyonlara ise *Amerikan tipi* opsiyon denilir. Dayanak varlık piyasa fiyatının kullanım fiyatına göre pozisyonu ise opsiyonun kârlılığını belirler. Opsiyonun kârlılık durumuna göre *kârda opsiyonlar*, *baş baş opsiyonlar*, *zararda opsiyonlar* olarak isimlendirilir. Opsiyonların fiyatını ise *kullanım fiyatı*, *mevcut market fiyatı*, *dayanak varlık oynaklığı*, *gelecek temettülerin miktarı*, *vade tarihi ve risksiz faiz oranı* etkilemektedir.

Reel opsiyonlar, önceden bilinen belirli bir zaman için opsiyonlardaki kullanım fiyatına denk gelen maliyetlerde, gerçek yatırım projeleri için erteleme, vazgeçme, büyüme, değişiklik yapma, kademeli yatırım yapma gibi pozisyon alma hakkıdır. Tıpkı opsiyonlar gibi sahip olan için zorunluluk içermez. Finansal opsiyonlardaki mevcut market fiyatı yerine yatırımın nakit akışları kullanılır. Ayrıca finansal opsiyonlardaki dayanak varlığın standart sapmasının karşılığı reel opsiyonlarda nakit akışlarındaki belirsizliktir. Gerçek opsiyonlar ve finansal opsiyonlar aynı yöntemlerle değerlendirilebilir. Literatürde genellikle kullanılan yöntemler *Black & Scholes opsiyon fiyatlama modeli*, *binomial ve trinomial opsiyon fiyatlama modelleri* ve *Monte Carlo*

simülasyonu opsiyon fiyatlama modelidir. Bu modellerin temettü dağıtımını değişkeni içeren ve Amerikan tipi opsiyon değerlendirme türleri de literatürde yer almıştır. Ayrıca kafes opsiyon fiyatlama modellerinde dal sayısı artırıldığı zaman Black & Scholes modeline yakınsadığı görülmektedir.

Bulanık mantık ilk olarak 1965 yılında Zadeh tarafından önerilmiştir. Klasik mantığın cevap veremediği sorulara alternatif oluşturmak için önerilmiştir. Belirsiz durumların daha geniş bir perspektifte modellenmesini sağlamaktadır. Bu duruma olabirlik ifadesi ile çözüm getirmektedir. Üyelik fonksiyonu olabirlik kavramını ifade etmek için kullanılmaktadır. Bulanık bir kümenin bulanık bir sayı olabilmesi için kümenin konveks olması, üyelik fonksiyonunun üst yarıda ve sürekli olması, α kesiminin seti kapalı olması gerekmektedir. *Üçgensel bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar, sağ-sol bulanık sayılar* genel olarak bilinen tip-1 bulanık sayı çeşitleridir. 1975 yılında yine Zadeh tarafından iki üyelik fonksiyonunun arasını ifade eden tip-2 bulanık kümeler önerilmiştir.

Atanassov ise 1983 yılında bulanık sayılara tereddüt payını da ekleyerek sezgisel bulanık sayıları önermiştir. Böylelikle tip-1 bulanık sayıların yetersiz kaldığı ifadeler daha geniş kapsamda modellenebilmiştir. Bu sayılarda kümeye ait bir elemanın üyelik derecesi, üye olmama derecesi ve tereddüt payı bulunmaktadır ve üç değer toplamı 1'e eşit olmalıdır. Bulanık sayılarda geçiş işlemleri bir bulanık kümeden diğerine geçiş ve bulanık sayıların durulaştırılması olarak ikiye ayrılabilir. Bulanık sayıların durulaştırılarak klasik sayıya çevrilmesi için *ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, en büyük üyelik değeri-ortalaması yöntemi, toplamların ortası yöntemi veya en büyük alanın ortası yöntemi* kullanılabilir. Ayrıca bulanık veya sezgisel bulanık sayının beklenen değeri alınarak da durulaştırma yapılabilir.

Uzman görüşünün kullanılacağı durumlarda bulanık ve sezgisel bulanık *aritmetik, geometrik veya harmonik bütünleştirme işlemleri* uygulanır. Bulanık ortamda çoklu kriterlere bağlı karar verme süreçlerinde uzman görüşünden faydalanılmak için ise *bulanık analitik hiyerarşi prosesleri* kullanılır. *Buckley bulanık analitik hiyerarşi prosesi* ve *Chang'ın derece analizinin bulanık analitik hiyerarşi prosesi uygulaması* en çok kullanılan yöntemlerdir. Bulanık sayılarda reel opsiyon değerlemesi için ise Carlsson ve Fuller'in Black ve Scholes'un çalışmasından esinlenerek 2003 yılında önerdikleri bulanık reel opsiyon değerlendirme en çok kullanılan yöntemdir. Ayrıca bulanık sayılarla kafes reel opsiyon değerlendirme yöntemleri de sıkça kullanılmaktadır.

En basit haliyle iş yapabilme yeteneğine enerji denmektedir. *Kinetik enerji, potansiyel enerji, elektrik enerjisi, ısı enerjisi, kimyasal enerji, nükleer enerji, ışık enerjisi ve ses enerjisi* olmak üzere başlıca 8 adet enerji tipi vardır. Bu enerjilerin kullanımı ya direkt olarak ya da birbirine dönüştürülerek kullanılır. Dönüştürülebilirliklerine göre birincil enerji kaynakları *kömür, petrol, doğal gaz, nükleer, biyokütle, hidrolik, güneş, rüzgar, dalga enerjisiyken*, ikincil enerji kaynakları *elektrik, mazot, benzin, motorin, petrokok, kok, ikincil kömür, hava gazı, sıvılaştırılmış petrol gazıdır*. Sürdürülebilirliklerine göre enerji kaynakları ise fosil kaynaklı *kömür, petrol, doğal gaz, çekirdek kaynaklı uranyum, toryum* ve yenilenebilir enerji kaynakları *güneş, rüzgar, biyokütle, hidrolik, dalga, jeotermal ve hidrojen*dir. Yenilenebilir enerji temiz ve neredeyse sonsuz bir hammadde kaynağına sahip olmasından ve ayrıca dışa bağımlılığı azaltmasından dolayı günümüzde hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır. Özellikle güneş ve rüzgar enerjisi trendini her geçen gün artırmaktadır. Günümüzde güneş enerjisinden elektrik üretiminde en yüksek kapasiteye Çin, Japonya, Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri sahiptir.

Reel opsiyonlar sahip olduğu belirsizlik değişkeni ve yönetimsel esneklik seçenekleri ile klasik değerlendirme yöntemlerinden ayrılmaktadır. Reel opsiyon değerlemesinde en yaygın kullanılan yöntem Black ve Scholes'un modelidir. Bu çalışmada Black ve Scholes'un modelinden yola çıkarak bulanık reel opsiyon değerlendirme modeli öneren Carlsson ve Fuller'in çalışmasından esinlenerek sezgisel bulanık reel opsiyon değeri önerilmiştir. Sezgisel bulanık sayılar doğası gereği bulanık sayılara oranla daha fazla bilgi içermekte ve belirsizliği daha geniş kapsamda modelleyebilmektedir. İçerdiği tereddüt payı ile karar vericilerin yatırım projesi hakkında emin olamadıkları durumları da modele aktarabilmektedir. Reel opsiyonlarda yer alan ve belirsizliği içeren oynaklık değişkeni sezgisel bulanık modelde beklenen değerler üzerinden veya tarihsel volatiliteden hesaplanabildiği açıklanmıştır. Ayrıca modeldeki sezgisel bulanık ifadeler belli bir seviyeden sonra klasik bulanık sayılara çevrilerek Carlsson ve Fuller'in beklenen değer ve varyans hesabı ile de oynaklık oluşturulabileceği ve diğer yöntemlerle karşılaştırılabileceği de açıklanmıştır. Bu modellerin uygulanması için Türkiye'de lisanslı fotovoltaik güneş enerjisi sisteminden elektrik enerjisi elde etme yatırımı projesi seçilmiştir. Bunun en önemli nedeni yatırım ortamının bulunduğu yoğun bilinmezlik ortamı ve bu bilinmezlik ortamının sezgisel bulanık sayılar ile kapsayıcı bir şekilde modellenebileceğidir. Dahası sezgisel bulanık sayılarla modelleme ile uzman görüşü modele daha kolay aktarılabilir ve uzman görüşlerinin tereddütleri ve değer aralıkları modelde yer alabilecektir. Diğer taraftan bir diğer neden ise günümüz şartlarında kârlı gözükmeyen fotovoltaik güneş enerjisi yatırımı projesinin reel opsiyonlardaki erteleme seçeneği ile gelecekte kârlı bir şekilde yapılabileceğinin gösterilmek istenmesidir. Modelde elektrik fiyatları değişimi, alım garantisi fiyatları değişimi, verimlilik oranı, döviz kuru, yatırım maliyeti değişimi, devlet katkı payı, devlet katkı payı değişimi gibi değişkenler sezgisel bulanık sayı olarak kullanılmıştır. Ayrıca en kârlı yatırım yılları belirlenerek iki değerlendirme yöntemi için ve farklı oynaklık ifadeleri için değişiklik yaratıp yaratmadığı ortaya konmuştur.

Çok ölçütlü karar verme modelleri günümüzde pek çok çalışmada ya tek başına ya da başka bir modeli destekleyici karar verme mekanizması olarak kullanılmaktadır. Uzman görüşlerinin karar destek mekanizması olarak modele yardımcı olması istendiğinde ise bulanık analitik hiyerarşi prosesi karar vericilerin en çok tercih ettiği modellerdir. Çalışmada elektrik fiyatlarındaki değişimin gelecekte nasıl olabileceği ile ilgili uzman görüşünün yer aldığı çok ölçütlü karar verme modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Buckley'nin bulanık AHP yöntemi ile uzmanların belirlediği senaryo alternatifleri arasından belirli kriterlere göre gelecek elektrik senaryoları seçilmiştir. Bu kriterler *arz yönlü doğal gaz fiyatları, kömür fiyatları, döviz kuru, hidroloji, rüzgar, güneş vb. faktörler; talep yönlü büyüme oranı, nüfus, kentselleşme, iklim, enerji verimliliği ve düzenleme; teşviklerdir*. Diğer taraftan yatırım maliyetindeki değişimler, alım garantisi değişimi, devlete ödenen katkı payındaki değişiklikler için çoklu uzman görüşünü modele aktarmak amacıyla sezgisel bulanık sayılarda geometrik bütünleştirme işlemi uygulanmıştır.

Trigeorgis'e göre reel opsiyonlarda değerlendirme için ana kriter opsiyon değeri ile klasik net bugünkü değer toplamı olan *genişletilmiş net bugünkü değer* kullanılmalıdır. Buradan yola çıkılarak sezgisel bulanık reel opsiyon modelinde de ana kıyaslama kriteri olarak sezgisel bulanık reel opsiyon değeri ve sezgisel bulanık net bugünkü değer toplamı olan *genişletilmiş sezgisel bulanık net bugünkü değer* kullanılmıştır. Elde edilen genişletilmiş sezgisel bulanık net bugünkü değerlerin kıyaslanması için ise bu değerlerin beklenen değerleri alınmıştır.



REAL OPTION VALUATION WITH INTUITIONISTIC FUZZY NUMBERS AND ITS APPLICATION TO SOLAR ENERGY INVESTMENT

SUMMARY

Nowadays, investment decisions are evaluated according to traditional methods such as *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return*, *Modified Internal Rate of Return*, *Payback Period*, *Discounted Payback Period* and *Profitability Index*. Projects that do not appear profitable for the time being according to these assessments are not realized. However, the future profitability of projects cannot be evaluated because of the narrow scope of these valuation methods. Real options broaden the narrow-scoped structure of traditional valuation methods with managerial flexibilities. Furthermore, in investment environments with a high level of uncertainty, traditional methods are unable to project this uncertainty to the valuation process. Real options are able to model the ambiguity of investment environments with a high level of uncertainty using the volatility variable.

Options, derived from the Latin root *optio*, refer to agreements that give a person the right to choose. Thales' idea of renting olive oil presses for the harvest is considered one of the first option agreements in history. Today, these agreements manifest themselves as financial options, that is, the contracts traded both at organized exchanges and over-the-counter markets. While the options contract creates a right of usage for the buyer and contains no obligation, it includes an obligation for the seller. Options contracts provide a right of usage until a specific date or on a specific date and in exchange of a certain premium. Financial options may be written for *commodities*, *economic or financial indicators*, *foreign exchange*, *capital market instruments* and *precious metals*. The basic concepts about options are the underlying asset, strike price, maturity date and option premium. An options contract written for the right to buy an underlying asset is called a call option and the one for the right to sell is called a put option. The options contracts that can be exercised only on a specific date are called *European style* and the ones that can be exercised at any time until a specific date are called *American style*. The position of the market price of the underlying asset to the strike price determines the profitability of the option. Depending on their profitability, the options contracts are called *in-the-money options*, *options at break-even* and *out-of-the-money options*. *Strike price*, *market price*, *volatility of underlying security*, *future dividends*, *time to maturity* and *risk-free interest rate* affect option price.

Real options are the right to take positions such as postponement, abandonment, growth, change and gradual investment for real investment projects at the costs corresponding to the strike price in options for a predetermined period. Similar to the options, they do not include any obligation for the beneficiary. Instead of the current market price in the financial options, cash flows of the investment are used. In addition, the equivalent of the standard deviation of the underlying asset in the financial options is the uncertainty of the cash flows in the real options. The real

options and the financial options can be evaluated with the same methods. *Black & Scholes option pricing model, binomial and trinomial option pricing models and Monte Carlo simulation* are methods which are used generally in the literature. The literature includes types of these models that contain dividend distribution variable and American style options valuation. Furthermore, when the number of branches increases in the binomial option pricing models, a convergence to the Black–Scholes model is observed.

Fuzzy logic was first proposed by Zadeh in 1965 to provide an alternative to the questions that classical logic could not answer. It enables the modeling of uncertain situations with a wider perspective. It provides solutions to this situation with the expression of likelihood. The membership function is used to express the concept of likelihood. For a fuzzy set to be a fuzzy number, the cluster must be convex, the membership function must be in the upper half and be continuous, and the set of segment α must be closed. In general, *triangular fuzzy numbers, trapezoidal fuzzy numbers and right-left fuzzy numbers* are known as type-1 fuzzy number varieties. Moreover, in 1975, Zadeh proposed type-2 fuzzy clusters, which express the area between two membership functions.

In 1983, Atanassov proposed the intuitionistic fuzzy numbers by adding a degree of indeterminacy to fuzzy numbers. Thus, the expressions in which the type-1 fuzzy numbers were insufficient could be modeled in greater scope. In these numbers, an element belonging to the cluster has the membership degree, the degree of non-membership and the degree of indeterminacy, and the sum of the three values must be equal to 1. Transition operations in fuzzy numbers can be divided into two as a transition from one fuzzy set to another and defuzzification of fuzzy numbers. *Center of gravity, weighted average method, mean of maxima, center of sum, center of largest area* can be used for defuzzification of fuzzy numbers. Defuzzification can also be made by taking the expected value of the fuzzy or the intuitionistic fuzzy number.

Fuzzy and intuitionistic fuzzy *arithmetic, geometric or harmonic aggregation* operations are carried out in cases where expert opinion is used. *Fuzzy analytic hierarchy processes* are used to take advantage of expert opinion in decision-making processes based on multiple criteria in a fuzzy environment. *Buckley fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy analytic hierarchy process application of Chang's extent analysis* are the most commonly used methods. The fuzzy real options valuation, which was inspired by the work of Black and Scholes and was proposed by Carlsson and Fuller in 2003, is the most commonly used method. The methods of binomial real options valuation with fuzzy numbers are also used frequently.

In its simplest definition, energy is the capacity to perform work. There are mainly 8 types of energy including *kinetic energy, potential energy, electrical energy, heat energy, chemical energy, nuclear energy, light energy and sound energy*. These energies are utilized either directly or by conversion to each other. They are called primary energy sources, such as *coal, oil, natural gas, nuclear, biomass, hydraulic, solar, wind, wave energy*, or secondary energy sources, such as *electricity, diesel, petroleum, rural diesel, petroleum coke, coke, secondary coal, air gas, liquefied petroleum gas*, depending on their convertibility. According to their sustainability, they are grouped as fossil energy sources, such as *coal, petroleum, natural gas*, nuclear energy sources, such as *uranium, thorium*, and renewable energy sources, such as *solar, wind, biomass, hydraulic, wave, geothermal and hydrogen*. Since

renewable energy has a clean and almost endless supply of raw materials and reduces external dependence, it is rapidly becoming more widespread nowadays. In particular, the solar and wind energy are increasingly becoming popular. Today, China, Japan, Germany and the United States have the highest capacity in electricity generation from solar energy.

Real options differ from the classical valuation methods with their uncertainty variable and managerial flexibility options. The Black and Scholes model is the most commonly used method for real options valuation. In this study, an intuitionistic fuzzy real options model is proposed, inspired by the study of Carlsson and Fuller, who proposed a fuzzy real options valuation model based on the model of Black and Scholes. By their nature, intuitionistic fuzzy numbers contain more information than fuzzy numbers and can model uncertainty in a wider scope. They can transfer the situation, which the decision makers cannot be sure about the investment project, to the model with the degree of indeterminacy they contain. It has been explained that the volatility variable, which is present in real options and contains uncertainty, can be calculated from the expected values in the intuitionistic fuzzy model or from the historical volatility. In addition, it has been explained that by converting the intuitionistic fuzzy expressions in the model to classical fuzzy numbers after a certain level, volatility can be created with the expected value and variance calculation of Carlsson and Fuller; therefore, it can be compared with other methods. The investment project, which involves obtaining electrical energy from the photovoltaic solar energy system licensed in Turkey, has been selected for the implementation of these models. The most important reason for this selection is the fact that the investment project is in an environment with high uncertainty, which can be modeled comprehensively with intuitionistic fuzzy numbers. Furthermore, the expert opinion would be transferred more easily to the model with intuitionistic fuzzy numbers, and the indeterminacy of the expert opinions and value ranges would be present in the model. Another reason is the desire to show that the photovoltaic solar energy project investment, which does not appear to be profitable in today's conditions, can be realized profitably in the future with the postponement choice in the real options. Variables like electricity price change, feed-on-tariff changes, efficiency rate, exchange rate, investment cost change, government contribution margin, government contribution margin change are used as intuitionistic fuzzy number in the model. Additionally, the most profitable investment years were determined, and it was shown whether they created any variance for the two valuation methods and different volatility expressions.

The multi-criteria decision-making models are now used in many studies as either a stand-alone or decision-making support mechanism of another model. The fuzzy analytic hierarchy process is the most preferred model of decision makers when expert opinions are required to assist the model as a decision support mechanism. In this study, a multi-criteria decision-making model that includes expert opinion about how a change in electricity prices will be in the future is required. Using Buckley's fuzzy AHP method, future electricity scenarios were selected based on certain criteria among the scenario alternatives determined by the experts. These criteria are *supply-oriented natural gas prices, coal prices, exchange rate, hydrology, wind, solar etc.; demand-oriented growth rate, population, urbanization, climate, energy efficiency and regulation; incentives*. On the other hand, intuitionistic fuzzy numbers geometric aggregation process was applied to transfer multiple expert opinions to the

model for changes in investment cost, changes in purchase guarantee and changes in contribution paid to the state.

According to Trigeorgis, the *extended NPV*, which is the sum of the main criterion value and the classical NPV, should be used for the valuation of real options. Based on this, as the primary comparison criterion, *extended intuitionistic fuzzy NPV*, which is the sum of intuitionistic fuzzy real options value and intuitionistic fuzzy NPV, was used in the real options model. The expected values of these values are taken to compare the extended intuitionistic fuzzy net present values.



1. GİRİŞ

Günümüzde dünyanın küreselleşmesiyle birlikte uluslararası düzeyde toplumlar birbirine daha çok yaklaşmış, toplumların maddi ve manevi değerleri tüm dünyaya yayılmıştır. Küreselleşmenin sonucu olarak dünyada uluslararası ticaret hız kazanmış, sermaye daha hızlı dolaşmaya başlamış, ülkeler ve şirketler arası iş birliği artmıştır. Böylelikle teknoloji hız kazanmış, ülkelerin ve şirketlerin iş birliği ile bu teknolojilere bağlı ulusal ve uluslararası düzeyde pek çok yatırım fırsatı ortaya çıkmıştır. Daha çok yatırım teknolojik ilerleme ile birlikte artarak dünyanın ivmeli bir şekilde ilerlemesini ve gelişmesini sağlamıştır ve bu süreç devam etmektedir. Bu nedenle gelişen teknoloji, değişen dünya ve artan yatırım fırsatları ile yatırımcılar, şirketler, devletler, bireyler bu duruma veya yeni dünyaya sürekli uyum sağlamalı, değişen şartlara ayak uydurabilmeli ve geleneksel yapılarından ödün verebilmelidirler.

Bugün ortaya çıkan pek çok yatırım fırsatında devletlerin, yatırımcıların, şirketlerin, bireylerin (eğer kâr amacı gütmeyen yapıda değilse) ilk baktıkları nokta bu yatırımın kârlı bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmeyeceğidir. Bir yatırım fikri genel olarak değerlendirilirken geleneksel yöntemler kullanılır. “Net Bugünkü Değer (NBD)”, “İç Verim Oranı”, “Modifiye Edilmiş İç Verim Oranı”, “Geri Ödeme Süresi”, “İskonto Edilmiş Geri Ödeme Süresi”, “Kârlılık Endeksi” gibi geleneksel değerlendirme yöntemleri geçmişten günümüze kadar yaygın bir şekilde kullanılmıştır ve hala en çok tercih edilen yöntemler arasındadır. Bu yöntemler bir yatırım fikrinin o gün gerçekleşmesi halinde o yatırım fikrinin kârlı olup olmayacağı ile ilgilidir. Eğer bu yöntemlerin değerleri kendi mantığı için istenilen değeri verirse o yatırım fikri gerçekleşir. Aksi durumda ise bu yatırım fikri uygulanmaz ve rafa kaldırılır. Ancak kendi içinde çok mantıklı olan ve doğru uygulama alanı bulabilen geleneksel yöntemlerin önemli iki eksikliği mevcuttur ve bazı yatırım kararı değerlendirme süreçlerinde karar vericinin dar bir perspektiften değerlendirme yapmasına neden olur. Bu iki önemli eksikten biri yönetsel esneklikleri, diğeri ise belirsizlik kavramını içermemesidir.

Bu tezin ana konusu klasik yöntemlerle bugün için gerçekleştirilemeyen bir yatırım kararının reel opsiyon değerlemesi ile gelecekte kârlı bir şekilde yapılabileceğinin gösterilmesidir. Reel opsiyon değerlemesi finansal opsiyonlardan türemiş, gerçek yatırım projelerine uyarlanmış halidir. Latince “optare” sözcüğünden türetilen opsiyon sözcüğü Türkçede “seçenek” ve “bekletme süresi” anlamlarında kullanılır. Bu ifadelerden anlaşılacağı üzere opsiyonlar elinde bulunan kimseye seçme hakkı verir ve sahip olan kimseyi herhangi bir zorunlulukta bırakmaz. Finansal opsiyonlar tipine göre belirli bir tarihte veya belirli bir tarihe kadar geçerliliği olan, sahip olmak isteyen anlaşıma başında prim ödediği, çeşitli finansal varlıklar üzerine yazılan, satan tarafın anlaşma şartlarına uymakla zorunlu olduğu, alan taraf için ise seçim hakkı anlamına gelen anlaşmalardır. Opsiyon primi o finansal varlığın gelecekteki fiyatını ve zaman değerini göz önüne alarak belirlenen bugünkü başa baş noktasıdır. Alım opsiyonu sözleşme sonunda veya sözleşme süresince sözleşmeyi alan tarafa o finansal varlığı o fiyattan alma hakkı tanırken, satım opsiyonu ise alan tarafa o finansal varlığı o fiyattan satma imkanı tanır.

Finansal opsiyonlardan türetilen reel opsiyonların dayanak noktası fabrika, finansal kuruluş, gayrimenkul, hizmet sektörü yatırımı vb. gerçek yatırım projeleridir. Bu dayanak noktası finansal opsiyonların çeşitli finansal varlıklar üzerine yazılması ile benzerlik göstermektedir. Bu hakka sahip olan yatırımcılar bu yatırım fikrini ileride gerçekleştirme hakkına sahiptirler, ama bu durum onlar için zorunluluk değildir. Diğer taraftan bu yatırımın opsiyon primi yatırımcının aslında bu hakkı gelecekte kullanarak ne kadar kâr edebileceğini gösterecektir. Geleneksel yöntemlerin eksikliği olan yönetimsel esneklik ve belirsizlik kavramlarını içermemesi sorunu böylelikle reel opsiyonlar ile giderilmiş olacaktır. Reel opsiyonların doğasında olan erteleme, vazgeçme, büyüme gibi seçenekler yönetimsel esneklik sağlarken, opsiyon priminin hesaplanmasında kullanılan oynaklık değişkeni de değerlemenin belirsizlik ifadesini içermesini sağlayacaktır.

Bulanık mantık Zadeh tarafından 1965 yılında önerilmiştir. Zadeh Boolean mantıkta bir olgunun sadece 1 veya 0 olarak ifade edilebilmesinin yetersiz kaldığını öne sürerek bu olguların 1 veya 0 arasında da değer alabileceğini ve olabilirlik kavramı ile ifade edilebileceğini savunmuştur. Pek çok durumu ifade etmede klasik sayılar yeterli olmamaktadır. Riskin olduğu ve kesin bilginin elde edilemediği durumların, bilinmezlik durumlarının, uzman görüşüne ihtiyaç duyulan durumların ifadesinde

bulanık mantık araştırmacılara ve karar vericilere olguyu geniş ve kapsayıcı şekilde ifade etme imkanı vermiştir. Bu nedenle bilim dnyasında ve karar verme srecelelerinde başlarda çok fazla çalışmada ve projede kullanılmasa da günümüzde araştırmacılar ve karar vericiler tarafından çokça tercih edilmektedir. Reel opsiyonların bulanık mantık ile kullanılması fikri ise ilk olarak Carlsson ve Fuller tarafından 2003 yılında ne srlmştir. Carlsson ve Fuller Black ve Scholes'un önerdiği opsiyon değerleme modelinden yola çıkararak bulanık bir reel opsiyon modeli ortaya koymuşlardır. Carlsson ve Fuller nakit akışları ve maliyetin tek bir sayı olarak ifade edilemediği durumlarda bu değerşkenlerin bulanık sayı olarak ifade edilebileceğinden bahsetmişlerdir. Bunun haricinde bulanık mantık altında binomial ve trinomial reel opsiyon değerleme yöntemleri de pek çok çalışmada kullanılmıştır. Diğer taraftan binomial ve trinomial modellerdeki düğüm noktaları sayısı yeteri kadar artırılsa Black ve Scholes opsiyon değerleme modeline yakınsadığı görülmektedir.

Bu çalışmanın ana amacı Black ve Scholes'un opsiyon değerleme modelinden yola çıkararak sezgisel bulanık sayılar kullanılarak reel opsiyonlarla yatırım kararı değerleme modeli oluşturmaktır. Dahası kafes modellerinden trinomial opsiyon değerleme modeli de sezgisel bulanık sayılar ile modellenerek iki modelin karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Bu önerilecek modeller ise Türkiye'de fotovoltaik güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme tesisinin yatırım kararı için kullanılacaktır. Bugün için geleneksel yöntemlerle kârlı gözükmeyen yatırım kararı için reel opsiyonların yönetimsel esneklik özelliği olan erteleme seçeneği ile yatırım kararının gelecekte kârlı bir şekilde yapılabileceği gösterilecektir. Ayrıca reel opsiyonların içerdiği belirsizlik kavramı da değerleme modelinin içinde bulunacaktır. Dahası reel opsiyon değerleme modelinde sezgisel bulanık sayıların kullanılması yatırım ortamının sahip olduğu yoğun belirsizlik ortamını normal bulanık sayılara göre daha kapsayıcı ve daha açıklayıcı şekilde modelleyecektir. Ayrıca sezgisel bulanık sayıların sahip olduğu tereddüt kavramı da karar vericilerin ifadelerinin ve piyasa koşullarının daha fazla bilgi içerecek şekilde oluşturulmasını sağlayacaktır.

Reel opsiyonlarda belirsizlik ifadesi için volatilit değerşkeni kullanılmaktadır. Finansal opsiyonlarda volatilit dayanak varlığın tarihsel verilerinden hareketle elde edilebilirken, gerçek yatırım projelerinde bu değerşkenliğin nelerden kaynaklandığı soru işaretidir. Reel opsiyonlarda bu değerşkenlik yatırımın cinsine ve yatırım

ortamına göre değişebilir. Eğer bu değişkenlik ağırlıklı olarak tek bir parametreden etkileniyorsa ve bu parametrenin tarihsel verileri mevcutsa tarihsel oynaklık kullanılabilir. Ancak çoğu zaman nakit akışlarını belirleyen birden çok etken vardır. Bu nedenle Carlsson ve Fuller önerdikleri modelde bulanık nakit akışlarının varyansını kullanarak volatilité hesabına gitmişlerdir. Bu çalışmada dört adet volatilité kullanılacaktır. Bunlardan ilk ikisi sezgisel bulanık nakit akışlarının beklenen değer ifadesiyle frekanslı varyans hesabından yola çıkılarak hesaplanan volatilitedir. Riskten kaçan ve risk seven yatırımcılara göre beklenen değer ifadesinin ağırlıkları değişeceğinden iki farklı volatilité elde edilir. Üçüncüsü nakit akışlarının esas değişkenliğini belirleyen parametrenin elektrik fiyatları olacağı öngörüsüyle elektrik fiyatlarının tarihsel volatilitesi kullanılacaktır. Son olarak ise sezgisel bulanık nakit akışları normal tipte bulanık sayıya çevrilerek Carlsson ve Fuller'in bulanık sayıların varyans hesabı üzerinden elde edilecek volatilité kullanılacaktır. Böylelikle dört farklı volatilité hesabı birbiriyle karşılaştırılabilecektir.

Çalışmada ayrıca bazı değişkenlerin oluşturulmasında uzman görüşüne ihtiyaç vardır ve bu değişkenlerin oluşturulmasında çeşitli modellerden yararlanılacaktır. Elektrik fiyatlarının gelecekteki hareketinin tahmini için Buckley'nin bulanık AHP yöntemi kullanılacaktır. Alternatifler için uzman görüşüyle çeşitli senaryo alternatifleri oluşturulduktan sonra bu alternatifler arasından geleceğe dönük tahminler yapılacaktır. Diğer taraftan çoklu uzman görüşünün modelde değişkenlerde kullanılması için sezgisel bulanık bütünleştirme yöntemlerinden faydalanılacaktır. Buradaki amaç birden fazla uzman görüşünün modelde kullanılıp hata payının en aza indirilmesidir.

Bu tezin içeriğinde ise ilk olarak opsiyon teorisi anlatılacaktır. Opsiyonların ortaya çıkışı ve finansal opsiyonlara ait bilgiler verildikten sonra reel opsiyon teorisi ve reel opsiyon çeşitleri anlatılacaktır. Bir sonraki bölümde ise opsiyon değerleme modelleri anlatılacaktır. Daha sonra dördüncü bölümde bulanık küme ve bulanık mantık anlatılarak, sezgisel bulanık küme ve bu kümelerdeki işlemlerden bahsedilecektir. Ayrıca bulanık AHP yöntemleri de açıklanacaktır. Beşinci bölümde ise bulanık reel opsiyon modelleri açıklanarak literatürdeki çalışmalardan bilgiler verilecektir. Altıncı bölümde enerji ve elektrik kavramları açıklanarak dünya ve Türkiye piyasasından bilgiler verilecektir. Yedinci bölümde Black & Scholes'tan esinlenen sezgisel bulanık reel opsiyon değerleme modeli ve sezgisel bulanık sayılar

kullanılarak oluşturulan trinomial değerleme modeli açıklanacaktır. Daha sonra bu modeller ile Türkiye’de fotovoltaik güneş enerjisinden elektrik üretimi tesisi projesi değerlemesi yapılacaktır. Klasik yöntemlerle reddedilen bir projenin gelecekte kârlı bir şekilde yapılabileceği ve ayrıca yatırımın gelecekte hangi yıl reelize edilmesinin maksimum kâr getireceği gösterilecektir. Son bölümde ise sonuçlar tartışılacak ve bu çalışmanın gelecekte nasıl geliştirilebileceğinden bahsedilecektir.





2. OPSİYON TEORİSİ

Bu başlık altında ilk önce opsiyonların ortaya çıkışından bahsedilecek ve tarih boyu nasıl kullanıldığından örnekler verilecektir. Ayrıca opsiyonların Türkiye’deki gelişiminden de bahsedilecektir. Daha sonra finansal opsiyonlar, finansal opsiyonlar ile ilgili kavramlar, kontrat koşulları veya durumuna göre opsiyonlar, reel opsiyonlar ve reel opsiyonların finansal opsiyonlar ile benzerlik ve farklılıkları açıklanacaktır.

2.1 Opsiyonların Tarihçesi

Opsiyon kelimesi köken olarak Latince’dir ve seçmek anlamında “optio” ve seçmek anlamında “optare” sözcüklerinden türetilmiştir. Opsiyon yukarıdaki tanımlamalardan da anlaşılacağı gibi bu hakkı sahip olana seçme şansı verir ve bu hakkı uygulama konusunda her hangi bir zorunluluğu yoktur. Bu hakkı karşı tarafa veren ise alan tarafın seçme hakkına uymak zorundadır.

Chance (2008) makalesinde İncil’e atıfta bulunarak ilk opsiyonların Jacob ve Laban arasındaki anlaşmadan ortaya çıktığından bahsetmektedir. Bu anlaşmaya göre Jacob Laban’ın kızlarından Rachel’le evlenme karşılığında 7 yıl çalışmayı kabul eder. Ancak Laban anlaşmayı bozup, en çirkin ve yaşlı kızıyla evlenmesini ister. Ama daha sonra Jacob’un karşısına ek 7 sene daha çalışıp Rachel ile evlenme opsiyonu çıkar ve Jacob bunu kabul eder. Bir başka görüşe göre Brach (2003) çalışmasında opsiyonların ilk olarak Fırat nehri çevresindeki Mari şehrinde yapılan kazılar sonucu ulaşılan bazı tabletlerde, o çevrede M.Ö 1800-1500 yılları civarı vadeli işlem ve opsiyon sözleşmeleri yer aldığından bahsetse de, paranın bulunmasından sonra Thales’in zeytin yağı presi makineleri üzerine yaptığı anlaşmaların opsiyonlama düşüncesinin ilk örneklerinden olduğu kabul edilir. Thales hasattan 9 ay kadar zaman önce, zeytin yağı presi makinelerini hasat zamanı için belirli bir ücretten kiralama hakkını çok az bir ücret için satın alır. Thales astronomi üzerine olan bilgilerini zeytin verimliliği üzerine yorumlayarak verimin artacağını düşünerek bu anlaşmaları yapmıştır ve verimin yüksek olmasıyla hasat zamanı zeytin yağı makinelerini yüksek

fiyattan kiraya vermiştir. Eğer verim yüksek olmasaydı zararı sadece anlaşma başında verdiği çok az ücret olacaktı.

1600 yılları civarı Japonya’da pirinç üzerine yazılmış opsiyonların bulunduğu bahsetmektedir. Japonya’daki soylular ve tüccarlar hasat zamanı gelince pirinci belirli bir fiyattan alma hakkına sahip oldukları sözleşmelerden alırlardı. Ayrıca bu sözleşmelerin değış tokuşunun da yapılabildiğı bir pazar olduğundan ve pirinci alım hakkının el değıştirebildiğinden bahsetmektedir.

17. yüzyılda ise lale soğanlarının verimlilik değışimlerinin neden olduğu alım opsiyon hakları lale opsiyonlarının doğmasında neden olmuştur. Hollanda’da ortaya çıkan lale opsiyonları hasadın bolluğuna göre fiyatlanmaktaydı. Önceden alım hakkı alan tüccarlar hasadın verimsiz olduğu dönemlerde yüksek kârlar elde etmekteydiler (Tolga, 2009; Brach, 2003).

Chance’a (2008) göre Amerika vadeli işlem tarihindeki en önemli olay 1848’de Chicago Ticaret Borsası’nın açılmış olmasıdır. Chicago satış, dağıtım ve depolama kriterleri açısından en uygun yer olduğu için buğdayın orta batıda ana merkezi olmuştur. Bu dönemde buğdayın sert düşüş ve yükselişleri yüzünden buğday üzerine anlaşmalar yapılmaktaydı. Ayrıca 1865 yılları civarı bu piyasada işlem gören kontratlar standartlaştırılmıştır. Modern anlamda ise ilk kez 1973 yılında, opsiyon kontratları tezgah üstü pazar kategorisinden çıkıp, Chicago Ticaret Borsası’nın kurduğu Chicago Opsiyon Borsası’nda organize olarak işlem görmeye başlamıştır.

Türkiye’de ise opsiyonların düzenli piyasalarda kullanılması çok daha yakın tarihe dayanmaktadır. İlk olarak Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası (VOB) adı altında Sermaye Piyasası Kanununa göre bakanlar kurulu kararı ile 2001 yılında kurulmuştur. İlk özel borsa kuruluşu olan VOB 2002 yılında Ticaret Sicili Gazetesinde tescili yayımlanmıştır. Böylece, vadeli işlem sözleşmeleri İzmir’de kurulan VOB’da 2005 yılından beri işlem görmektedir. Borsa İstanbul’un Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasası’nı kılavuzundaki açıklamaya göre Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasası (VİOP) 21 Aralık 2012 tarihinde işleme başlamıştır. 3 Mayıs 2013 tarihine kadar Borsa İstanbul VOB’un tüm hisselerini toplayarak borsanın tek sahibi olduktan sonra 5 Ağustos 2013 tarihinde VOB ve VİOP’u birleştirerek VOB’un tüm hisselerini VİOP’a kaydırmıştır. Böylelikle, bu birleşme tarihinden sonra

Türkiye’deki vadeli işlem ve opsiyon sözleşmelerinin hepsi VİOP adı altında yalnızca tek bir merkezde işlem görmektedir.

2.2 Finansal Opsiyonlar

Sermaye Piyasası Kurumu Vadeli İşlem ve Opsiyon Sözleşmelerinde opsiyonlar için tipine göre ya belli tarihe kadar ya da belli bir tarihte alan taraf için kullanılabilirliği olan, bunun için vadenin başında belli bir prim ödenen, emtia, döviz, sermaye piyasası aracı, ekonomik ya da finansal gösterge, kıymetli maden üzerine yazılıp alma ya da satma seçeneği veren, satan tarafın bu şartlara uymakla yükümlü olduğu sözleşmelerdir tanımı yapılmaktadır (2007).

Vadeli işlem sözleşmeleri ile opsiyonlar arasındaki en temel farklardan biri opsiyonların her hangi bir zorunluluk içermemesidir. Opsiyona sahip olan taraf finansal olarak kendi avantajına olmayan bir seçeneği uygulamaz. Zorunluluk durumundan başka, vadeli işlem sözleşmelerini almak için belli bir bedel ödeme yükümlülüğü yokken opsiyon sözleşmelerini belli bir prim karşılığı satın alınır (Tolga, 2009).

Finansal opsiyonlarda üzerine sözleşme yazılan dayanak varlık, sözleşmenin vadesi, vade boyunca veya sonunda bir kullanım fiyatı, sözleşmeyi satın almak için bir opsiyon primi opsiyonları anlamak için temel kavramlardır. Bunun dışında opsiyonları alma ya da satma hakkı alınmasına göre, vade sonunda veya vade boyunca kullanım hakkına göre, mevcut durum kârlılığına göre, sözleşmenin üzerine yazıldığı varlığa göre sınıflamak mümkündür. Bu bölümde tüm bunların açıklamasıyla birlikte opsiyon fiyatını etkileyen unsurlar da açıklanacaktır.

2.2.1 Opsiyonlar hakkında temel kavramlar

2.2.1.1 Dayanak varlık

Opsiyon sözleşmelerine konu olan ve üzerine anlaşma yapılan somut veya soyut kavramdır. Opsiyon sözleşmeleri için hisse senedi, döviz, endeks ve vadeli işlem sözleşmeleri en çok kullanılan dayanak varlıklardır (Hull, 2009). Kaynakta dayanak varlık başlığı altında bahsedilmese de emtialar da en yaygın opsiyon çeşitlerindedir. Ayrıca Borsa İstanbul’un Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasa’sı kılavuzundaki açıklamaya göre dayanak varlığın somut bir varlık olmayabileceğinden bahsedilerek,

hava durumu gibi bir göstergenin bile dayanak varlık olarak gösterilebileceği söylenmiştir.

2.2.1.2 Opsiyon vade tarihi

Opsiyon sözleşmesinin kullanım hakkının bittiğini gösteren tarihtir (Hull, 2009). Diğer bir tip opsiyon çeşidinde ise işlemin gerçekleşmesi gereken tarihi göstermektedir.

2.2.1.3 Kullanım fiyatı

Sözleşmeyi satın alan tarafın dayanak varlığı vade tarihinde veya vade tarihine kadar alma ya da satma hakkına sahip olduğu, satan tarafın ise uymak zorunda olduğu fiyattır (Tekbacak, 2010).

2.2.1.4 Opsiyon primi

Dayanak varlık üzerine yazılan alma ya da satma hakkına sahip olmak için sözleşmeyi alan tarafın, sözleşmeyi satan tarafa anlaşma başında ödediği bedeldir (Tekbacak, 2010). Günümüzde opsiyon sözleşmelerinin alış verişinin yapıldığı piyasalarda, opsiyon fiyatı veya primi dayanak varlık gelecek hareketi tahminlerine göre belirlenmekte ve el değiştirmektedir.

2.2.2 Alma ya da satma hakkın açısından opsiyonlar

2.2.2.1 Alım opsiyonları (Call options)

Opsiyonu alan tarafa bir dayanak varlığı belirli bir tarihte belirli bir fiyattan alma hakkı veren anlaşmalara alım opsiyonu adı verilir. Bazı tip sözleşmelerde anlaşma vade tarihine kadar kullanılabilir (Hull, 2009). Ayrıca bu hakkı almak için anlaşma başında bir ödeme de yapılmalıdır.

Opsiyon hakkını elinde bulunduran kişi vade tarihinde veya vade tarihine kadar, kârlı olduğunu veya zararını azaltabileceğini düşündüğü durumlarda bu hakkını uygular. Vade tarihinde uygulama hakkı veren opsiyonlar için bu durum bir örnekle açıklanabilir. Örneğin şimdiki piyasa değeri 5 TL olan dayanak varlık üzerine, vade bitim tarihi olan 6 ay sonraki kullanım fiyatı 5,5 TL olarak belirlenen bir opsiyon alım anlaşması yapılmıştır. Bu sözleşmeden tanesi 0,4 TL'den olmak üzere 1000 tane alan kişi vade bitim tarihinde dayanak varlığın piyasa fiyatına göre bu hakkını

kullanacak veya bu hakkından vazgeçecektir. Eğer kullanım tarihinde dayanak varlık 6 TL olursa, sözleşme sahibi bu hakkını kullanarak 500 TL gelir elde edecek ve opsiyon primi de düşünülürse 100 TL kâr etmiş olacaktır. Vade bitim tarihinde 5,5 TL ve altındaki bir piyasa değerinde sözleşme sahibinin zararını sabit tutup veya artıracığı için tercih edilemeyecektir. Ancak 5,5 TL ve 5,9 TL arası piyasa değerleri zararının azalmasına yardımcı olacağı için sözleşme sahibi bu hakkını uygulayacaktır.

2.2.2.2 Satım opsiyonları (Put options)

Opsiyonu alan tarafa bir dayanak varlığı belirli bir tarihte belirli bir fiyattan satma hakkı veren anlaşmalara satım opsiyonu adı verilir. Bazı tip sözleşmelerde anlaşma vade tarihine kadar kullanılabilir (Hull, 2009). Sözleşme sahibi satma hakkını uygulamak için sözleşme başında çeşitli değerlendirme yöntemlerine göre hesaplanan bir bedeli bu hakkı veren ve uygulamak zorunda olan tarafa vermelidir.

Satma hakkına sahip olan tarafın sadece vade tarihinde uygulanabilen opsiyon tipindeki sözleşmeler için bu hakkı hangi durumlarda kullanmak isteyeceği bir örnekle açıklanabilir. Bugünkü piyasa değeri 10 TL olan dayanak varlık üzerine, vade bitim tarihi olan 6 ay sonraki kullanım fiyatı 9,5 TL olarak belirlenen bir opsiyon satım anlaşması yapılmıştır. Bu sözleşmeden tanesi 0,3 TL'den olmak üzere 1000 tane alan kişi vade bitim tarihinde dayanak varlığın piyasa fiyatına göre bu hakkını kullanacak veya bu hakkından vazgeçecektir. Eğer kullanım tarihinde dayanak varlık 9 TL olursa, sözleşme sahibi bu hakkını kullanarak 500 TL gelir elde edecek ve opsiyon primi de düşünülürse 200 TL kâr etmiş olacaktır. Vade bitim tarihinde 9,5 TL ve üzerinde bir piyasa değerinde sözleşme sahibinin zararını sabit tutup veya artıracığı için tercih edilemeyecektir. Ancak 9,2 TL ve 9,5 TL arası piyasa değerleri zararının azalmasına yardımcı olacağı için sözleşme sahibi bu hakkını uygulayacaktır.

2.2.3 Vadelerine göre opsiyonlar

2.2.3.1 Avrupa tipi opsiyonlar

Sözleşmeye konu olan dayanak varlığın sadece sözleşmede yazan tarihte alım veya satımının yapılabildiği tipte sözleşmelerdir (Dubofsky, 1992). Günümüzde bu

tarihteki alım veya satım neredeyse tamamen fiziksel teslimden çok nakdi olarak yapılmaktadır.

2.2.3.2 Amerikan tipi opsiyonlar

Bu tip opsiyonlarda sözleşmenin dayanak varlığı üzerinden sözleşme alıcısına verilen hak bitiş tarihine kadar her hangi bir zamanda uygulanabilir (Dubofsky, 1992).

Amerikan tipi opsiyonlar alıcısına sözleşme bitiş tarihine kadar uygulama hakkı verdiği için doğru yatırımcı kararı ile bu süre içinde sözleşme bitiş tarihindeki duruma göre daha yüksek kâr sağlayabilir. Bu nedenle Amerikan tipi opsiyonların primi daha yüksektir (Hull, 2005).

2.2.4 Kâr durumlarına göre opsiyon türleri

2.2.4.1 Kârda Opsiyonlar (In the money options)

Alım opsiyonlarında dayanak varlığın kullanım fiyatı piyasa fiyatından düşük, satım opsiyonlarında ise dayanak varlığın kullanım fiyatı piyasa fiyatından yüksek olduğu durumdaki opsiyonlara kârda opsiyonlar denmektedir (Hull, 2005).

Tanımda opsiyon priminden bahsedilmese de alıcı için alım opsiyonları için kullanım fiyatı opsiyon priminin toplamı piyasa fiyatından düşük, satım opsiyonlarında ise kullanım fiyatı opsiyon primi farkı piyasa fiyatından yüksek olduğu durumlar esas olarak kârlılığı ifade etmektedir.

2.2.4.2 Başa baş opsiyonlar (At the money options)

Dayanak varlığın kullanım fiyatı ile piyasa fiyatının eşit olduğu alım veya satım opsiyonlarına kârlılık durumları açısından başa baş opsiyonlar olarak isimlendirilmektedir (Hull, 2005).

Gerçek hayatta opsiyon primi de hesaba katılabilir. Bu durumda, alım opsiyonu alıcısı için kullanım fiyatı opsiyon primi toplamının piyasa fiyatına eşit olması, satım opsiyonu alıcısı için kullanım fiyatı opsiyon primi farkı piyasa fiyatına eşit olması durumları kârlılığın başa baş olmasını ifade eder.

2.2.4.3 Zararda opsiyonlar (Out of the money options)

Alım opsiyonlarında dayanak varlığın piyasa fiyatı kullanım fiyatından düşük, satım opsiyonlarında ise dayanak varlığın piyasa fiyatı kullanım fiyatından yüksek olduğu zaman opsiyon zararda olarak ifade edilir (Hull, 2005).

Opsiyon priminin hesaba katıldığı durumlarda alım opsiyonu alıcısı kullanım fiyatı opsiyon primi toplamının piyasa fiyatından yüksek, satım opsiyonu alıcısı kullanım fiyatı opsiyon primi farkı piyasa fiyatından düşük olduğu durumlarda zarar etmektedir.

2.2.5 Dayanak varlığa göre opsiyon sözleşmeleri

2.2.5.1 Endeks opsiyonları

Belirli endeksler üzerine yazılan opsiyon sözleşmelerinde Dow Jones Endüstri Endeksi (DJX), Nasdaq 100 Endeksi (NDX), S&P 500 Endeksi (SPX) ve S&P 100 Endeksi (OEX) Amerika'daki en popüler dayanak varlıklardır ve Chicago Opsiyon Borsası'nda işlem görmektedirler (Hull, 2009).

Türkiye'de Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası'nda ise BIST 30 Fiyat Endeksi ise endeks ve mini endeks opsiyon sözleşmelerinde dayanak varlık olarak kullanılmaktadır.

2.2.5.2 Hisse senedi opsiyonları

Dünyada bir çok hisse senedi üzerine yazılmış opsiyon kontratları bulunmasına rağmen Türkiye'de uygulanmaya yeni başlanmış olup pay senetleri adı altında 19 hisse senedi için yazılmıştır. VIOP'taki hisse senedi opsiyonları dayanak varlıklarından bazıları Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş., Türkiye İş Bankası A.Ş., Türk Hava Yolları A.O., Tüpraş Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş. olarak sayılabilir.

2.2.5.3 Döviz opsiyonları

Döviz üzerine yazılmış opsiyonların büyük bir kısmı tezgah üstü piyasalarda işlem görse de döviz değiş tokuşunun organize bir piyasa da yapılabildiği yerler de mevcuttur ve Amerika'da ana merkez olarak Philadelphia Stock Exchange kullanılmaktadır.

Türkiye de ise Dolar-TL opsiyon sözleşmeleri organize piyasa olan VİOP' ta işlem görmektedir. Bunun yanı sıra birçok şirket yaptığı uluslararası alım satımlarda döviz üzerine anlaşma yaparak riskten korunmaya veya daha kârlı bir iş yapmaya çalışmaktadırlar.

2.2.5.4 Emtia opsiyonları

Opsiyonların ilk çıkışından beri fiziksel bir varlık üzerine yapılan anlaşmalar en çok kullanılan opsiyon çeşitlerinden olmuştur. Opsiyonların tarihinden bahsedilirken anlatılan zeytin yağı presi makineleri, pirinç ve lale soğanı üzerine yapılan opsiyon anlaşmaları opsiyon tarihinden en belirgin örneklerdir. Günümüzde organize veya tezgah üstü olarak pamuktan buğdaya, altından gümüşe bir çok fiziksel varlık üzerine opsiyon anlaşması yapılabilmektedir.

Türkiye'de ise emtia opsiyonları olmamasına rağmen Ege Pamuk ve Anadolu Kırmızı Buğday üzerine yazılmış vadeli işlem sözleşmeleri VİOP'ta işlem görmektedir.

2.2.5.5 Vadeli işlem opsiyon sözleşmeleri

Vadeli işlem opsiyon sözleşmeleri gelecek bir tarihte belli bir fiyattan vadeli işlem sözleşmesine girme hakkını alan tarafa uygulama zorunluluğu olmadan verir. Genellikle vade tarihine kadar kullanım hakkının verildiği Amerikan tipi opsiyonlardır. Bir çok vadeli işlem sözleşmesi üzerine yazıldığı gibi Amerika'da hazine tahvili vadeli işlem sözleşmeleri, hazine bonusu vadeli işlem sözleşmeleri, Eurodolar vadeli işlem sözleşmeleri üzerine yazılmış opsiyon sözleşmeleri en yaygın kullanılan vadeli işlem opsiyon sözleşmeleridir (Hull, 2009).

2.2.6 Opsiyon fiyatını etkileyen unsurlar

Hull'a (2009) göre opsiyon fiyatlarını etkileyen unsurlar 6 başlıkta toplanabilir:

- Kullanım fiyatı
- Mevcut market fiyatı
- Dayanak varlık oynaklığı
- Gelecek temettülerin miktarı
- Vade tarihi (kullanım hakkının bitmesine kalan süre)
- Risksiz faiz oranı

Çizelge 2.1.'de bu unsurların opsiyon değerine etkisi özet halinde verilirken, daha sonraki başlıklarda ise bu unsurların opsiyon değerini nasıl ve ne yönde etkilediği açıklanmıştır.

Çizelge 2.1: Opsiyon fiyatlarını etkileyen unsurların özet etki tablosu.

Değişken	Avrupa tipi		Amerikan tipi	
	alım	satım	alım	satım
Kullanım Fiyatı	-	+	-	+
Market Fiyatı	+	-	+	-
Oynaklık	+	+	+	+
Temettü	-	+	-	+
Vade Tarihi	?	+	+	+
Risksiz Faiz	+	-	+	-
Oranı				

- (+) opsiyon fiyatını artıran değişken, (-) opsiyon fiyatını azaltan değişken, (?) opsiyon fiyatı üzerinde etkisinin bilinmediği değişken

2.2.6.1 Kullanım fiyatı

Alım opsiyonlarında opsiyon fiyatı market fiyatından kullanım fiyatının, satım opsiyonlarından opsiyon fiyatı kullanım fiyatından market fiyatının çıkarılmasıyla elde edildiği için alım opsiyonlarının fiyatı kullanım fiyatı ile ters, satım opsiyonlarının fiyatı kullanım fiyatı ile doğru orantılıdır (Hull, 2009).

2.2.6.2 Mevcut market fiyatı

Alım opsiyonlarında opsiyon fiyatı market fiyatından kullanım fiyatının, satım opsiyonlarından opsiyon fiyatı kullanım fiyatından market fiyatının çıkarılmasıyla elde edildiği için alım opsiyonlarının fiyatı market fiyatı ile doğru, satım opsiyonlarının fiyatı market fiyatı ile ters orantılıdır (Hull, 2009).

2.2.6.3 Dayanak varlık oynaklığı

Bir hisse senedi için düşünüldüğünde; bu hisse senedinin gelecek fiyat hareketlerinin ne kadar belirsiz olabileceğinin ölçüsüne o hisse senedinin oynaklığı denmektedir. Oynaklık arttığı zaman bu hisse senedinin aşağı ve yukarı yönlü hareketi daha şiddetli olacaktır.

Alım opsiyonunda yukarı yönlü şiddetli hareketler opsiyon değerini artırırken, aşağı yönlü şiddetli hareketler opsiyon sahibinin gerçekleştirme hakkını kullanmayacağından opsiyon değerini düşürmeyecektir. Çünkü alıcının en büyük riski opsiyon primi kadardır. Satım opsiyonlarında ise aşağı yönlü şiddetli hareketler opsiyon değerini artırırken, yukarı yönlü şiddetli hareketler kâr zarar durumunda değişikliği yol açmaz. Bu sebeplerden dolayı oynaklık arttıkça opsiyon değeri de artmaktadır (Hull, 2009).

2.2.6.4 Gelecek temettülerin miktarı

Hisse senetlerini düşündüğümüzde temettü dağıtılması hisse senedinin değerini düşüreceğinden alım opsiyonlarında opsiyon değerini düşürürken, satım opsiyonlarında opsiyon değerini artırmaktadır (Hull, 2009).

2.2.6.5 Vade tarihi (kullanım hakkının bitmesine kalan süre)

Vade tarihinin uzunluğu opsiyonun değerini opsiyonun Amerikan tipi veya Avrupa tipi olmasına göre farklı senaryolarda etkilemektedir. Amerikan tipi alım ve satım opsiyonlarında opsiyon tarihinin uzun olması tüm gerçekleştirme seçeneklerinin daha fazla olmasını sağlamaktadır. Verilen daha fazla seçenek nedeniyle Amerikan tipi opsiyonlarda vade tarihi uzadıkça opsiyonun değeri de artmaktadır.

Avrupa tipi alım ve satım opsiyonlarında da genellikle vade tarihi uzadıkça opsiyonun değeri artmaktadır. Ancak vade tarihinin uzaması yüklü temettü dağıtım riskini de artırabileceği için opsiyon değeri konusunda soru işareti yaratmaktadır. 2 aylık ve 4 aylık diğer verileri sabit 2 tane Avrupa tipi alım opsiyonunu düşündüğümüzde, eğer 3. ayda yüklü bir temettü dağıtım olacaksa opsiyonun değerinin düşmesine neden olacaktır (Hull, 2009).

Ancak yazarın atladığı Avrupa tipi satım opsiyonlarıdır. Bu tip opsiyonların değeri temettü dağıtım ile pozitif ilişkili olduğu için vade tarihinin uzamasıyla temettü dağıtım ihtimali opsiyon değerinde artışa neden olacaktır.

Diğer bir bakış açısıyla vade tarihi uzadıkça bilinmezlik ve buna bağlı olarak oynaklık artacağı için volatilitenin bazında pozitif bir katkısı olacağından bahsedilebilir.

2.2.6.6 Risksiz faiz oranı

Hull'a (2009) göre opsiyon fiyatı risksiz faiz oranını doğrudan değil dolaylı olarak etkilemektedir. Risksiz faiz oranının artması, yatırımcıların hisse senedinden istedikleri beklenen getiri oranını artıracaktır. Ayrıca hem Hull'a (2009) hem de Mishira'ya (2007) göre opsiyon sahibinin kullanım hakkı olan fiyatın bugünkü değeri azalacaktır. Böylelikle opsiyon dayanak varlığının market fiyatı artarken, kullanım fiyatı azalacak ve bu durumda alım opsiyonu değeri artarken satım opsiyonu değeri ise düşecektir.

Diğer taraftan dayanak varlığın nakit akışlarının nasıl sermaye yapısı ile karşılandığı da bazı durumlarda etkisinin tartışılmasına neden olabilir. Risksiz faiz oranının artması borçlanma maliyetini artırıp nakit akışlarının düşmesine neden olabilecek bir faktördür. Ayrıca CAPM'e göre o hisse senedinin betası bilinmeden risksiz faiz oranının yatırımcıların istedikleri beklenen getiri oranına etkisi bilinemez.

2.3 Reel Opsiyonlar

Önceden belirlenmiş bir zaman için ve o zamandaki opsiyonlardaki kullanım fiyatına denk gelen yatırım maliyetlerinde, bir yatırım projesi için erteleme, küçültme, genişletme veya bırakma seçeneği hakkına reel opsiyon denir (Copeland ve Antikarov, 2001).

Reel opsiyonlar geleneksel yöntemlerin statikliğini günümüz ve gelecek kararlarında esneklik sağlayıp, bu kararlara alternatif yaratarak dinamikleştiren bir yatırım kararı sürecidir (Yıldırım, 2007).

Aslında reel opsiyonların yatırım kararlarında kullanılma mantığı, günlük yaşamda bireyler tarafından sıkça kullanılabilir. Söz gelimi bir tüccar önümüzdeki sene zeytin yağı verimliliğinin çok yüksek olacağını ve kârlılıkların düşeceğini öngörerek zeytin yağı işini terk edebilir. Ya da bir birey araba alımı sırasında ileriki bir tarihte vergi avantajı olacağı ve döviz kurunun düşeceği bilgisiyle bu alımı ileri bir tarihte erteleyebilir.

Opsiyonları yatırımlarda kullanma fikrini ilk olarak 1930 civarında Tyron Fisher yazarken, Stewart Myers 1977 yılında "real options" sözcüğünü oluşturarak literatürde yer almasını sağlamıştır. Daha sonraları reel opsiyon teorisini kitaplaştıran Trigeorgis (1993) yönetimsel esnekliklerin yatırım kararları için öneminden

bahsetmiştir. Luehrman (1998) projedeki bazı stratejik bileşenlerin önemli bir öğrenme etkisi yaratıp ve belirsizliği azaltarak projelerde erteleme, değiştirme ve terk etme seçeneklerini sık sık mümkün kılabileninden bahsetmiştir. Dixit ve Pindyck (1995) ve Amram ve Kulatilaka (1999) gerçek yatırım projelerindeki belirsizliklerin reel opsiyon teorisi ile modellenebileceğini savunmuşlardır.

2.3.1 Reel opsiyonlar ve geleneksel proje değerlendirme yöntemleri arasındaki farklar

Geleneksel yöntemlerin en yaygın kullanılanı net bugünkü değer yöntemidir ve bu yöntemin mantığı iç kârlılık oranı, geri ödeme süresi gibi geleneksel yöntemler ile zaman zaman farklı sonuçlar verse de benzer çalışmaktadır. Net bugünkü değer yöntemi ile gelecek nakit akışlarının günümüzdeki değerinin bugünkü yatırım tutarıyla toplamının pozitif olması durumunda proje yapılabilir olmaktadır. Reel opsiyon değerlendirme yönteminde ise nakit akışlarındaki belirsizlik ve yönetimsel esneklikler hesaba katılmaktadır. İki yöntemin yatırım karar süreçlerini ele alışındaki farklılıklar şu şekilde sıralanabilir:

- NBD değerlemesi ile projenin ya uygulanması ya da uygulanmaması yönünde karar alınabilir. Esnekliği hesaba katan reel opsiyon değerlendirme yöntemi ile yatırım kararının ertelenmesi, sıralı olarak büyütülmesi veya evreliliği olarak terk edilmesi gibi seçenekler mevcuttur.
- Reel opsiyonlarda belirsizlik kavramı ile projenin mevcut olası değeri artarken, NBD değerlemesinde bu değişken kullanılmamaktadır.
- Karar vericinin sahip olduğu esneklik alternatifini ile kârsız ya da küçük kârlı bir proje NBD değerlendirme yöntemi ile gerçekleşmezken, reel opsiyonlar uzun dönemde stratejik yatırımı göz önüne alır.
- NBD değerlemesinde yatırım maliyeti ve beklenen nakit akışlarının günümüz değeri risk için ayarlanmış indirgeme oranı ile hesaplanırken, reel opsiyon değerlendirme yönteminde risksiz faiz oranı kullanılmaktadır. Risk için ayarlanmış indirgeme oranı risk primi ve risksiz faiz oranlarından oluşmaktadır. Diğer taraftan reel opsiyonlarda risk primi nakit akışı ve maliyetlerin olasılığını gösteren fonksiyonda yer alır (Tolga, 2009).

2.3.2 Reel opsiyonların çeşitleri

Reel opsiyonların sınıflandırılması opsiyon sahibine veya yatırımın karar vericisine sağladığı esneklik çeşitlerine göre olmaktadır. Bu esneklik çeşitleri çizelge 2.2.'de Özoğul (2006)' dan uyarlanarak kısa özetler şeklinde açıklandıktan sonra her bir reel opsiyon çeşidi başlıklar halinde incelenecektir.

Çizelge 2.2: Reel opsiyon çeşitleri ve kısa açıklamaları.

Reel Opsiyon Tipi	Kısa açıklama
Erteleme	Yatırım ve piyasa koşulları iyileşinceye kadar beklemek. Daha kârlı bir yatırım kararına kadar yatırımın ertelenmesinin mümkün olması.
Vazgeçme	Mevcut piyasa koşullarının kötüleşmesi sonrası projeyi sonlandırıp, fırsat maliyetinin veya hurda değerinin kazanılması.
Büyüme	İlk olarak yapılan yatırım sayesinde ileride başka kârlı yatırım seçeneklerine sahip olunması.
Kapasiteyi Değiştirme	Piyasa şartlarına uyum sağlamak için yatırımcının faaliyet gösteren kapasitesini artırarak veya azaltarak yeni ve kalıcı olmayan duruma çözüm getirilmesi.
Kullanımı Değiştirme	Farklı teknolojiler ya da çalışma biçimiyle iş maliyetlerinin azaltılması veya kârlılığın artırılması
Kademeli Yatırım	Yatırımın bölüm bölüm reelize edilerek, negatif bir durumda geri kalan bölümlerin gerçekleşmeyerek iptal edilmesi.

2.3.2.1 Erteleme Opsiyonu

Reel opsiyonlardaki erteleme seçeneği yatırımın hemen yapılması durumunda kârsız, ancak piyasa koşulları ve yatırım maliyetleri iyileştiği zaman yapılması durumunda kârlı olacak projelerde uygulanır. Yatırım yapıldığı zaman geri dönüşümünün olmayacağı düşüncesi karar vericiyi erteleme seçeneğini düşünmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan yatırım koşulları karar vericinin projeyi erteleyebilmesine olanak tanınmalıdır.

Ayrıca yatırımın doğru zamanlaması piyasadaki belirsizliğin azalmasına yol açacak taze bilgilerin yatırımcıya ulaşmasıyla belirlenir (Tolga, 2009).

Örneğin yatırım maliyetlerinin büyük kısmı döviz ile olan bir deterjan firması rakiplerini de göz önüne aldığı anda yatırım yapması durumunda zarar edecektir.

Ancak yatırım yapma zamanını ertelirse hem döviz kurunda bir azalma hem makine maliyetlerinde azalma meydana geleceğini öngörmektedir. Ayrıca araştırması neticesinde ham madde maliyetlerinde bir miktar artış olacak ve rakiplerinin pazarına girme imkanı doğacaktır. Böylelikle firma yatırım kararını 2-3 sene erteleyerek hem daha az yatırımla işe girecek hem de rakiplerinin pazar payını bölerek daha kârlı bir karar vermiş olacaktır.

2.3.2.2 Vazgeçme opsiyonu

Piyasa şartları kötüye gittiğinde veya yakın gelecekte kötüye gideceği tahmin edildiğinde, mevcut projenin kâr etmediği veya yakın gelecekte kâr etmeyip şu an elden daha kârlı çıkarılabileceği düşünüldüğü durumlarda proje terk edilir ve hurda değeri veya fırsat maliyeti elde edilir.

Örneğin petrol şirketi olan bir yatırımcı petrol fiyatları belli bir seviyede olursa kâr edebilmektedir. Ancak yakın gelecekte alternatif teknolojiler ve yeni yatırımcılar nedeniyle petrol fiyatlarının düşeceğini öngörmektedir. Bu noktada yatırımcı vazgeçme opsiyonunu kullanarak projeyi terk eder. Fiyatlar tam düştüğünde, mevcut iş devam edilemeyecek noktaya geldiğinde yatırımını satmaya çalışırsa çok düşük ücrete satacaktır. Yatırımcı daha öngörülü davranıp proje daha değerliken satarsa hem daha fazla kazanç sağlayacak hem de farklı bir alanda parasını değerlendirebilecektir.

2.3.2.3 Büyüme opsiyonu

Riski yüksek olan yatırım seçenekleri ve teknolojik yatırım gerektiren projelerde büyüme opsiyonları tercih edilmektedir (Tolga, 2009). Bu durumun nedeni yüksek başlangıç maliyetlerini ve yüksek kayıp riskini göz önüne alarak ilk olarak projeyi ön yatırım şeklinde veya pilot piyasada gerçekleştirilerek daha sonra büyütme. Böylelikle bu ilk yatırıma bağlı olarak ileride oluşabilecek kârlı yatırım seçenekleri gerçekleştirilebilecektir.

2.3.2.4 Kapasiteyi değiştirme opsiyonu

Yatırımcı firmanın mevcut piyasa koşullarına göre hizmet veya üretim kapasitesini küçültmesi, genişletmesi, daraltması veya belirsizlik durumlarında yatırımı durdurması esnekliği hakkına sahip olmasıdır.

Örneğin bir turizm yatırımcısı mevsimsel öğeleri göz önüne alarak personel ve ürün kapasitesini potansiyel müşteri sayısına göre belirler. Diğer taraftan bu durumun tersi kararlar da alınabilmektedir. Günümüz petrol fiyatları Amerikan kaya petrolü firmalarının yatırıma başlaması ile artan arz yüzünden düşmüştür. Mevcut durumda Arap ve Rus firmaları bu üretim miktarları ile zarar etmektedir. Normal şartlar altında kapasiteyi değiştirme opsiyonu ile üretimi azaltıp petrolü yeni denge noktasına getirip kârlılıklarını artırmalıdır. Ancak bu firmalar üretim seviyelerini değiştirmeyerek fiyatların şu an için düşük kalmasını istemektedirler. Böylelikle Amerikan kaya petrolü firmalarının pazara girmesini engellemek istemektedirler.

Yüksek maliyet gerektirmesi kapasiteyi değiştirme opsiyonunu diğer opsiyonlardan farklı kılmaktadır (Tong ve Reuer, 2007). Bunun nedeni piyasanın ve kapasitenin sürekli dinamik bir şekilde takip edilmesi ve ek yatırım maliyeti gerektirmesidir.

2.3.2.5 Kullanımı değiştirme opsiyonu

Yatırım projesindeki girdileri, çıktıları, kullanılan teknolojiyi, süreçleri şirketi en kârlı durumuna getirmek için piyasa şartlarına uygun hale getirme esnekliğine reel opsiyonlarda kullanımı değiştirme opsiyonu denir.

Örneğin bir süt ve süt ürünleri tesisi eskiden gelme gelenekle kağıt filtreleme yöntemi kullanmaktadır. Ancak gelişen teknoloji ile otomatik filtreleme makinesine yapacağı yatırım ile kısa dönemde yatırım maliyeti ile zorlansa da uzun dönemde daha kârlı bir iş yapmış olacaktır.

2.3.2.6 Kademeli yatırım opsiyonu

Mevcut yatırım projesinin bir bütün olarak gerçekleşmeyip birbirini takip eden evreler halinde olan ve her bir evrenin tamamlanmasıyla tekrar karar verme seçeneği hakkı sunan reel opsiyon çeşididir. Ara evrelerin her hangi birinde olumsuz bir durum oluşursa projeyi terk etme hakkı da vermektedir. Genel olarak bir evre başarılı olduğu zaman diğer evre hakkında değerlendirilmesine rağmen, ilk evrenin başarısız olma nedenleri ve belirsizlikler bir sonraki evrede ortadan kalkıp kârlı bir yatırım seçeneğine dönüşebileceği de unutulmamalıdır.

Büyüme opsiyonlarında yapılan öncül yatırımın daha kârlı bir yatırıma dönüştürülmesi amaçlanırken, kademeli yatırım opsiyonları bunun daha kapsamlısı olarak düşünülebilir. Kademeli yatırım opsiyonlarında ilk yapılan yatırım daha

sonraki evrelere nazaran daha geniş kapsamlı olabilir. Ayrıca Tolga'ya göre, kademeli yatırım opsiyonu sadece ve sadece bütün evreler bittikten sonra değerlendirilmesiyse büyüme opsiyonlarından farklıdır (2009).

2.4 Finansal Opsiyonlar ile Reel Opsiyonların Karşılaştırılması

Reel opsiyonlar temel olarak finansal opsiyonların ve değerlemesinin reel yatırım ve karar süreçlerine uyarlamasıdır. Bu nedenden dolayı reel opsiyonlar finansal opsiyonlar ile benzerlikler taşısa da aslında aralarında bir çok farklılık mevcuttur. Aralarındaki en temel fark finansal opsiyonlar hisse senetleri, emtialar, döviz kurları, vadeli işlem sözleşmeleri, endeksler gibi gösterge ve menkul kıymetleri dayanak varlık olarak alırken, reel opsiyonlar reel yatırımlar ve sermaye bütçeleri gibi konuları dayanak varlık olarak almaktadır. Çizelge 2.3'te finansal opsiyonlarda kullanılan kavramları ve reel opsiyonlardaki karşılıkları gösterilmiştir (Özoğul, 2008):

Çizelge 2.3: Finansal opsiyonlardaki değişkenlerin reel opsiyonlardaki karşılıkları.

Finansal Opsiyonlar	Reel Opsiyonlar	Sembolleri
Dayanak varlık fiyatı	Nakit akışlarının bugünkü değeri	S_0
Kullanma fiyatı	Yatırım maliyeti	K
Kullanma tarihine kalan süre	Yatırım yapılmak istenen tarihe kalan süre	T
Dayanak varlığın standart sapması	Projenin nakit akışlarındaki belirsizlik	σ
Risksiz faiz oranı	Risksiz faiz oranı	r

Finansal opsiyonlar hakkındaki değişkenler ve buna bağlı olarak değeri vade bitim tarihi geldikçe daha net bilinmeye başlanır. Ancak reel opsiyonlarda piyasa koşulları bilinmemesine rağmen yatırımcıların karar vermesi gerekebilir. Ayrıca finansal opsiyonlarda vade bitim tarihi belliysen reel opsiyonlarda fırsatın hangi zaman kadar kullanılabileceği tam olarak bilinmediğinden belli bir zaman sınırlaması yoktur. Örneğin rakiplerin ne zaman piyasaya girip kârlılıkları düşüreceği bilinmemektedir.

Finansal opsiyonlara oranla reel opsiyonlar için karar süreçleri daha fazla bulanıktır. Finansal opsiyonlarda kullanma fiyatı ile kullanma tarihine kalan süre ve bu sürenin

kolaylıkla takip edilebilir olması bu farklılığı yaratmaktadır (Tolga, 2009; Brach, 2003). Reel opsiyonlarda ise nakit akışları, maliyet, kullanım tarihine kalan süre değişkenleri çoğu zaman belirsiz olduğu için daha geniş kapsamlı bir belirsizlik ile ifade edilme ihtiyacının olduğu söylenebilir.

Avrupa tipi finansal opsiyonlarda opsiyon sahibi opsiyonun pozisyonunu pasif bir şekilde bekler ve daha kârlı pozisyonda inisiyatif kullanamaz. Ancak reel opsiyon sahibi yatırımcı, hissedarların beklentisi ile mevcut projenin veya reel opsiyonun değerini en çoklayacak kararları alırken etkin rol oynayabilmektedir.

Diğer taraftan finansal opsiyonlar genel olarak fiyat değişimlerinin devamlı takip edilebildiği düzenli piyasalarda işlem görürken reel opsiyonlarda ise böyle bir piyasadan söz edilemez ve bu nedenle geçmiş fiyat hareketlerinin takibi için uygun değildir (Tolga, 2009). Böylece finansal opsiyonların değerinin hesaplanmasında kullanılan oynaklık verisi geçmiş verilerden hesaplanılabilmektedir. Reel opsiyonlar için bu tip verilere ulaşmak zor olduğundan oynaklık hesabında sorun yaşanmaktadır (Özoğul, 2008; Miller ve Park'dan alıntı, 2002). Şirketin veya aynı yatırım sektöründeki bir firmanın geçmiş yatırımlarından faydalanılabilmektedir. Ayrıca nakit akışlarını oluşturan faktörlerden bazılarının geçmiş fiyat verisine de ulaşılabilirdiği durumlarda oynaklık hesabı yapılabilmektedir. (Örneğin elektrik fiyatları). Monte Carlo Simülasyonu da oynaklık hesabına çözüm getirebilmektedir. Gelecekteki nakit akışlarının olasılık dağılımlarından faydalanılarak tahmininden çıkan bu modelde oynaklık bu nakit akışları ile bulunabilmektedir (Özoğul, 2008; Copeland ve Antikarov'dan alıntı, 2001).

Reel yatırım projelerinde esnek olmayan bir proje ile opsiyon değerinin toplamı esnek projenin değerini vermektedir (Özoğul, 2008; Chorn ve Sharma'dan alıntı, 2001). Diğer taraftan finansal opsiyonlarda kullanım fiyatı ve vade tarihi boyunca değişmezken reel opsiyonlarda yatırım maliyetine denk kullanım fiyatı, yatırımcının opsiyonu gerçekleştirilmesine kadar olan sürede piyasa koşulları, teknoloji gibi etkenler nedeniyle değişebilmektedir. Böylelikle belirsiz yatırım maliyetleri ve belirsiz nakit akışları reel opsiyonun ve buna bağlı yatırım projesinin değerini doğrudan etkilemektedir.

Benzer taraflarına baktığımızda ise hem reel opsiyon değerlemesinde hem de finansal opsiyon değerlemesinde risksiz getiri oranı aynı paralelde kullanılmaktadır.

Uygulamada birbirine benzer olan değişkenlerden reel opsiyonlarda maliyet, finansal opsiyonlarda kullanım fiyatı değişkenlerinin bugünkü fiyatının bulunmasında kullanılmaktadır. Ayrıca her ikisinde de Black-Scholes modelinde kümülatif olasılık fonksiyonunda kullanılmaktadır.

Özoğul (2008)'a reel opsiyonlar ve finansal opsiyonlar bazı noktalarda benzerlikler de taşımaktadır. Bunlardan bazıları:

- Yatırım kararının değişkenlerin belirsiz olduğu ortamda alınması
- Karar alındıktan sonraki geri dönölmezlik
- Bir çok seçenek arasından karar verme hakkı



3. OPSİYON DEĞERLEME MODELLERİ

Opsiyon fiyatlama modellerinin açıklamasına geçmeden opsiyon fiyatlamasının tarihini gözden geçirmek gerekirse, ilk olarak finansal opsiyonların matematiksel formül ile fiyatlanmasından tezinde bahseden Louis Bachelier'in çalışması karşımıza çıkmaktadır. Fiyatın zaman içinde değişimlerinin normal dağılımda olduğu fikrini ortaya koymuştur. Bachelier Brownian hareketinden bahsetmese de bu hareket ile aynı paralelde bir opsiyon fiyatlama tekniğini türevlendirirken kullanmıştır. Brownian hareketi ise Robert Brown'ın polen tohumlarının suda askılı kalacak biçimde hızla titremesini fark etmesinden sonra atom parçalarının küçük hareketleridir. Brownian hareketi aşağı ve yukarı yönlü olarak iki boyutlu ifade edilirse hisse senetleri fiyatları için aynı özellikte olduğu söylenebilir. Bachelier modelinde negatif değerli hisse fiyatına imkan veren modelleme ve faiz oranının sıfır kullanılması kusur olarak görünmektedir. Diğer taraftan Brownian hareketini modelinde kullanan Paul Samuelson hisse fiyatlarının log normal dağılması ve rastgelelik fikirleriyle Bachelier'in modelinin iki sorununa çözüm önermiştir.

James Boness ise doktora tezinde paranın zaman değeri hesabının opsiyon değeri hesaplanırken kullanılması gerektiğini önermiştir. Boness faiz oranının sıfırdan farklı kullanılması (negatif veya pozitif), normal dağılan hisse fiyatları, riskten kaçan yatırımcı gibi günümüzde de evrensel olarak kabul edilen varsayımları içeren bir matematiksel modeli öneren ilk kişidir.

Fischer Black ve Myron Scholes risk tercihleri içeren kabulleri model dışına çıkarıp, risksiz faiz oranının en doğru indirgeme oranı olduğunu ileri sürüp çığır açan opsiyon fiyatlama modelini yayınlamışlardır (1973). Diğer taraftan Merton temettü dağıtımını da denkleme ekleyerek modeli genellemiştir. Merton sermaye varlıkları fiyatlandırma modelinden (CAPM) türettiği modelinde riskli varlığın beklenen getirisini kendi risk değişkeninin yer aldığı denklem ile bulma fikrini önermiştir (Brach, 2003).

Black & Scholes'un modeli Avrupa tipi alım ve satım opsiyonlarının değerlemesi için uygundur. Amerikan tipi opsiyonlar ise binomial model ile fiyatlanabilmektedir (Akkum, 2000).

Black ve Scholes'un modeli sürekli zaman stokastik süreci için çözüm önerirken, Cox-Ross ve Rubinstein'in 1979 yılında önerdiği binomial opsiyon fiyatlama yöntemi kesikli zaman stokastik süreçleri için çözüm önermektedir. Ayrıca iki olasılıklı gelecek dönem hareketinin yanında üç dönem olasılıklı gelecek dönem hareketinin yer aldığı trinomial modellerde daha sonraları geliştirilmiş ve bir çok çalışmada kullanılmıştır (Brach, 2003). Diğer taraftan Phelim Boyle'un önerdiği Monte Carlo simülasyonu ile opsiyon değerleme de bir çok çalışmada ve gerçek hayatta kullanılmıştır. Monte Carlo simülasyonu oluşabilecek tüm senaryolar üzerinden benzetim yoluyla değerleme yapan bir yaklaşımdır.

Opsiyonların değerlemesinde modeller, denklemler ve varsayımları aşağıda Black & Scholes'un modelinden itibaren açıklanacaktır. Günümüzde bu modeller finansal opsiyon değerlemesinin yanında gerçek yatırım projelerinde de kullanılabilirlerdir.

3.1 Black & Scholes Opsiyon Fiyatlama Modeli

Fischer Black ve Myron Scholes tarafından opsiyona dayanak varlık olan hisse senedinin temettü dağıtmadığı varsayımı altında Avrupa tipi alım opsiyonlarının değerlemesi için bazı varsayımlar altında diferansiyel denklemler ile ürettikleri modele Black & Scholes modeli denmektedir. Aynı yıl içinde ise Merton bu modele opsiyona dayanak varlık olan hisse senedinin temettü dağıttığı varsayımını da ekleyerek modeli genellemiştir. Bu nedenle modellerin formülasyonu iki başlık altında açıklanacaktır.

3.1.1 Temettüsüz Black & Scholes opsiyon fiyatlama modeli

Black & Scholes'un (1973) yılında opsiyonların fiyatlanması için önerdiği ve o tarihten sonra gerçek yatırım projeleri için de kullanılabilinen model şu şekildedir:

$$C = S_0N(d_1) - Ke^{-(rT)}N(d_2) \quad (3.1)$$

$$P = Ke^{-(rT)}N(-d_2) - S_0N(-d_1) \quad (3.2)$$

$$d_1 = [\ln(S_0 / K) + (r + \sigma^2/2)T] / (\sigma\sqrt{T}) \quad (3.3)$$

$$d_2 = [\ln(S_0 / K) + (r - \sigma^2 / 2)T] / (\sigma\sqrt{T}) = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (3.4)$$

Modelde kullanılan terimler şu şekildedir:

C = Alım opsiyonu değeri

P = Satım opsiyonu değeri

S₀ = Dayanak varlığın spot piyasa değeri

K = Opsiyon sözleşmesinin kullanım fiyatı

T = Opsiyonun vadesine kalan süre (yıl bazında)

σ = Dayanak varlık fiyatı oynaklığı

r = Risksiz faiz oranı

N(d) = Kümülatif standart normal dağılım

Diğer taraftan, Black & Scholes 'un önerdiği modelin bir takım varsayımları vardır (Mun, 2002) :

- Faiz oranı model boyunca sabittir ve faiz oranı olarak risksiz faiz kullanılmaktadır.
- Sadece vade tarihinde gerçekleştirilebilen Avrupa tipi opsiyonlar için kullanılır.
- Opsiyon sözleşmesine konu olan hisse senedi getirilerinin log normal dağıldığı varsayımı vardır.
- Opsiyon vade tarihi boyunca temettü dağıtımını olmadığı varsayımı yapılır.
- Etkin piyasa hipotezi kabul edilir. Bu hipotezden yola çıkarak piyasa ve dayanak varlık hareketlerinin sürekli olarak tahmin edilemeyeceği varsayılır.
- Opsiyon sözleşmelerinin alma ya da satma işlemlerinde her hangi bir işlem maliyeti olmadığı düşünülür.

3.1.2 Temettüli Black-Scholes opsiyon fiyatlama modeli

Merton (1973) Black & Scholes'un önerdiği modelleri genelleyerek temettü dağıtımının da olabileceğini belirtmiştir. Merton'un önerdiği bu model finansal opsiyonlarda opsiyon sözleşmesine konu olan menkul kıymetten veya reel opsiyonlarda firmaya giren nakit akışlarından temettü dağıtımını olduğu varsayımı altında geçerli olmaktadır. Ayrıca reel opsiyonlarda nakit akışlarındaki kayıp riskini de ifade edebilmektedir. Temettüsüz modelde açıklanan değişkenlere ilave olarak

“ δ ” değişkeni temettü dağıtımı sonrası nakit akışları veya menkul kıymetin değer kaybı derecesi için kullanılmaktadır.

$$C = S_0 e^{-(\delta T)} N(d_1) - K e^{-(rT)} N(d_2) \quad (3.5)$$

$$P = K e^{-(rT)} N(-d_2) - S_0 e^{-(\delta T)} N(-d_1) \quad (3.6)$$

Ayrıca “ d ” değişkenleri de şu şekilde ifade edilir:

$$d_1 = [\ln(S_0 / K) + (r - \delta + \sigma^2 / 2)T] / (\sigma \sqrt{T}) \quad (3.7)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T} \quad (3.8)$$

3.1.3 Tarihsel volatilité hesabı

Modeldeki standart sapma değişkeni dayanak varlığın volatilitésini (oynaklığını) ifade etmektedir. Dayanak varlığın volatilitésini geçmiş fiyat verilerinden şu şekilde hesaplanmaktadır:

Volatilité (oynaklık) hesabındaki tanımlar:

$n + 1$ = Gözlem sayısı

S_j = j . dönem sonunda hisse senedi fiyatı

T = Yıl bazında zaman aralığı

“ u_j ” değişkeni aşağıdaki şekilde tanımlanır (3.9):

$$u_j = \ln (S_j / S_{j-1}) \quad (3.9)$$

“ u_j ” değişkeninin standart sapması “ s ” ile ifade edilir (3.10) :

$$s = \sqrt{[(1/n-1) \sum (u_j - \bar{u})^2]} \quad (3.10)$$

$j = 1, 2, \dots, n$.

“ \bar{u} ”, “ u_j ” verilerinin aritmetik ortalamasıdır.

Volatilité (oynaklık) ise şu şekilde bulunur (3.11) :

$$\sigma = s / \sqrt{T} \quad (3.11)$$

Standart sapma değişkeninin büyüklüğü dayanak varlığın fiyatının volatilitésini arttıkça artmaktadır (Hull,2005). Ayrıca volatilitenin artması opsiyonun değerini de artıracaktır.

3.2 Kafes Opsiyon Fiyatlama Modelleri

Hisse senedi hareketlerinin olası gidiş yönleri şekil olarak gösterildiğinde bir kafes gibi görüldüğü için bu şekilde adlandırılmaktadır. Bu bölümde binomial ve trinomial kafes yöntemleri açıklanacaktır. Binomial opsiyon fiyatlama yönteminde gelecek dönemki hareketler artış ve azalışla sınırlandırılırken trinomial opsiyon fiyatlama modelinde gelecek dönem için dayanak varlığın sabit kalabileceği olasılığı da hesaba katılarak işlem yapılır.

3.2.1 Binomial opsiyon fiyatlama modeli

Opsiyon değerlemesinde 1979 yılında Cox, Ross ve Rubinstein tarafından ilk kez ortaya konmuştur. Hisse senedinin fiyatının baz yılından başlayarak belli bir olasılıkla artış ya da azalışı temeline dayanır. Binomial modelde bu artış veya azalış sabit kabul edilip, küçük zaman dilimi aralıklarında dallanarak vade sonuna veya yatırım yapma zamanının ortadan kalkma süresine kadar binom dağılımı prensibinde gider. Bu yapı nedeniyle binomial kafes opsiyon fiyatlama modeli olarak bilinir. Bu zaman dilimi aralıkları çok fazla dallanıp sonsuza yaklaştığı zaman Black & Scholes modeli elde edilmektedir.

Jordan ve Miller (2008) bu modelin dayandığı varsayımlardan şu şekilde bahsetmişlerdir:

- Tam rekabet piyasasındaki şeffaflık ve herkes tarafından ulaşılabilirlik mevcuttur.
- Her bir zaman dilimindeki fiyat hareketleri birbirlerinden bağımsız olacak şekilde artıp azalabilecektir. Böylelikle artış ve azalışların kombinasyonundan dolayı model dallanarak devam edecektir. Hem de değişimler sadece bu zaman dilimlerinde olacağı için kesikli bir proses olarak devam edecektir.
- Opsiyonun iki tarafı için de faiz oranı aynıdır.
- Yatırımcıların tüm proses boyunca yüksek olan kazancı düşük olan kazanca tercih edecekleri düşünülür.
- Model opsiyonu değerleyene kadar her hangi bir maliyet yoktur ve bu sebeple vergilendirme yapılmamaktadır.
- Risksiz faiz oranı tüm proseste sabittir.

Bu başlık altında binomial opsiyon değerlendirme modeli tek dönemli binomial opsiyon değerlendirme modeli ve çok dönemli binomial opsiyon değerlendirme modeli olarak iki başlıkta incelenecektir.

3.2.1.1 Tek dönemli binomial opsiyon değerlendirme modeli

Tek dönemli model varsayım ve ilişkilerini daha iyi ve sade bir şekilde anlamak için açıklanacaktır. Bu yüzden ilişkiler basamak basamak anlatılacaktır.

c = Opsiyon fiyatının bugünkü değeri

S_0 = Dayanak varlık fiyatının bugünkü değeri

K = Kullanım fiyatı

u = Dayanak varlık fiyatının artış oranı

d = Dayanak varlık fiyatının azalış oranı

Artış durumunda bir dönem sonraki fiyat (3.12) :

$$S_1 = S_0u \quad (3.12)$$

Azalış durumunda bir dönem sonraki fiyat (3.13) :

$$S_2 = S_0d \quad (3.13)$$

Modelde bir p olasılıkla artış oluyorsa, $1-p$ olasılıkla da azalış olmaktadır. Bu artış ve azalışların olasılıkları ile çarpımlarının toplamı ancak ve ancak risksiz faiz oranı kadar getiri sağlamalıdır:

$$pu + (1-p)d = e^{r\Delta t} \quad (3.14)$$

Artışın olasılık değerinin bulunması için p çekilir:

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \quad (3.15)$$

Modelde u ve d değişimi piyasa koşullarına göre sezgisel veya bir modele bağlı olarak belirlenebilir. Diğer taraftan Cox-Ross ve Rubinstein'a göre u 'nun artışı standart sapma değişkeni ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca u 'nun d ile bölmenin tersi ilişkisi vardır:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (3.16)$$

$$d = 1 / u \quad (3.17)$$

Bir dönem sonraki fiyat değişimlerinden sonra alım opsiyonun değerlemesinde market fiyatları kullanım fiyatlarından çıkarılarak bir dönem sonraki opsiyon fiyatı bulunur. Eğer bu değer negatifse sözleşmeyi alan taraf alım hakkını uygulamaz:

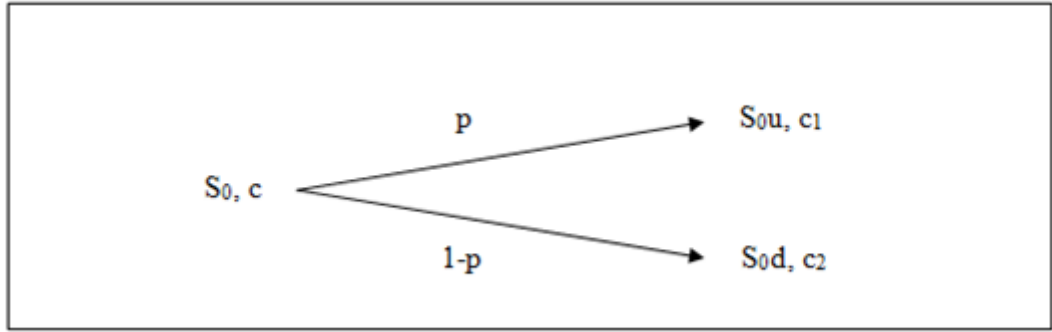
$$c_1 = \text{maks. } [0, S_1 - K] \quad (3.18)$$

$$c_2 = \text{maks. } [0, S_2 - K] \quad (3.19)$$

Bu iki değer olasılıkları ile çarpılması bir sonraki dönemin beklenen değerini verecektir. Bu değer bugüne indirgenmesi ile opsiyonun değeri ortaya çıkacaktır:

$$c = e^{-r\Delta t}(pc_1 + (1 - p)c_2) \quad (3.20)$$

Tek dönemli bir binomial ağacın yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir:



Şekil 3.1: Tek dönemli binomial opsiyon değerlendirme yapısı.

3.2.1.2 Çok dönemli binomial opsiyon değerlendirme modeli

Binomial opsiyon değerlemesinde basamak sayıları artıp sonsuza yaklaştıkça modelin Black & Scholes modeline yakınsadığından bahsedilmiştir. Tek dönemli binomial model sonucun belli bir aralığı kapsamamasına neden olur. Diğer taraftan çok dönemli model ile çeşitli fiyat hareketleri izlenerek daha fazla dal elde edilir. Böylece olası dallar yeteri kadar olasılıklarıyla değerlendirme hesabına katılır.

Çok dönemli binomial hesaplama modelinde $n \Delta t$ 'lerin toplamıdır ve vade süresini baz alınan zaman dilimi cinsinden göstermektedir. Artış veya azalışların sonunda toplam $n + 1$ adet düğüm oluşacaktır. Ayrıca binom dağılımının doğası gereği artış ve azalışı eşit sayıya yaklaşan düğümlerin olma sıklığı artacaktır. Modelde m sayıda artış sağlamanın olasılık kütle fonksiyonu şu şekilde açıklanır:

$$f(m; n, p) = [n! / (m!(n-m)!)]p^m(1-p)^{(n-m)}, m = 0, 1, 2, \dots, n \quad (3.21)$$

Artış ve azalışlar sonunda oluşan düğümlerin her biri dayanak varlığın binom prensipleri dahilinde olası fiyat hareketlerini yansıtmaktadır. Başlangıç fiyatının n dönemde m kadar artışıyla düğümlerin son fiyatı bulunur:

$$S_{n,m} = S_0 u^m d^{n-m} \quad (3.22)$$

Her bir final düğümünün opsiyon değeri ise dayanak varlık fiyatından opsiyon değerinin çıkarılmasıyla elde edilen sayı ile 0'dan büyük olanıdır şeklinde bulunur:

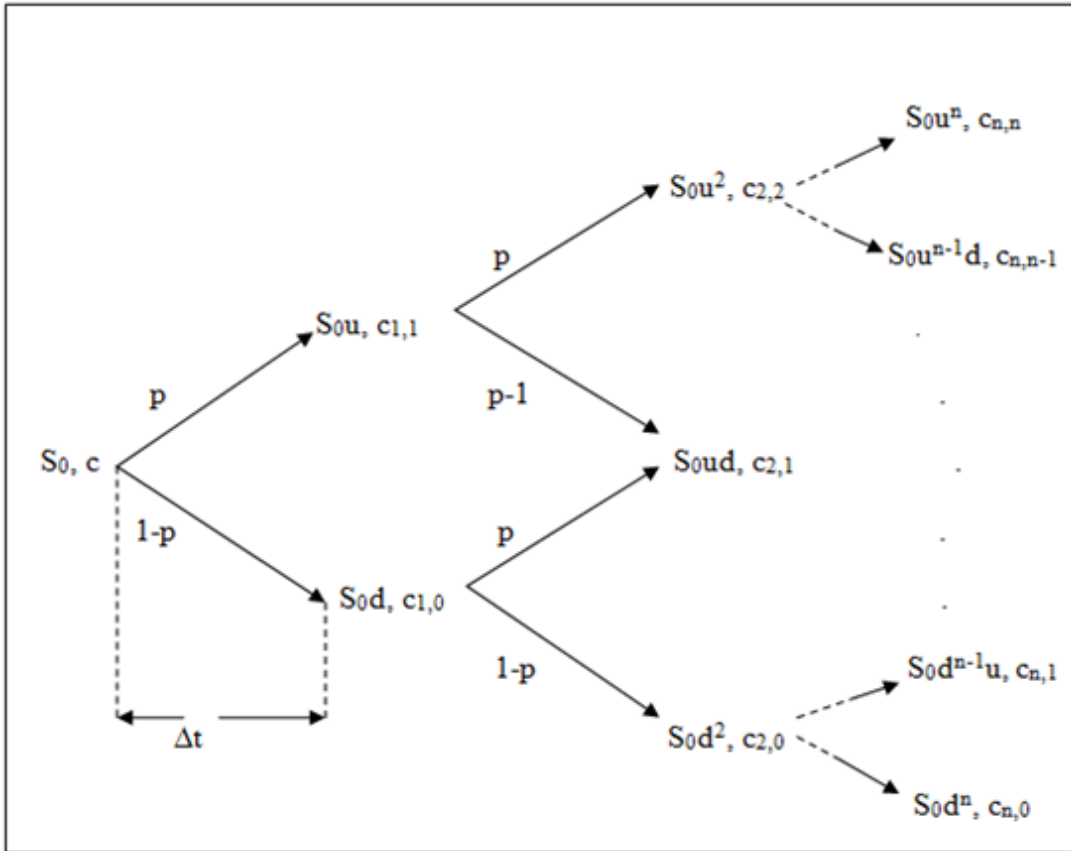
$$c_{n,m} = \text{maks. } [0, S_{n,m} - K] \quad (3.23)$$

Her bir düğümün opsiyon değerinin kendi olasılık kütle değeri ile çarpılmış hallerinin toplamı ise opsiyonun gelecek değerini verir. Bu değer risksiz faiz oranı ile günümüze indirgenmesi ile opsiyonun değeri bulunur.

$$c = e^{-(r\Delta t)} (\sum [n! / (m!(n-m)!)] p^m (1-p)^{(n-m)} \text{maks.} [0, S_0 u^m d^{(n-m)} - K]) \quad (3.24)$$

$$c = e^{-(r\Delta t)} (\sum f(m; n, p) c_{n,m}) \quad (3.25)$$

Şekil 3.2'de çok dönemli binomial opsiyon değerlendirme yapısı görülmektedir:



Şekil 3.2: Çok dönemli binomial opsiyon değerlendirme yapısı.

Avrupa tipi alım opsiyonları için geçerli olan bu hesaplama yöntemi geriye doğru hesaplama prensibine dayanır. Ancak yukarıdaki formülde tek bir kalemde hesaplama yapılabilme fırsatı vardır. Diğer taraftan Amerikan tipi opsiyonları değerlerken her bir geçmiş düğüm tek tek hesaplayarak kullanım hakkını vade süresince uygulama fırsatını da hesaba katmak gerekmektedir:

$$c_{n-1,m-1} = \text{maks.} [e^{-r\Delta t}(pc_{n,m} + (1-p)c_{n,m-1}), S_{n-1,m-1} - K] \quad (3.26)$$

Her bir adımda bir dönem geriye giderek $n=0$ olan şimdiki zamandaki opsiyon fiyatı bulunur.

3.2.2 Trinomial opsiyon değerlendirme modeli

İlk kez Boyle (1986) tarafından sunulan bu model, binomial modele ek olarak varlık fiyatının bir sonraki dönem sabit kalabileceği varsayımını da modele ekler. Bu modelin amacı binomial modelden daha doğru ve hızlı çözüm alınabilen çözümler yaratmaktır. Ayrıca Clewlow ve Strickland'a (1998) göre zaman ve oynaklık değişkenleriyle oynama fırsatı vermesi modele esneklik kazandırmaktadır.

Modelde fiyat hareketlerinin u kadar artma olasılığı p_u , değişmeme olasılığı p_k ve d kadar azalma olasılığı p_d olarak gösterilerek toplamları 1'e eşitlenmiştir (3.27). Kesikli dağılımın ortalaması sürekli log normal dağılımın ortalamasına (3.28) ve varyansları da sürekli dağılımın varyansına eşittir (3.29):

$$p_u + p_k + p_d = 1 ; 0 < p < 1 \quad (3.27)$$

$$p_u u S_0 + p_k S_0 k + p_d d S_0 = S_0 A \quad (3.28)$$

$$p_u (u^2 S_0^2 - S_0^2 A^2) + p_k (S_0^2 k - S_0^2 A^2) + p_d (d S_0^2 - S_0^2 A^2) = S_0^2 B \quad (3.29)$$

$$A = e^{r\Delta t} \quad (3.30)$$

$$B = e^{(\sigma^2)\Delta t} \quad (3.31)$$

Boyle (1988) u ve d 'nin çarpımlarının 1'e eşit olduğu varsayımı altında geçiş olasılıklarının denklemlerini çıkardı (Haahtela, 2010):

$$p_u = [(B + A^2 - A)u - (A - 1)] / [(u - 1)(u^2 - 1)] \quad (3.32)$$

$$p_d = [(B + A^2 - A)u^2 - (A - 1)u^3] / [(u - 1)(u^2 - 1)] \quad (3.33)$$

$$p_k = 1 - p_u - p_d \quad (3.34)$$

Eğer binomial modeldeki u ve d değerleri kullanılıp k da 1 alınrsa yukarıdaki olasılıkların 1'den büyük olabileceğini gören Boyle, denkleme u 'nun değerini artırıcı ve d 'nin değerini azaltıcı birden büyük olma koşuluyla bir λ dağılım değişkeni eklenmesini önermiştir:

$$u = e^{\lambda\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (3.35)$$

$$d = e^{-\lambda\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (3.36)$$

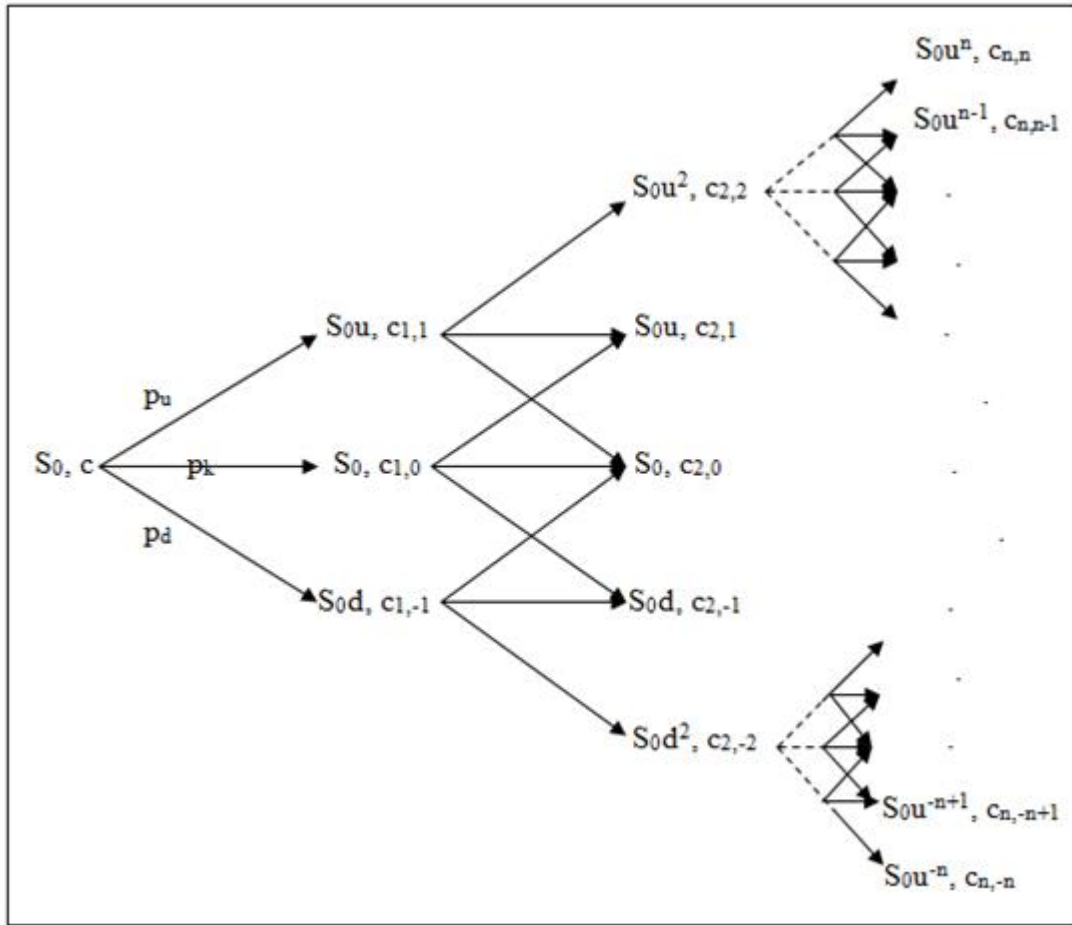
Trinomial modelde n tane Δt olursa düğümlerin sonunda $2n + 1$ adet farklı dayanak varlık fiyatı elde edilir. Bu farklı fiyatlar şu şekilde ifade edilebilir:

$$S_{n,m} = S_0 u^m, \quad m = -n, \dots, 0, \dots, n \quad (3.37)$$

Her son düğümün opsiyon değeri ise şu şekilde bulunur:

$$c_{n,m} = \text{maks. } [0, S_{n,m} - K] \quad (3.38)$$

Trinomial modelin yapısı Şekil 3.3'te gösterilmiştir:



Şekil 3.3: Trinomial opsiyon değerlendirme modeli yapısı.

Bir önceki dönemdeki düğümlerin opsiyon değerlerine geçiş ise olasılıklarının çarpım toplamlarının risksiz faiz oranı ile indirgenmesiyle olur:

$$c_{n-1,m-1} = e^{-(r\Delta t)}(p_u c_{n,m} + p_k c_{n,m-1} + p_d c_{n,m-2}) \quad (3.39)$$

Amerikan tipindeki opsiyonların değerlemesinde ise erken kullanım hakkı göz önüne alınmalıdır:

$$c_{n-1,m-1} = \max [e^{-(r\Delta t)}(p_u c_{n,m} + p_k c_{n,m-1} + p_d c_{n,m-2}), S_{n-1,m-1} - K] \quad (3.40)$$

Her bir adımda yukarıdaki denklemdeki gibi değer belirlenip geriye doğru gidilerek $n=0$ anındaki opsiyon değerine ulaşılır.

3.3 Monte Carlo Simülasyonu ile Opsiyon Değerleme

Monte Carlo simülasyonu ile opsiyon bir dağılım varsayımı altında olası n sayıda farklı dayanak varlığı değerinin elde edilmesi ile değerlendirilmektedir. İlk kez Boyle (1977) tarafından ortaya konulan simülasyonun opsiyon değerlendirilmesi uygulaması yeteri kadar simülasyon yapılması durumunda Black & Scholes modeline yakınsamaktadır.

Opsiyon sözleşmesine konu olan dayanak varlığın Geometrik Brownian hareketiyle fiyat değişimine uğradığı varsayılır:

$$S(t+\Delta t) - S(t) = \mu S(t)\Delta t + \sigma S(t)dW_t \quad (3.41)$$

Denklemden dW_t Wiener süreci olarak adlandırılır ve içerdiği ε terimi ortalaması 0, standart sapması 1 olan bir örneklemdir:

$$dW_t = \varepsilon\sqrt{\Delta t} \quad (3.42)$$

Geometrik Brownian hareketine Ito ön kuramının logaritmik versiyonunun uygulanması ile süreç şu şekilde devam eder:

$$d(\ln S) = (\mu - \sigma^2/2) dt + \sigma dz \quad (3.43)$$

Denklemden $d(\ln S)$ ifadesi dayanak varlığın T anında fiyatının 0 anına göre farklılığını gösterecek şekilde düzenlenir:

$$\ln(S_T) - \ln(S_0) = (\mu - \sigma^2/2)T + \sigma\varepsilon\sqrt{T} \quad (3.44)$$

$$\ln(S_T/S_0) = (\mu - \sigma^2/2)T + \sigma\varepsilon\sqrt{T} \quad (3.45)$$

Doğal logaritma işleminin tersinin uygulanması ile de dayanak varlığın T anındaki fiyatı bulunur:

$$S(T) = S(0)\exp [(\mu - \sigma^2/2)T + \sigma\varepsilon\sqrt{T}] \quad (3.46)$$

Opsiyon değerlemesinde uygulama kolaylığı açısından Black & Scholes modeli bu modelin daha fazla simülasyonu olduğu için tercih edilir. Ancak Monte Carlo simülasyonu kullanıcının elinde çeşitli sınırlarla kurgulanabileceği için egzotik opsiyon değerlemesinde kullanılabilir.



4. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER

Günlük hayatta bir çok noktada karşımıza çıkan bulanık mantık, belirsizlik, olabilirlik, tanımların bulunduğu kümeye göre değişebilmesi gibi nedenlerden dolayı klasik mantığın (Boolean Logic) cevap veremediği problemleri tanımlamak veya çözmek için kullanılmaktadır. Klasik mantıkta bir durumda ikili mantık mevcutken, bulanık mantıkta bu ikili durumların arası da hesaba olabilirlik olarak katılmaktadır. Durumlara klasik mantık ile bulanık mantık bakışı açısından farklar çizelge 4.1’de gösterilmiştir (Göksu, 2008; Yaralıoğlu, 2007).

Çizelge 4.1: Klasik mantık ve bulanık mantık bakış açısı farklılıkları.

Bulanık Mantık	Klasik Mantık
Belirsiz (Muallak)	Kesin (Net)
0, 1 veya arasında	0 veya 1
Bulanık ifadeler (Bir çok)	İkili ifadeler
N ve N değil	N ya da N değil
Belirli olabilirlikte	Hepsi veya Hiçbiri

Diğer taraftan bazı aktiviteler ve tanımlar bulunduğu çevrede değerlendirilmektedir. Örneğin Kuzey Avrupa’da 180 santimetre ve aşağısındaki bir erkek boyu kısa kabul edilirken, Türkiye’de bu boy ölçüsü bir erkek için ortalama veya uzun kabul edilebilmektedir. Bu boy ölçüsünün ne kadar uzun olduğunun tanımı ise günlük hayatta bazı ifadelerle karşımıza çıkmaktadır. Çok uzun boylu veya selvi (servi bitkisi kökenli) ifadeleri kullanılabilmektedir. Bu belirsizlik ve tanımların farklılığından doğan bulanıklık hava sıcaklığı ifadesi, zenginlik ifadesi, kilo ifadesi, yükseklik ifadesi, gelir ifadesi, maliyet ifadesi vb. sınıflamalarda karşımıza çıkmaktadır.

Bulanık mantık ortaya çıkan bu problemlerin tanım sorunlarını gidererek, şüpheli durumlara ve belirsizliklere daha geniş bir perspektiften bakılabilmek imkanı sunmuştur. Böylelikle günümüzde bulanık mantık karar verme süreçleri, teknoloji, ekonomi, finans, psikoloji gibi gerçek hayat uygulamalarının yanında literatürde de bir çok çalışmaya konu olmuştur.

4.1 Bulanık Kümeler

Bulanık mantıkta bahsedilen problemlerin giderilmesi için ilk olarak Zadeh tarafından 1965 yılında bulanık küme teorisi ortaya konmuştur. Bu teoremin temeli üyelik derecesi mantığına dayanmaktadır. Klasik mantıkta bir eleman bir kümeye aittir veya değildir diye düşünülür ve bu durum 0 veya 1 ile ifade edilir. Ancak bulanık küme teorisinde bir elemanın o kümeye ait olma olasılığı 0 ve 1 dahil olmak üzere bu iki değer arasındaki bir üyelik derecesi ile ifade edilmiştir. Üyelik derecesi 0 ise o kümeye ait değil, 1 ise kesinlikle üyesi, söz gelimi 0.5 ise o olasılıklarda o kümenin üyesi denir. Böylelikle bulanık küme teorisi ile belirsizlik ve olasılık ifadesine genelleştirilmiş bir yaklaşımla tanım getirilmiş olur.

Bulanık bir kümenin genel tanımı sembolize edilmek istendiğinde ise ilk olarak x elemanlarının E evrensel kümesine ait olduğu varsayımı yapılmalıdır. Bu x elemanları ise yine E evrensel kümesinde yer alan \tilde{A} bulanık kümesini oluşturmaktadır ve bu kümeye aitlik veya bu kümede olasılık dereceleri $\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Böylelikle \tilde{A} bulanık kümesi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\tilde{A} = \{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)), x \in E \} \quad (4.1)$$

Eğer E evrensel kümesi sonsuz ise bulanık küme şu şekilde sembolize edilir:

$$\tilde{A} = \int_{i=1}^n x_i / \mu_{\tilde{A}}(x_i) \quad (4.2)$$

Eğer E evrensel kümesi sonlu bir küme ise bulanık küme aşağıdaki şekilde ifade edilir (Mendel, 2000):

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n x_i / \mu_{\tilde{A}}(x_i) \quad (4.3)$$

Örneğin:

$$\tilde{A} = \frac{2}{0.1} + \frac{4}{0.4} + \frac{5}{0.6} + \frac{7}{0.8} + \frac{9}{1} + \frac{11}{0.7} + \frac{12}{0.4} + \frac{14}{0.1}$$

\tilde{A} ve \tilde{N} iki bulanık küme olmak üzere bu kümelerin üyelik fonksiyonlarının sırasıyla kesişim, birleşim ve tümlenme işlemleri aşağıdaki gibi olmaktadır (Diamonds ve Kloeden, 1994):

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{N}}(x) = \text{Min.} (\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{N}}(x)) \quad (4.4)$$

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{N}}(x) = \text{Maks.} (\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{N}}(x)) \quad (4.5)$$

$$\mu_{\tilde{A}^T}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.6)$$

Bulanık kümeler genellemelerine göre ve ifade şekillerinin kapsamına göre çeşitlenmektedirler. Hepsi yukarıdaki konsepti temel alarak onun üzerine geliştirilmiştir. Tip-1 bulanık kümeler sadece yukarıdaki şartları temel alırken, tip-2 bulanık kümeler ve sezgisel bulanık kümeler (intuitionistic fuzzy sets) tip-1 bulanık kümelerinin genelleştirilmiş ifadeleridir. Tip-1 ifadesi ise diğer küme teorilerinin önerilmesinden sonra adlandırılmıştır.

4.2 Bulanık Sayılar

Bulanık bir kümenin bulanık bir sayı olarak adlandırılabilmesi için bazı şartlar bulunmaktadır. Bu şartlar x elemanlarının E evrensel kümesi yerine daha özel R gerçekteki sayılar kümesine ait olduğu durumlarla başlayarak şu şekilde devam etmektedir:

- $[0,1]$ arası değer alan α - kesiminin $\tilde{A}_\alpha = \{x \in R: \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$ kümesi konveks bir kümedir.
- Üyelik fonksiyonu üst yarıda bulunup sürekli bir fonksiyondur.
- α kesiminin seti kapalı ve R de sınırlı olmalıdır ki bulanık sayı da kapalı bir aralıkta olabilsin. Böylece destek $(\tilde{A}) = \{x \in R: \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}$ olmaktadır.

Yukarıdaki şartlarla birlikte bulanık bir kümeden sürekli üyelik fonksiyonuna sahip konveks bir bulanık sayı seti elde edilmektedir.

Ayrıca üyelik derecesi olarak 1'e sahip bir bulanık sayı normal bulanık sayı olarak ifade edilir. Bu olabilir değerler arasında kesinlikle kümeye ait olma durumunu belirtir. Ancak bazı bulanık kümelerde $\text{maks.}(h) < 1$ olabilmekte ve kesinlikle bu kümeye ait bir eleman bulundurma durumu ortadan kalkmaktadır. Literatürde genelde normal bulanık sayılar kullanılmaktadır.

Günümüzde klasik anlamda olarak nitelendirilebilecek Zadeh'in (1965) teorisindeki yukarıdaki bulanık sayı olma şartlarını taşıyan sayılara tip-1 bulanık sayılar denilmektedir. Üyelik fonksiyonunun tipine ve tanımına göre bu sayılar üçgensel, yamuk, sağ-sol bulanık sayılar, gauss fonksiyonu, S fonksiyonu vb. şekillerde ifade edilebilirler.

4.2.1 Üçgensel bulanık sayılar

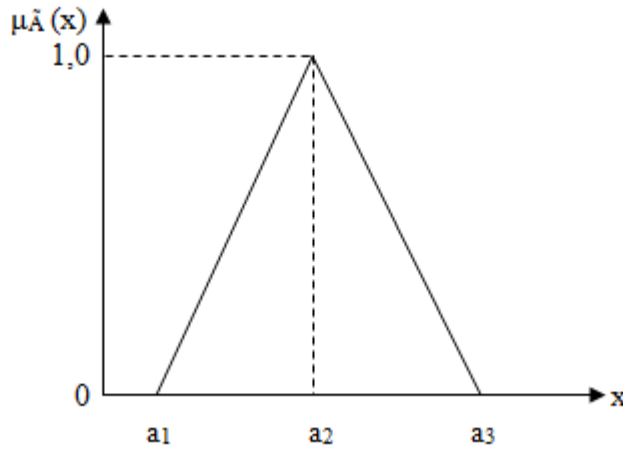
\tilde{A} bir üçgensel bulanık sayı olmak üzere, a_1, a_2, a_3 sırasıyla küçükten büyüğe yazılan gerçekte sayılar üyelik fonksiyonunun oluşturulmasında kritik ifadeler olarak kullanılır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-a_1)/(a_2-a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3-x)/(a_3-a_2) & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.7)$$

Bulanık sayı şu şekilde ifade edilir:

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3) \quad (4.8)$$

Grafiksel gösterimi de Şekil 4.1'deki gibidir:



Şekil 4.1: Üçgensel bulanık sayı.

4.2.2 Yamuk bulanık sayılar

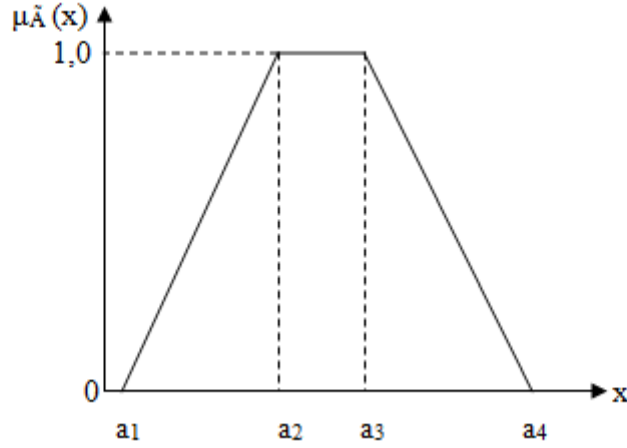
\tilde{A} bir yamuk bulanık sayı olmak üzere, a_1, a_2, a_3, a_4 sırasıyla küçükten büyüğe yazılan gerçekte sayılar üyelik fonksiyonunun oluşturulmasında kritik ifadeler olarak kullanılır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-a_1)/(a_2-a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4-x)/(a_4-a_3) & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.9)$$

Bulanık sayı şu şekilde ifade edilir:

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4) \quad (4.10)$$

Grafiksel gösterimi de Şekil 4.2'deki gibidir:



Şekil 4.2: Yamuk bulanık sayı.

4.2.3 Sağ-sol bulanık sayılar

Dubois ve Prade'in (1980) çalışmasında önerdiği sağ sol bulanık sayılar üçgensel, yamuk vb. bulanık sayıların alternatif bir ifadesidir ve işlem, yorumlama kolaylığı sağlaması için önerilmiştir. Normal bulanık bir sayının ifadesinde çekirdeğindeki kesin olabirlikli a ve b değerlerinin ifade edilmesinden sonra o kümeyle ait olmama değerlerinin başlangıcındaki noktalara m ve n kadar olan uzaklıklarının ifadesi ile devam eder.

Üçgensel sağ-sol bir bulanık sayı (a=b olduğu durum) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\tilde{A}_{LR} = (a, m, n) \quad (4.11)$$

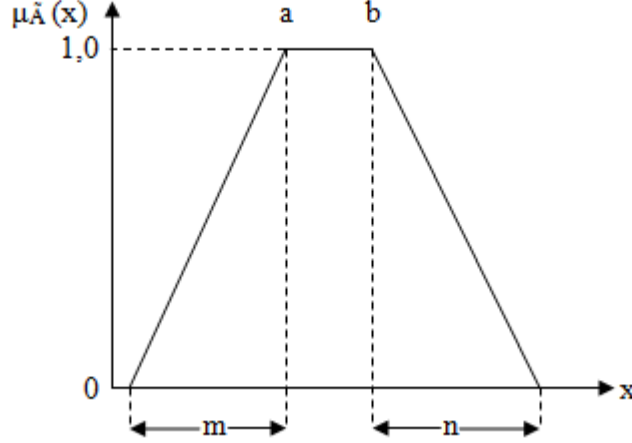
Yamuk bulanık sayının ifadesi ise aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{A}_{LR} = (a, b, m, n) \quad (4.12)$$

Üyelik fonksiyonu ise şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\mu_{\tilde{A}}(x)_{LR} = \begin{cases} L((a-x)/m) & a-m \leq x \leq a \\ R((x-b)/n) & b \leq x \leq b+n \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.13)$$

Yamuk tipte sağ-sol bulanık bir sayının grafiksel gösterimi ise Şekil 4.3'teki gibidir:



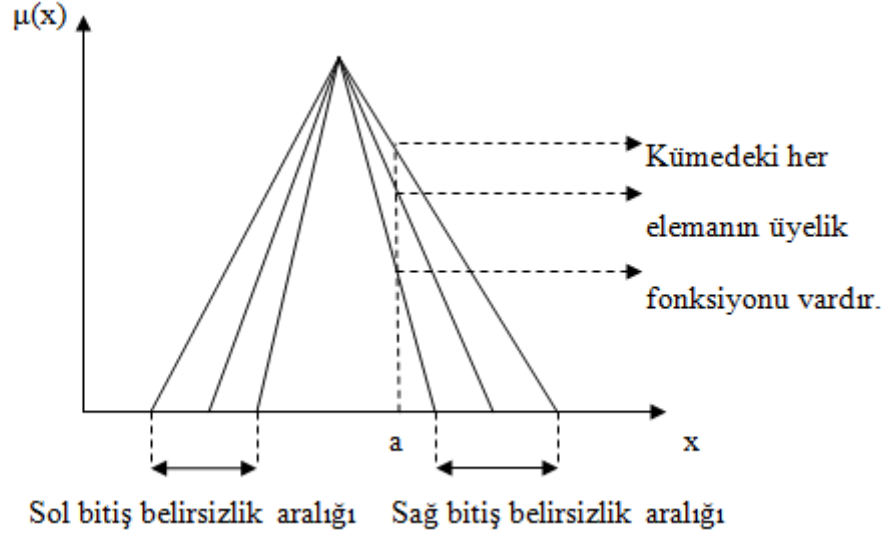
Şekil 4.3: Yamuk tipte sağ-sol bulanık sayı.

4.3 Tip-2 Bulanık Kümeler

Tip-2 bulanık küme teorisi Zadeh (1975) tarafından ilk önerdiği bulanık küme teorisinin yetersiz gelebileceği durumlar için belirsizliği klasik bulanık küme teorisinden daha genel ifade etmek için ortaya konmuştur. Klasik bulanık küme teorisinde bulanıklık tek bir küme ile ifade edilirken, tip-2 bulanık küme teorisinde belirsizlik daha da genellenerek bulanık küme farklı alt kümeler tarafından oluşturulmaktadır. Böylelikle bulanık kümedeki her bir noktanın tek bir üyelik derecesi olmaz ve bir üyelik fonksiyonuna sahip olur. Böylece bulanık küme setine üçüncü bir boyut kazandırılır.

Tip-2 bulanık küme teorisi bir durumun ifadesinde farklı gruplar olduğunda ortaya çıkmaktadır. Örneğin ekim ayında denizdeki balıkların yoğunluğu ele alınırsa, lüfer, palamut, istavrit vb. farklı büyüklükteki balıkların her birinin yoğunluğunun ifade edilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu durum tip-2 bulanık küme teorisinin tek bir kümeye bağlı kalmayan farklı alt kümeli yaklaşımı ile çözülecektir.

Her bir alt bulanık kümenin üyelik fonksiyonu 0 ile 1 arasında olmaktadır. Ayrıca sağ ve sol alt küme bitiş noktaları arasındaki aralık belirsizliği ifade etmektedir. Şekil 4.4'te tip-2 bulanık sayılarının genel gösterimi yer almaktadır.

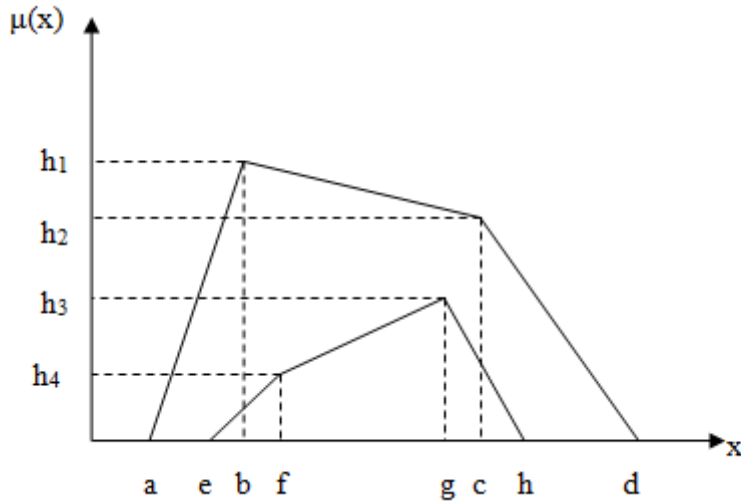


Şekil 4.4: Tip-2 bulanık sayıların genel gösterimi.

Lee ve Chen'in de (2008) tip-2 bulanık sayıları üzerine çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalarında $a < e < b < f < g < c < h < d$ ve $h_3 < h_4 < h_2 < h_1$ olmak üzere tip-2 bir bulanık sayıyı şu şekilde ifade etmişlerdir:

$$\tilde{A} = (\tilde{A}_U, \tilde{A}_L) = ((a, b, c, d; h_1, h_2), (e, f, g, h; h_3, h_4)) \quad (4.14)$$

Ayrıca yine bu çalışmada üyelik fonksiyonu Şekil 4.5'teki gibi gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Lee ve Chen'e göre tip-2 bulanık sayı.

4.4 Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets)

Atanassov'un 1983 yılında önerdiği Sezgisel Bulanık Küme Teorisi Zadeh'in önerdiği Bulanık Küme Teorisinin gelişmiş bir modeline dayanır ve o şekilde tanımlanır. Bir evrensel kümeye ait x gerçek sayısı aynı sette üyelik derecesinin

yanında üyelik olmama derecesi ile de tanımlanır. Bu aynı zamanda bulanık sayının genişletilmiş ifadesidir.

$$\mu_A (\text{üye olma derecesi}) : E \longrightarrow [0,1]$$

$$V_A (\text{Üye olmama derecesi}): E \longrightarrow [0,1]$$

Ancak klasik teoriyi genişletme amacıyla yola çıkan Atanassov, bu sayıların yoğun bir bilinmezlik ortamı için geliştirilebileceğini, daha kapsamlı bir belirsizliğin ifadesinde kullanılabileceğini fark etti ve teorisine tereddüt (hesitation) payını da ekledi.

$$\pi_A (\text{tereddüt payı}) = 1 - \mu_A - V_A \quad (4.15)$$

Ayrıca kullanılacak sezgisel bulanık sayılara evrensel kümede olan her x için şöyle bir tanım da yapılmalıdır ki klasik bulanık teorisinden ayrılabilsin:

$$0 < \mu_A + V_A \leq 1 \quad (4.16)$$

Böylelikle \tilde{A}^i ve \tilde{B}^i iki sezgisel bulanık kümesi şu şekilde ifade edilir:

$$\tilde{A}^i = \{ \langle x, \mu_A(x), V_A(x) \rangle \mid x \in E \}$$

$$\tilde{B}^i = \{ \langle x, \mu_B(x), V_B(x) \rangle \mid x \in E \}$$

Atanassov'un 1983, 1986 ve 1994 çalışmalarından derlenen verilere göre bu iki sezgisel bulanık küme için bazı temel operasyonlar ve ilişkiler aşağıda ifade edilmektedir:

$$\tilde{A}^i \oplus \tilde{B}^i = \{ \langle x, \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x), V_A(x)V_B(x) \rangle \mid x \in E \} \quad (4.17)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i = \{ \langle x, \mu_A(x)\mu_B(x), V_A(x) + V_B(x) - V_A(x)V_B(x) \rangle \mid x \in E \} \quad (4.18)$$

$$\tilde{A}^i \cap \tilde{B}^i = \{ \langle x, \min. (\mu_A(x), \mu_B(x)), \min. (V_A(x), V_B(x)) \rangle \mid x \in E \} \quad (4.19)$$

$$\tilde{A}^i \cup \tilde{B}^i = \{ \langle x, \max. (\mu_A(x), \mu_B(x)), \max. (V_A(x), V_B(x)) \rangle \mid x \in E \} \quad (4.20)$$

$$m \otimes (\tilde{A}^i) = \{ \langle x, 1 - (1 - \mu_A(x))^m, (V_A(x))^m \rangle \mid x \in E \} \quad (4.21)$$

$$(\tilde{A}^i)^m = \{ \langle x, (\mu_A(x))^m, 1 - (1 - V_A(x))^m \rangle \mid x \in E \} \quad (4.22)$$

Bu iki sezgisel bulanık kümedeki çıkarma ve bölme işlemleri ise şu şekilde ifade edilmektedir (Atanassov ve Riecan, 2006; Atanassov, 2012):

$$\tilde{A}^i \ominus \tilde{B}^i = \{ \langle x, \mu_{A-B}(x), V_{A-B}(x) \rangle \mid x \in E \}$$

$$\mu_{A-B}(x) = \begin{cases} (\mu_A(x) - \mu_B(x))/1 - \mu(x), & \text{eğer } \mu_A(x) \geq \mu_B(x) \text{ ve } V_B(x) \geq V_A(x) \\ & \text{ve } V_B(x) > 0 \\ & \text{ve } V_B(x) \pi_A(x) \geq V_A(x) \pi_B(x) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

ve

$$V_{A-B}(x) = \begin{cases} V_A(x)/V_B(x), & \text{eğer } \mu_A(x) \geq \mu_B(x) \text{ ve } V_B(x) \geq V_A(x) \\ & \text{ve } V_B(x) > 0 \\ & \text{ve } V_B(x) \pi_A(x) \geq V_A(x) \pi_B(x) \\ 1, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.23)$$

$$\tilde{A}^i \oslash \tilde{B}^i = \{ \langle x, \mu_{A/B}(x), V_{A/B}(x) \rangle \mid x \in E \}$$

$$\mu_{A/B}(x) = \begin{cases} \mu_A(x)/\mu_B(x), & \text{eğer } \mu_B(x) \geq \mu_A(x) \text{ ve } V_A(x) \geq V_B(x) \\ & \text{ve } \mu_B(x) > 0 \\ & \text{ve } \mu_B(x) \pi_A(x) \geq \mu_A(x) \pi_B(x) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

ve

$$V_{A/B}(x) = \begin{cases} (V_A(x) - V_B(x))/1 - V_B(x), & \text{eğer } \mu_B(x) \geq \mu_A(x) \text{ ve } V_A(x) \geq V_B(x) \\ & \text{ve } \mu_B(x) > 0 \\ & \text{ve } \mu_B(x) \pi_A(x) \geq \mu_A(x) \pi_B(x) \\ 1, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.24)$$

Diğer taraftan Shabani ve Jamkhaneh (2014) çalışmalarında sezgisel bulanık kümeler ile çıkarma işlemini farklı bir algoritma ile tanımlamışlardır:

$$\tilde{A}^i \ominus \tilde{B}^i = \{ \langle x, \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x), V_A(x) V_B(x) \rangle \mid x \in E \} \quad (4.25)$$

Buna bağlı olarak bölme işlemi için de şu şekilde bir çıkarım yapılabilir:

$$\tilde{A}^i \oslash \tilde{B}^i = \{ \langle x, \mu_A(x) \mu_B(x), V_A(x) + V_B(x) - V_A(x) V_B(x) \rangle \mid x \in E \} \quad (4.26)$$

Sezgisel bulanık küme teorisi ve klasik bulanık sayı teorilerine ek olarak bir bulanık kümenin bulanık bir sayı sayılması için konkav bir üye olmama fonksiyonuna sahip olması gerekmektedir.

\tilde{A}^i yamuk sezgisel bir bulanık sayı olmak üzere, $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2$ gerçık sayıları üyelik fonksiyonun oluşturulmasında kritik ifadeler olarak kullanılır.

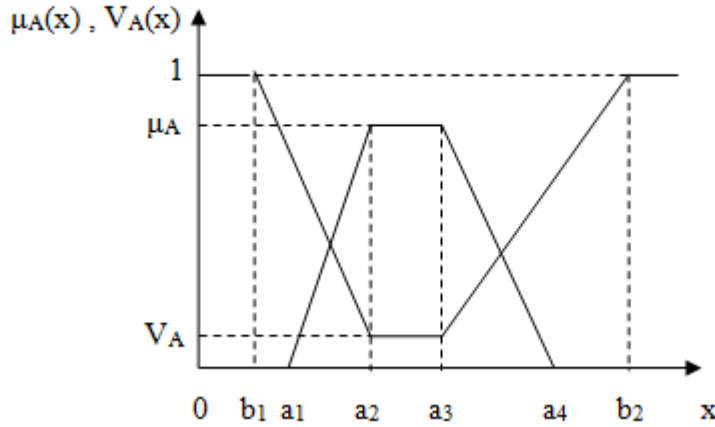
Yamuk tipte sezgisel bulanık sayı Shabani ve Jamkhaneh'a (2014) göre şu şekilde ifade edilebilir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a_1)/(a_2-a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \mu_A & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4-x)/(a_4-a_3) & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad \text{ve} \quad V_A = \begin{cases} (a_2-x)/(a_2-b_1) & b_1 \leq x \leq a_2 \\ V_A & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (x-a_3)/(b_2-a_3) & a_3 \leq x \leq b_2 \\ 1 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.27)$$

Ayrıca \tilde{A}^i sezgisel bulanık sayısı şu şekilde ifade edilir:

$$\tilde{A}^i = (b_1, a_1, a_2, a_3, a_4, b_2, \mu_A, V_A) \quad (4.28)$$

Grafiksel olarak da şu şekilde ifade edilir:



Şekil 4.6: Shabani ve Jamkhaneh'a (2014) göre sezgisel bulanık sayı.

Diğer taraftan Grzegorzewski (2003) bir tip yamuk sezgisel bulanık sayıları çalışmasında önermiştir. Özel bir durum olarak bir sezgisel bulanık sayının en olabilir değerinin veya değerlerinin üye olma derecesi 1 olarak alınır ve tereddüt payı sıfırlanır. Böylelikle en olabilir değer üzerindeki bilinmezlik kaldırılmış olur. Yukarıdaki bulanık küme işlemlerinde üye olma derecesi yerine 1, üye olmama derecesi yerine de 0 yazıldığında yeni sayıda yine üye olma derecesi 1, üye olmama derecesi 0 olacaktır. Aynı şekilde en olabilir değer tereddüt payı da yeni elde edilen kümede 0 olacaktır. Nehi ve Maleki (2005) üye olma ve üye olmama fonksiyonlarını lineer olarak ifade ederek yamuk sezgisel bulanık sayıları ortaya koymuşlardır. Aşağıda bu durumdan esinlenerek yamuk tipte sezgisel bulanık sayılar gösterilmiştir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a_1)/(a_2-a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4-x)/(a_4-a_3) & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad \text{ve} \quad V_A = \begin{cases} (b_2-x)/(b_2-b_1) & b_1 \leq x \leq b_2 \\ 0 & b_2 \leq x \leq b_3 \\ (x-b_3)/(b_4-b_3) & b_3 \leq x \leq b_4 \\ 1 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.29)$$

Ayrıca \tilde{A}^i sezgisel bulanık sayısı şu şekilde ifade edilir:

$$\tilde{A}^i = (a_1, a_2, a_3, a_4; b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (4.30)$$

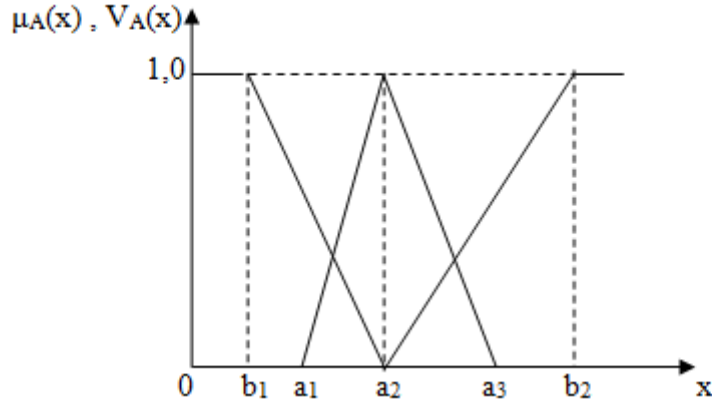
Shaw ve Roy'un (2012) ve ayrıca Mahapatra ve Roy'un (2012) çalışmalarında üçgensel sezgisel bulanık sayılarda üye olma fonksiyonunun en olabilir değeri ile üye olmama fonksiyonunun 0 ile değerlendirilen değeri aynı sayı olarak ifade edilmiştir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a_1)/(a_2-a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & x = a_2 \\ (a_3-x)/(a_3-a_2) & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad \text{ve} \quad V_A = \begin{cases} (a_2-x)/(a_2-b_1) & b_1 \leq x \leq a_2 \\ 0 & x = a_2 \\ (x-a_2)/(b_2-a_2) & a_2 \leq x \leq b_2 \\ 1 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.31)$$

Ayrıca \tilde{A}^i sezgisel bulanık sayısını da aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir:

$$\tilde{A}^i = (a_1, a_2, a_3; b_1, a_2, b_2) \quad (4.32)$$

Grafiksel olarak da şu şekilde ifade edilir:



Şekil 4.7: Shaw ve Roy'a (2012) göre sezgisel bulanık sayı.

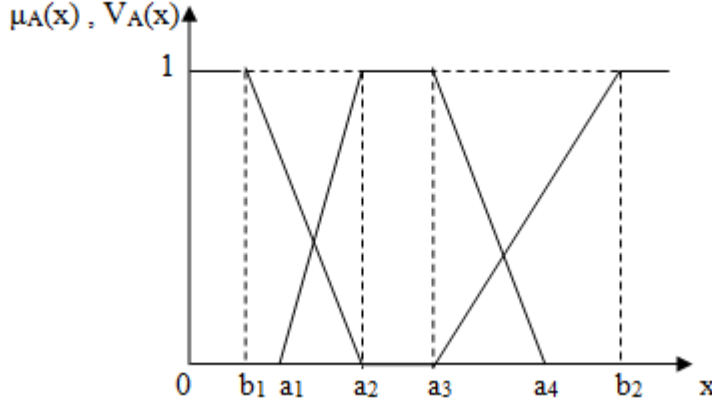
Yukarıdaki önerilerden hareketle yamuk sezgisel bulanık sayı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\tilde{A}^i = (a_1, a_2, a_3, a_4; b_1, a_2, a_3, b_2) \quad (4.33)$$

Bu sayı Shabani ve Jamkhaneh'in önerisinde üye olma fonksiyonunun en olabilir ifadesine 1, bu aralıktaki üye olmama fonksiyonuna 0 değerini verilip özelleşmiş halidir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a_1)/(a_2-a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4-x)/(a_4-a_3) & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad \text{ve} \quad V_A = \begin{cases} (a_2-x)/(a_2-b_1) & b_1 \leq x \leq a_2 \\ 0 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (x-a_3)/(b_2-a_3) & a_3 \leq x \leq b_2 \\ 1 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.34)$$

Şekil olarak ise aşağıdaki gibi ifade edilir:



Şekil 4.8: En olabilir değer in üyelik derecesi 1 olan sezgisel bulanık bir sayı.

4.5 Bulanık Sayılarla İşlemler

Bulanık sayılarda işlemler bu başlık altında tip-1 bulanık sayılarda işlemler ve sezgisel bulanık sayılarda işlemler olmak üzere 2 başlık halinde incelenecektir.

4.5.1 Tip-1 bulanık sayılarda işlemler

Tip-1 bulanık sayılarda işlemler üçgensel bulanık sayılar üzerinden açıklanacaktır. Toplama ve çıkarma işlemlerinde üyelik fonksiyonları lineerliğini kaybetmezken, çarpma ve bölme işlemlerinde üyelik fonksiyonları lineerliğini kaybetmektedir. Kritik nokta değerlerinin aynı kaldığı işlem sonuçları bu nedenle yaklaşık olarak verilmiştir.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (n_1, n_2, n_3)$ iki tip-1 bulanık sayı olmak üzere:

$$k \otimes \tilde{A} (k > 0) = (ka_1, ka_2, ka_3, ka_4) \quad (4.35)$$

$$k \otimes \tilde{A} (k < 0) = (ka_4, ka_3, ka_2, ka_1) \quad (4.36)$$

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1+n_1, a_2+n_2, a_3+n_3, a_4+n_4) \quad (4.37)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1-n_4, a_2-n_3, a_3-n_2, a_4-n_1) \quad (4.38)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1n_1, a_2n_2, a_3n_3, a_4n_4) (\tilde{A}>0, \tilde{B}>0) \text{ (Yaklaşık olarak)} \quad (4.39)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1n_4, a_2n_3, a_3n_2, a_4n_1) (\tilde{A}>0, \tilde{B}<0) \text{ (Yaklaşık olarak)} \quad (4.40)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_4n_4, a_3n_3, a_2n_2, a_1n_1) (\tilde{A}<0, \tilde{B}<0) \text{ (Yaklaşık olarak)} \quad (4.41)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1/n_4, a_2/n_3, a_3/n_2, a_4/n_1) (\tilde{A}>0, \tilde{B}>0) \text{ (Yaklaşık olarak)} \quad (4.42)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1/n_1, a_2/n_2, a_3/n_3, a_4/n_4) (\tilde{A}>0, \tilde{B}<0) \text{ (Yaklaşık olarak)} \quad (4.43)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_4/n_1, a_3/n_2, a_2/n_3, a_1/n_4) (\tilde{A}<0, \tilde{B}<0) \text{ (Yaklaşık olarak)} \quad (4.44)$$

4.5.2 Sezgisel bulanık sayılar ile işlemler

Sezgisel bulanık sayılarda işlemler en olabilir değer aralığının üye olma derecesinin 1, üye olmama derecesinin ve tereddüt payının sıfır olarak alındığı şekilde tanımlanmıştır. Sezgisel bulanık sayının en olabilir değeri dışındaki aralıkların üye olma ve üye olmama fonksiyonlarına göre tereddüt payları bulunmaktadır. Tezdeki modelde yukarıda tanımlanan şekilde kullanılmıştır. Bunun nedeni hem en olabilir değer üzerindeki bilinmezliği ortadan kaldırma hem de işlem kolaylığı sağlama düşünceleridir.

Kumar'a (2014) göre en olabilir değer aralığının üye olma derecesinin 1, üye olmama derecesinin tereddüt payının sıfır olarak alındığı durumda yaklaşık doğrulukta işlem varsayımı yapılmalıdır.

Shaw ve Roy'un (2012) ve Nagoorgani ve Ponnalagu (2012) çalışmalarında üçgensel sezgisel bulanık sayılarla aritmetik işlemlerin nasıl yapılabileceği gösterilmiştir.

$\tilde{A}^i = (a_1, a_2, a_3; b_1, a_2, b_2)$ ve $\tilde{B}^i = (n_1, n_2, n_3; m_1, n_2, m_2)$ iki sezgisel bulanık sayı olmak üzere:

$$k \otimes \tilde{A}^i (k>0) = (ka_1, ka_2, ka_3; kb_1, ka_2, kb_2) \text{ (Yaklaşık değer)} \quad (4.45)$$

$$k \otimes \tilde{A}^i (k<0) = (ka_3, ka_2, ka_1; kb_2, ka_2, kb_1) \text{ (Yaklaşık değer)} \quad (4.46)$$

$$\tilde{A}^i \oplus \tilde{B}^i = (a_1+ n_1, a_2+ n_2, a_3+ n_3; b_1+ m_1, a_2+ n_2, b_2+ m_2) \text{ (Yaklaşık değer)} \quad (4.47)$$

$$\tilde{A}^i \ominus \tilde{B}^i = (a_1- n_3, a_2- n_2, a_3- n_1; b_1- m_2, a_2- n_2, b_2- m_1) \text{ (Yaklaşık değer)} \quad (4.48)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i = (a_1n_1, a_2n_2, a_3n_3; b_1m_1, a_2n_2, b_2m_2) (\tilde{A}^i>0, \tilde{B}^i>0) \text{ (Yaklaşık değer)} \quad (4.49)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i = (a_1n_3, a_2n_2, a_3n_1; b_1m_2, a_2n_2, b_2m_1) (\tilde{A}^i>0, \tilde{B}^i<0) \text{ (Yaklaşık değer)} \quad (4.50)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i = (a_3n_3, a_2n_2, a_1n_1; b_2m_2, a_2n_2, b_1m_1) (\tilde{A}^i<0, \tilde{B}^i<0) \text{ (Yaklaşık değer)} \quad (4.51)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i = (a_1/n_3, a_2/n_2, a_3/n_1; b_1/m_2, a_2/n_2, b_2/m_1) (\tilde{A}^i > 0, \tilde{B}^i > 0) \text{ (Yaklaşık değer)} (4.52)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i = (a_1/n_1, a_2/n_2, a_3/n_3; b_1/m_1, a_2/n_2, b_2/m_2) (\tilde{A}^i > 0, \tilde{B}^i < 0) \text{ (Yaklaşık değer)} (4.53)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i = (a_3/n_1, a_2/n_2, a_1/n_3; b_2/m_1, a_2/n_2, b_1/m_2) (\tilde{A}^i < 0, \tilde{B}^i < 0) \text{ (Yaklaşık değer)} (4.54)$$

Yukarıdaki işlemlere göre çıkarma ve toplama işlemi için lineerlik korunurken çarpma ve bölme işlemleri için korunmamaktadır. Diğer taraftan Atanassov'a göre klasik bulanık sayılarda işlemlerinden farklı olarak lineerlik bütün işlemlerde korunmamaktadır.

Yamuk sezgisel bulanık sayılarda işlemler Nehi ve Maleki (2005) ve Kumar'ın (2014) çalışmalarından esinlenilerek aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$\tilde{A}^i = (a_1, a_2, a_3, a_4 ; b_1, a_2, a_3, b_2)$ ve $\tilde{B}^i = (n_1, n_2, n_3, n_4 ; m_1, n_2, n_3, m_2)$ iki sezgisel bulanık sayı olmak üzere:

$$k \otimes \tilde{A}^i (k > 0) \cong (ka_1, ka_2, ka_3, ka_4; kb_1, ka_2, ka_3, kb_2) \quad (4.55)$$

$$k \otimes \tilde{A}^i (k < 0) \cong (ka_4, ka_3, ka_2, ka_1; kb_2, ka_3, ka_2, kb_1) \quad (4.56)$$

$$\tilde{A}^i \oplus \tilde{B}^i \cong (a_1+n_1, a_2+n_2, a_3+n_3, a_4+n_4; b_1+m_1, a_2+n_2, a_3+n_3, b_2+m_2) \quad (4.57)$$

$$\tilde{A}^i \ominus \tilde{B}^i \cong (a_1-n_4, a_2-n_3, a_3-n_2, a_4-n_1; b_1-m_2, a_2-n_3, a_3-n_2, b_2-m_1) \quad (4.58)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i \cong (a_1n_1, a_2n_2, a_3n_3, a_4n_4; b_1m_1, a_2n_2, a_3n_3, b_2m_2) (\tilde{A}^i > 0, \tilde{B}^i > 0) \quad (4.59)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i \cong (a_1n_4, a_2n_3, a_3n_2, a_4n_1; b_1m_2, a_2n_3, a_3n_2, b_2m_1) (\tilde{A}^i > 0, \tilde{B}^i < 0) \quad (4.60)$$

$$\tilde{A}^i \otimes \tilde{B}^i \cong (a_4n_4, a_3n_3, a_2n_2, a_1n_1; b_2m_2, a_3n_3, a_2n_2, b_1m_1) (\tilde{A}^i < 0, \tilde{B}^i < 0) \quad (4.61)$$

$$\tilde{A}^i \oslash \tilde{B}^i \cong (a_1/n_4, a_2/n_3, a_3/n_2, a_4/n_1; b_1/m_2, a_2/n_3, a_3/n_2, b_2/m_1) (\tilde{A}^i > 0, \tilde{B}^i > 0) \quad (4.62)$$

$$\tilde{A}^i \oslash \tilde{B}^i \cong (a_1/n_1, a_2/n_2, a_3/n_3, a_4/n_4; b_1/m_1, a_2/n_2, a_3/n_3, b_2/m_2) (\tilde{A}^i > 0, \tilde{B}^i < 0) \quad (4.63)$$

$$\tilde{A}^i \oslash \tilde{B}^i \cong (a_4/n_1, a_3/n_2, a_2/n_3, a_1/n_4; b_2/m_1, a_3/n_2, a_2/n_3, b_1/m_2) (\tilde{A}^i < 0, \tilde{B}^i < 0) \quad (4.64)$$

Ayrıca Kumar ve Bajaj'ın (2014) çalışmasında sezgisel bulanık sayılarda net bugünkü değerın nasıl hesaplanması gerektiği gösterilmiştir. \tilde{A}^i nakit akışları ve \tilde{B}^i faiz oranlarıdır:

$$\begin{aligned} \text{NBD} = & \sum_{t=0}^n (a_1)/(n_1)^t, (a_2)/(n_2)^t, (a_3)/(n_3)^t ; (b_1)/(m_1)^t, (a_2)/(n_2)^t, (b_2)/(m_2)^t, \tilde{A}^i < 0, \\ & + \sum_{t=0}^n (a_1)/(n_3)^t, (a_2)/(n_2)^t, (a_3)/(n_1)^t ; (b_1)/(m_2)^t, (a_2)/(n_2)^t, (b_2)/(m_1)^t, \tilde{A}^i > 0 \end{aligned} \quad (4.65)$$

Ayrıca bir üçgensel sezgisel bulanık sayıyı bulanıklıktan kurtarıp beklenen değerini bulmak için Nagoorgani ve Ponnalagu (2012) şöyle bir model önermişlerdir:

$$E(\tilde{A}^i) = (a_1 + 4a_2 + a_3 + b_1 + b_2)/8 \quad (4.66)$$

Yukarıdaki ifade yamuk sezgisel bulanık sayıya çevrilmek istenirse en olabilir değer iki kritik değere sahip olacağı için 4 kat sayısı bu iki kritik değer her birine 2 kat sayısı verilerek paylaşılır(Ye'nin (2010) çalışmasında da yamuk sezgisel bulanık sayıların beklenen değeri için benzer bir ifade kullanılmıştır):

$$E(\tilde{A}^i) = (a_1 + 2a_2 + 2a_3 + a_4 + b_1 + b_2)/8 \quad (4.67)$$

Elbette üyelik derecesi 1 olan a_2 ve a_3 'ün ağırlıkları artırılabilir. Söz gelimi 2 yerine her biri için 4'er birimlik ağırlık kullanılırsa toplam 12'ye bölünerek beklenen değer elde edilebilir. Bu durum sayının belirsizlik ifade eden kritik noktaların model içinde daha az etkili olmasına neden olacaktır:

$$E(\tilde{A}^i) = (a_1 + 4a_2 + 4a_3 + a_4 + b_1 + b_2)/12 \quad (4.68)$$

Kumar ve Bajaj (2014) bu nedenle sezgisel bulanık sayıların durulaştırılması için en olabilir değer doğası ve şiddetine göre ağırlıklandırılmasını önermişlerdir. Genel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$E(\tilde{A}^i) = (a_1 + ka_2 + ka_3 + a_4 + b_1 + b_2)/(4+2k) \quad (4.70)$$

4.6 Sayılar Arası Geçiş İşlemleri

Bulanık sayılardan klasik sayılara ve sezgisel bulanık sayılardan bulanık sayılara geçişte bazı işlemler mevcuttur. Bir çok çalışmada kavramların kıyaslanabilmesi ve bulanık prosesin devamı için bu sayıların birbirleri arasındaki geçişe ihtiyaç duyulmaktadır.

4.6.1 Bulanık sayıların durulaştırılması (defuzzification)

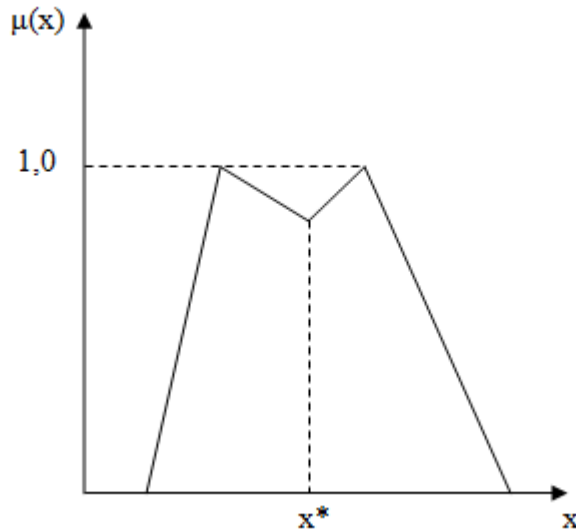
Bulanık sayıların klasik sayılara çevrilmesi işlemine bulanık sayıların durulaştırılması denilmektedir. Bulanık sayıların kıyaslanması için de kullanılabileceği gibi esas olarak bulanık prosesin devam etmesi için kullanılmaktadır. Ross(1995) bulanık sayıların durulaştırma metotlarından bazılarını derlemiştir.

4.6.1.1 Ağırlık merkezi yöntemi

İlk kez Soreno(1985) tarafından önerilen ağırlık merkezi yöntemi en çok kullanılan durulaştırma yöntemlerinden biridir. Toplam bulanık kümeyi kütesel olarak 2 eş parçaya ayıran noktayı bulmayı amaçlamaktadır. Matematikte kullanılan ağırlık merkezi hesaplamasıyla sonuca gidilir:

$$x^* = \left(\int_a^b \mu_{\tilde{A}}(x) x dx \right) / \left(\int_a^b \mu_{\tilde{A}}(x) dx \right) \quad (4.71)$$

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken 2 veya daha fazla bulanık sayının oluşturduğu kümenin ağırlık merkezi bulunmadan önce bu bulanık sayıların üyelik fonksiyonlarına birleşim işlemi uygulanmalıdır. Daha sonraki aşamada ise proses yukarıdaki formül ile devam etmektedir. Şekil 4.9 ile bu durum ve ağırlık merkezi ile durulaştırma yöntemi açıklanmıştır.



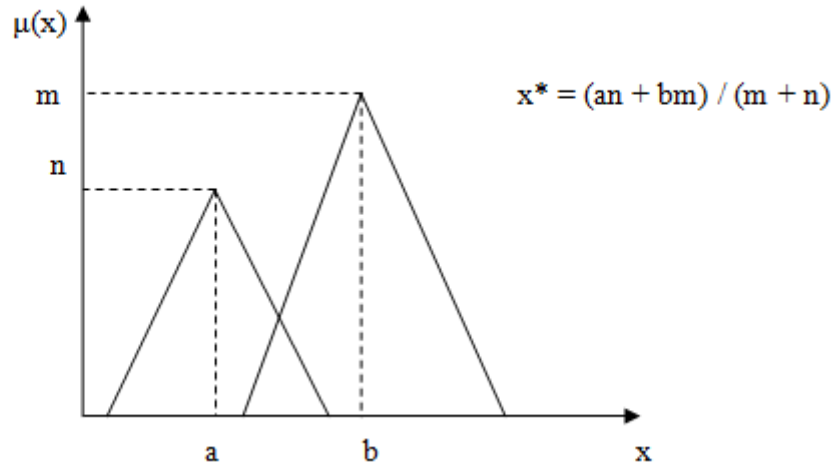
Şekil 4.9: Ağırlık merkezi ile durulaştırma yöntemi.

4.6.1.2 Ağırlıklı ortalama yöntemi

Bu yöntem ile üyelik dereceleri ve en olabilir değer değişkeni üzerinden durulaştırma işlemi yapılmaktadır. Yöntem sadece simetrik üyelik fonksiyonuna sahip bulanık sayılar için kullanılmaktadır. Matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$x^* = \sum \mu_{\tilde{A}}(x) x / \sum \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.72)$$

Grafik olarak ise şekil 4.10'da gösterilmiştir:

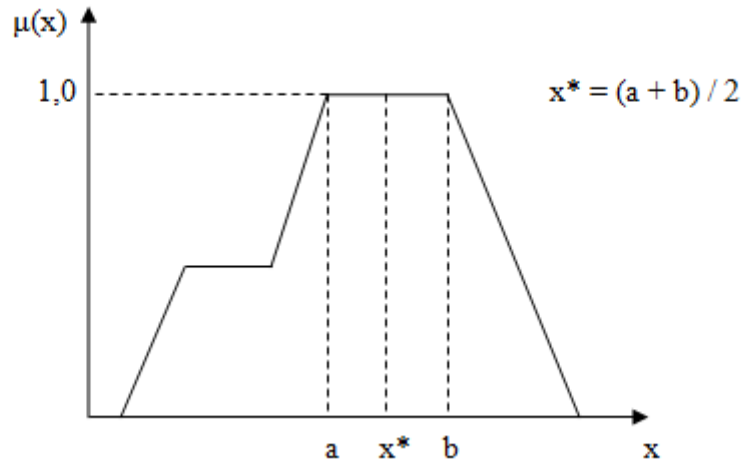


Şekil 4.10: Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma.

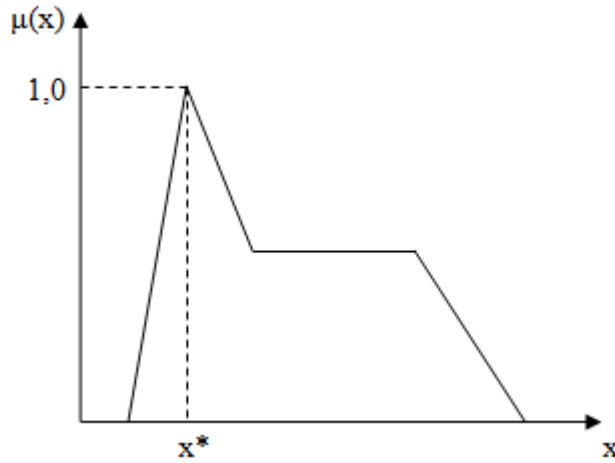
4.6.1.3 En büyük üyelik değeri-ortalama yöntemi

Bir bulanık küme setinde bulunan yamuk bulanık sayılardan en yüksek üyelik değerine sahip elemanların ortalamasının alınması ile bulunmaktadır. Üçgensel bulanık sayılarda ise bu metot yükseklik yöntemi olarak geçmektedir. En yüksek üyelik fonksiyonuna sahip eleman bulanık bir sayının durulaştırılmış halidir.

Yamuk bir sayıda en büyük üyelik değeri-ortalama yöntemi şekil 4.10'da ve üçgensel bir sayıda yükseklik yöntemi şekil 4.11'da gösterilmiştir.



Şekil 4.11: En büyük üyelik değeri-ortalama yöntemi ile durulaştırma.

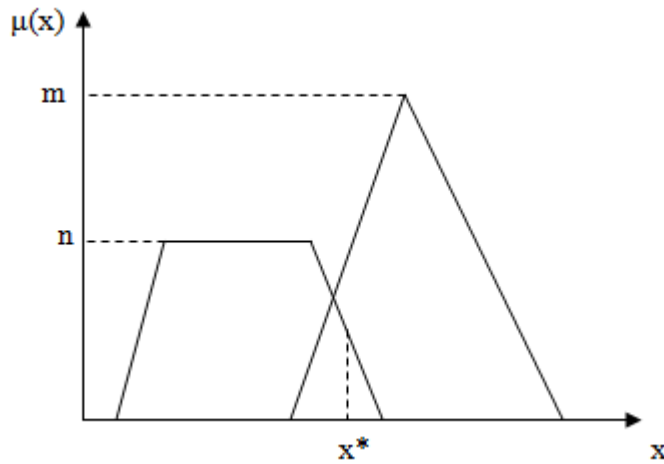


Şekil 4.12: Yükseklik yöntemi ile durulaştırma.

4.6.1.4 Toplamların ortası yöntemi

Toplamların ortalaması yöntemi yine bir çeşit ağırlık merkezi bulmayı hedeflemektedir. Ancak ağırlık merkezi ile durulaştırmadan farkı işlem yapılmadan önce üyelik fonksiyonlarına bir birleşim işlemi uygulanmamasıdır. Aşağıda fonksiyon ifadesi verilen yöntemin grafik ile ifadesi ise şekil 4.12’de gösterilmektedir.

$$x^* = \frac{\sum \int_a^b \mu_{\tilde{A}}(x) x dx}{\sum \int_a^b \mu_{\tilde{A}}(x) dx} \quad (4.73)$$



Şekil 4.13: Toplamların ortası yöntemi ile durulaştırma.

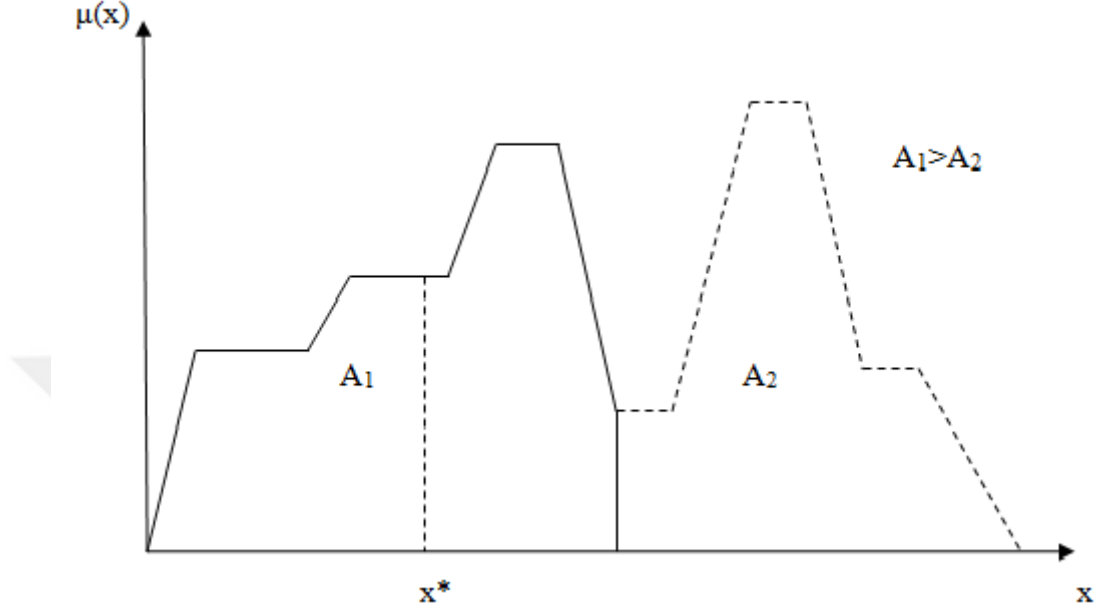
4.6.1.5 En büyük alanın ortası yöntemi

Bu yönteme göre eğer bulanık küme iki veya daha fazla alt kümeden oluşuyor ise en büyük üyelik kümesi alanına sahip alt küme seçilerek ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılır.

Eğer \tilde{A} bulanık kümesi maksimum alana sahipse:

$$x^* = \left(\int_a^b \mu_{\tilde{A}}(x) x dx \right) / \left(\int_a^b \mu_{\tilde{A}}(x) dx \right) \quad (4.74)$$

İfade grafik ile şekil 4.13'deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 4.14: En büyük alanın ortası yöntemi.

4.6.2 Sezgisel bulanık sayılardan tip-1 bulanık sayılara geçiş işlemleri

Sezgisel bulanık sayılardan tip-1 bulanık sayılara geçiş işlemleri ilk olarak prosesin veya modelin devam etmesini amaçlar. Diğer taraftan sezgisel bulanık bir prosteden elde edilen sonuçların karşılaştırılması için bir dönüşüme de ihtiyaç vardır. Elde edilen sezgisel bulanık sayılar tip-1 bulanık sayılarına çevrilebilir ve genelde sıralama yöntemleri ve yukarıda açıklanan durulaştırma yöntemleri vasıtasıyla klasik sayılara çevrilerek karşılaştırılabilir. Ansari ve diğerleri (2010) sezgisel bulanık sayılardan tip -1 bulanık sayılara geçişte 3 yöntem önermişlerdir.

4.6.2.1 Tereddüt payının yüksek olan tarafa eklenmesi

Bir sezgisel bulanık sayıda bulunan her bir elemanın üyelik değeri ve üye olmama değerinden hangisi daha yüksekse tereddüt payının o değere eklenmesiyle tip-1 bulanık sayının elde edilmesi işlemidir. (“*” yeni değerleri göstermektedir.)

Eğer $\mu_{\tilde{A}}^i > V_{\tilde{A}}^i$ ise;

$$\mu_{\tilde{A}}^{*i} = \mu_{\tilde{A}}^i + \pi_{\tilde{A}}^i, V_{\tilde{A}}^{*i} = V_{\tilde{A}}^i \quad (4.75)$$

Eğer $\mu_{\bar{A}}^i < V_{\bar{A}}^i$ ise;

$$V_{\bar{A}}^{*i} = V_{\bar{A}}^i + \pi_{\bar{A}}^i, \mu_{\bar{A}}^{*i} = \mu_{\bar{A}}^i \quad (4.76)$$

4.6.2.2 Tereddüt payının eşit olarak dağıtılması

Bir sezgisel bulanık sayıdaki her bir elemana ait tereddüt payının üye olma ve üye olmama değerlerine eşit olarak dağıtılmasıyla sezgisel bulanık sayının tip-1 bulanık sayıya çevrilmesi işlemidir.

$$\mu_{\bar{A}}^{*i} = \mu_{\bar{A}}^i + \pi_{\bar{A}}^i/2 \quad (4.77)$$

$$V_{\bar{A}}^{*i} = V_{\bar{A}}^i + \pi_{\bar{A}}^i/2 \quad (4.78)$$

4.6.2.3 Tereddüt payının orantısız olarak dağıtılması

Bir sezgisel bulanık sayının her elemanına ait tereddüt payının üye olma ve üye olmama değerlerine bu değerlerin o elemandaki oranını değiştirmeyecek şekilde eklenmesi işlemidir.

$$\mu_{\bar{A}}^{*i} = \mu_{\bar{A}}^i + \pi_{\bar{A}}^i(\mu_{\bar{A}}^i / (\mu_{\bar{A}}^i + V_{\bar{A}}^i)) \quad (4.79)$$

$$V_{\bar{A}}^{*i} = V_{\bar{A}}^i + \pi_{\bar{A}}^i(V_{\bar{A}}^i / (\mu_{\bar{A}}^i + V_{\bar{A}}^i)) \quad (4.80)$$

4.7 Bulanık Analitik Hiyerarşik Prosesi Modelleri

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ilk olarak Saaty (1980) tarafından önerilmiş uzmanların sezgisel görüşlerinden yola çıkan bir çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Proses sonunda bir amacı olan bu modelde, bir çok alternatif arasından genellikle biri belli kriterler doğrultusunda seçilir. Karar verme süreçleri arasındaki en büyük avantajı sayılabilen ve sayılamayan değişkenlerin bir arada kullanılabilmesine imkan vermesidir. Böylelikle bir çok yöntemin eksiği olan soyut, sayılamayan değişkenlerin karar verme süreçlerine eklenmesi mümkün kılınmıştır. Diğer taraftan veri ihtiyacı da daha düşük düzeyde olduğu için bir çok vakada uygulanabilirlik açısından diğer yöntemlerin önüne geçmektedir.

Proses dört ana basamakta incelenebilir. İlk aşamada problem ve aranan belirlenir. İkinci aşamada ana hedefin en üste yer aldığı, kriterlerin en üst düzeyden alta doğru sıralandığı bir karar hiyerarşisi düzenlenir. Üçüncü aşamada ağırlıkları (öncelikleri) belirlemek için kriterlerin kendi arasında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Ayrıca alternatifler de kriterlere göre ikili karşılaştırma matrisleri ile kıyaslanır. Son

aşamada ise her bir alternatifin karar vericinin belirlediği ağırlıklarla çarpılması ile son değerleri elde edilir. En yüksek değere sahip alternatif belirlenir. Bu aynı zamanda prosesin ana hedefidir.

Daha sonra Saaty'nin AHP yöntemi belirsizliğin daha geniş modellenmesi için bulanık sayıların dahil edildiği daha kapsamlı modellerle ele alınmıştır. Bu modellerde ikili karşılaştırmalar için kullanılan sayısal ifadeler bulanık olarak kullanılmıştır. Bulanık AHP yöntemlerinin açıklanacağı bu bölümde Buckley'nin 1985 yılında önerdiği model ve Chang ve diğerlerinin 1996 yılında önerdiği modeller incelenecektir. Sezgisel reel opsiyon değerlemesinin ana konu olduğu bu tezde, tezdeki modelin güvenilirliği açısından sezgisel bir AHP modeli kullanılmayacaktır. Bu nedenle de konu anlatımında yer verilmemiştir.

4.7.1 Buckley Bulanık AHP yöntemi

Buckley 1985 yılındaki çalışmasında Saaty'nin klasik AHP yöntemini bulanık sayılarla modelleyerek geliştirmiştir. Buckley bulanık sayıları ikili karşılaştırmalar yaparken kullanılan dilsel ifadelerin sayısal değerlerini ifade ederken kullanmıştır. Bu çalışmada tercih edilmesinin nedeni literatürde diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmesidir. Ayrıca yamuk bulanık sayılı versiyonu daha çok kullanıldığı için yamuk bulanık sayılarla açıklanacaktır.

Buckley'nin modelinin çıkış noktası Saaty'nin klasik AHP yöntemidir. Ancak normalizasyon işlemi klasik yöntemin aksine ortalama alınma işleminden sonra yapılır. Ayrıca klasik AHP yönteminde aritmetik ortalama kullanılırken, bu yöntemde geometrik ortalama kullanılmaktadır.

Yöntemde ilk olarak kriterlerin kendi aralarındaki ikili karşılaştırmaları ve o kriter başlığı altındaki alternatiflerin ikili karşılaştırmaları kıyas ölçeğine göre yamuk bulanık sayı olarak ifade edilir. Kıyas değerleri $\tilde{a}_{ij} = (a_{1ij}, a_{2ij}, a_{3ij}, a_{4ij})$ ifadesiyle kullanılır (i 'ler her bir satırı, j 'ler ise her bir sütunu temsil eder). Kıyas matrislerindeki her bir satır için geometrik ortalama alındıktan sonra kriterlerin bulanık ağırlıklarına (\tilde{w}_i) ve alternatiflerin kriter bazlı bulanık performans değerlerine (\tilde{p}_i) şu şekilde ulaşılır:

$$\tilde{r}_i = [\prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}]^{1/n} \quad (4.81)$$

$$\tilde{s}_i = [\prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}]^{1/n} \quad (4.82)$$

Geometrik ortalamalar alındıktan sonra bulanık ağırlık ve bulanık performans değerleri elde edilir:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i * [\sum_{i=1}^n \tilde{r}_i]^{-1} \quad (4.83)$$

$$\tilde{p}_i = \tilde{s}_i * [\sum_{i=1}^n \tilde{s}_i]^{-1} \quad (4.84)$$

Bulanık ağırlık ve bulanık performans değerleri elde etme aşamaları bütün süreç için uygulanır. Her bir alternatif için o kriter bazında elde edilen bulanık performans değerleri o kriterin bulanık ağırlık değeri ile çarpılarak toplanır ve o alternatifin final bulanık sayı değeri elde edilir:

$$\tilde{F}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \tilde{p}_{ij} \quad (4.85)$$

Son aşamada ise elde edilen final bulanık sayı değerleri Carlsson ve Fuller'in yamuk bulanık sayıların beklenen değeri formülü ile kıyaslanabilir:

$$\tilde{F}_i = (f_{i1} + 2f_{i2} + 2f_{i3} + f_{i4})/6 \quad (4.86)$$

İkili karşılaştırmalar yapılırken dilsel ifadelerin sayısal değerleri olduğundan bahsedilmiştir. Tolga (2009) 'dan alınan ikili karşılaştırma kıyas ölçeği Çizelge 4.2'deki gibidir.

Çizelge 4.2: İkili karşılaştırma kıyas ölçeği.

Dilsel İfade	Sayısal Değeri
Önemi en az	(1/6, 1/5, 1/4, 1/3)
Önemi daha az	(1/4, 1/3, 1/2, 1)
Eşitliği daha az	(1/2, 2/3, 2/3, 1)
Eşitliği tam	(1, 1, 1, 1)
Eşitliği daha fazla	(1, 3/2, 3/2, 2)
Önemi daha fazla	(1, 2, 3, 4)
Önemi en çok	(3, 4, 5, 6)

4.7.2 Chang Bulanık AHP yöntemi

Buckley'nin önerdiği Bulanık AHP modeli aksine Chang'ın modelinde tip-1 üçgensel bulanık sayılar kullanılmaktadır. Chang 1992 yılında kendi önerdiği derece analizi ve sentetik karar vermeyi genişleterek ikili karşılaştırmaların birbirine üstünlükleri için kullanmış ve bir Bulanık AHP modeli önermiştir. Sentetik değerler $\tilde{S}_i = (a_i, b_i, c_i)$ ve ikili karşılaştırmadan elde edilen değerler $\tilde{M}_{ij} = (k_{ij}, l_{ij}, m_{ij})$ olmak üzere ilk önce sentetik değerler hesaplanır:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{ij} \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{ij}]^{-1} \quad (4.87)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{ij} = (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij}) \quad (4.88)$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{ij}]^{-1} = (1 / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij}, 1 / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij}, 1 / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_{ij}) \quad (4.89)$$

$$\sum_{j=1}^m \tilde{M}_{ij} = (\sum_{j=1}^m k_{ij}, \sum_{j=1}^m l_{ij}, \sum_{j=1}^m m_{ij}) \quad (4.90)$$

Daha sonra her bir kriterin veya alternatifin sentetik değerleri ikili karşılaştırmaya alınır. $\tilde{S}_1 = (a_1, b_1, c_1)$ ve $\tilde{S}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ olmak üzere \tilde{S}_1 'in \tilde{S}_2 'den büyük olma olasılığı şu şekilde tanımlanır:

$$V(\tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2) = \sup_{x \geq y} [\min. (\mu_{\tilde{S}_1}(x), \mu_{\tilde{S}_2}(y))] \quad (4.91)$$

Daha sonra bu formülden yola çıkılarak ikili karşılaştırma dereceleri elde edilir:

$$V(\tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2) = \text{yüks. } (\tilde{S}_1 \cap \tilde{S}_2) = \mu_{\tilde{S}_1}(d) = \begin{cases} 1 & b_1 \geq b_2 \\ 0 & a_2 > c_1 \\ (a_2 - c_1) / (b_1 - c_1) - (b_2 - a_2) & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.92)$$

Diğer olarak ifade edilen d değeri iki sayının en yüksek kesişim noktasının üyelik derecesi değeridir.

Bir alternatif veya kriter için elde edilen tüm \tilde{S}_i derecelerinin minimumu o alternatif veya kriterin derecesini verir.

$$V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2 \geq \dots \geq \tilde{S}_k) = \min V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_i) \quad (4.93)$$

$$d'(A_i) = \min V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_k) \quad (4.94)$$

Diğer alternatif veya kriterler için de yapıldığında ağırlık vektörü belirlenir:

$$W' = [d'(A_1), d'(A_2), d'(A_3), \dots, d'(A_i)]^T \quad (4.95)$$

Daha sonra bu değerler normalize edilir:

$$W = [d(A_1), d(A_2), d(A_3), \dots, d(A_i)]^T \quad (4.96)$$

Burada W bulanık olmayan bir sayıdır.

4.8 Bulanık Sayılarda Bütünleştirme İşlemleri

Bulanık AHP, bulanık TOPSIS vb. gibi uzman görüşüne dayanan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinde amaca ulaşmak için tek bir kişinin görüşünün yanıltıcı olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle birden fazla uzmanın görüşüne göre ortak karar verilmesi gerektiği savunulmaktadır. Birden fazla karar vericinin ortak kararının bulunması için karar vericilerin seçtiği bulanık kıyas değerlerine bulanık sayıların bütünleştirilmesi işlemleri uygulanır. Daha sonra işlemler en başından sanki tek karar verici varmış uygulanır ve amaca, karara ulaşılır.

4.8.1 Klasik bulanık sayılarda bütünleştirme yöntemleri

Klasik bulanık sayılarda bütünleştirme işlemi için birden fazla yöntem mevcuttur. Bu çalışmada minimum, maksimum ve geometrik ortalama operatörlerinin birlikte kullanıldığı yöntem, geometrik ortalama yöntemi, aritmetik ortalama yöntemi ve harmonik ortalama yöntemi açıklanacaktır. Bu yöntemlerden ilk olarak minimum, maksimum ve geometrik ortalama operatörlerinin birlikte kullanıldığı bulanık bütünleştirme yöntemi açıklanacaktır (Büyüközkam ve Feyzioğlu, 2004; Chang ve diğ., 2009; Meixner, 2010):

$$\tilde{A}^i = (\min. (a_{1k}), (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, \max. (a_{3k})) \quad (4.97)$$

Üçgensel bulanık sayı şeklinde verilen bu ifadeler yamuk bulanık sayılara da uygulanabilir:

$$\tilde{A}^i = (\min. (a_{1k}), (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{3k})^{1/K}, \max. (a_{4k})) \quad (4.98)$$

Yukarıda kullanılan “k” sembolü karar vericiyi, “K” sembolü ise toplam karar verici sayısını ifade etmektedir.

Diğer taraftan alt ve üst değerler arasında çok fazla fark varsa minimum ve maksimum operatörleri tatmin edici sonuçlar vermez. Bu yüzden tüm süreçte geometrik ortalama operatörü kullanılır. AHP yönteminin kullanıldığı modellerde genelde geometrik ortalama operatörü bütünleştirme işlemi için kullanılır (Davies, 1994; Meixner, 2010):

$$\tilde{A}^i = ((\prod_{k=1}^K a_{1k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{3k})^{1/K}) \quad (4.99)$$

Yamuk bulanık sayılar için:

$$\tilde{A}^i = ((\prod_{k=1}^K a_{1k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{3k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{4k})^{1/K}) \quad (4.100)$$

Diğer bir bütünleştirme işlemi ise aritmetik ortalama operatörünün kullanıldığı yöntemdir:

$$\tilde{A}^i = ((\sum_{k=1}^K a_{1k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{2k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{3k})/K) \quad (4.101)$$

Yamuk bulanık sayılar için:

$$\tilde{A}^i = ((\sum_{k=1}^K a_{1k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{2k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{3k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{4k})/K) \quad (4.102)$$

Bulanık sayıların bütünleştirilmesinde harmonik ortalama da kullanılmaktadır:

$$\tilde{A}^i = [(K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{1k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{2k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{3k}))] \quad (4.103)$$

Yamuk bulanık sayılar için:

$$\tilde{A}^i = [(K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{1k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{2k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{3k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{4k}))] \quad (4.104)$$

4.8.2 Sezgisel bulanık sayılarda bütünleştirme işlemi

Literatürde üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının kritik değerlerinin eşit olduğu ancak en olabilir değer 1 olmadığı, üye olmama derecesine ve tereddüt payına sahip olduğu sezgisel bulanık sayılar için bütünleştirme yöntemleri mevcuttur. Wang ve Zhang (2009), Wan (2010) gibi yazarların çalışmalarında bütün kritik değerleri normal tipte bulanık sayı gibi bütünleştirmiştir. Diğer taraftan üye olma ve üye olmama derecelerini Atanassov'a göre belirlemişlerdir.

Bu operatörlerde sadece en olabilir değer üye olma derecesi $\mu=1$ ve üye olmama derecesi $V=0$ alınırsa bütünleştirme sonunda da bu değerler 1 ve 0 olacaktır. Böylelikle sezgisel bir bulanık sayının bütünleştirilme işlemleri şu şekilde ifade edilebilir.

Minimum, maksimum ve geometrik ortalama operatörlü:

$$\tilde{A}^i = (\min(a_{1k}), (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, \max(a_{3k}); \min(b_{1k}), (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, \max(b_{2k})) \quad (4.105)$$

Yamuk sezgisel bulanık sayı için:

$$\tilde{A}^i = (\min(a_{1k}), (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{3k})^{1/K}, \max(a_{4k}); \min(b_{1k}), (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{3k})^{1/K}, \max(b_{2k})) \quad (4.106)$$

Geometrik ortalama operatörlü:

$$\tilde{A}^i = ((\prod_{k=1}^K a_{1k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{3k})^{1/K}; (\prod_{k=1}^K b_{1k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K b_{2k})^{1/K}) \quad (4.107)$$

Yamuk sezgisel bulanık sayı için:

$$\tilde{A}^i = ((\prod_{k=1}^K a_{1k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{3k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{4k})^{1/K}; (\prod_{k=1}^K b_{1k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{2k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K a_{3k})^{1/K}, (\prod_{k=1}^K b_{2k})^{1/K}) \quad (4.108)$$

Aritmetik ortalama operatörlü:

$$\tilde{A}^i = ((\sum_{k=1}^K a_{1k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{2k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{3k})/K; (\sum_{k=1}^K b_{1k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{2k})/K, (\sum_{k=1}^K b_{2k})/K) \quad (4.109)$$

Yamuk sezgisel bulanık sayı için:

$$\tilde{A}^i = ((\sum_{k=1}^K a_{1k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{2k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{3k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{4k})/K; (\sum_{k=1}^K b_{1k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{2k})/K, (\sum_{k=1}^K a_{3k})/K, (\sum_{k=1}^K b_{2k})/K) \quad (4.110)$$

Harmonik ortalama operatörlü:

$$\tilde{A}^i = [(K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{1k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{2k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{3k})); [(K/(\sum_{k=1}^K 1/b_{1k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{2k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/b_{2k}))]] \quad (4.111)$$

Yamuk sezgisel bulanık sayılar için:

$$\tilde{A}^i = [(K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{1k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{2k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{3k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{4k}))]; [(K/(\sum_{k=1}^K 1/b_{1k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{2k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/a_{3k})), (K/(\sum_{k=1}^K 1/b_{2k}))]] \quad (4.112)$$

5. BULANIK REEL OPSİYON DEĞERLEME YÖNTEMLERİ

Opsiyon değerlendirme modelleri gerçek hayat yatırım projelerinin değerlemesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Modelin girdilerinde bulunan standart sapma değişkeni ile gelecek nakit akışlarının belirsizliğini içerecek şekilde değerlendirme yapıldığından klasik değerlendirme yöntemlerine tercih edilebilmektedir. Ancak nakit akışlarının ve yatırım maliyetinin, model öncesinde elde edilen veri ve tahminlerinden kaynaklanan belirsizliği nedeniyle bu sayılar çoğu zaman tek bir sayı ile ifade edilememektedir. Bu gibi durumlarda bu sayıların bulanık olarak ifade edilmesi ile bu sorun çözülebilmektedir. Böylelikle karar verici belirsizlikten kaynaklanan riskleri daha geniş bir kapsamda modelleyebilecektir.

Klasik reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinde belirsizliği ifade etmek için kullanılan standart sapma değişkeni genel olarak tarihsel volatilité ile ifade edilmektedir. Diğer taraftan bulanık sayıların varyansının hesaplanabilmesi, modeldeki standart sapma değişkeninin alternatif bir ifade ile kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

5.1 Carlsson ve Fuller Bulanık Reel Opsiyon Değerleme Modeli

Carlsson ve Fuller (2003), reel opsiyonların ve finansal opsiyonların değerlemesinde kullanılan Black & Scholes modelini geliştirerek bir bulanık reel opsiyon değerlendirme yöntemi elde etmişlerdir. Carlsson ve Fuller, nakit akışları ve yatırım maliyetinin tek bir sayı ile ifade edilememesi sorunundan yola çıkarak bu sayıları bulanık olarak kullanarak bir bulanık reel opsiyon değerlendirme modeli elde etmişlerdir.

5.1.1 Temettüsüz Carlsson ve Fuller bulanık reel opsiyon değerlendirme modeli

Öncelikle Black & Scholes'un ilk olarak önerdikleri ve nakit akışlarından her hangi bir temettü ödemesinin olmadığı modelin bulanık sayı versiyonu açıklanacaktır. Black & Scholes modelinde tanımlanan değişkenlere ek olarak bulanık nakit akışları ve bulanık yatırım maliyeti değişkenleri şu şekilde tanımlanır:

\tilde{C} = Bulanık reel opsiyon değeri

\tilde{S}_0 = Nakit akışlarının bulanık bugünkü değeri

\tilde{K} = Yatırım maliyetinin bulanık değeri

$$\tilde{C} = \tilde{S}_0 N(d_1) - \tilde{K}e^{-rt}N(d_2) \quad (5.1)$$

$$d_1 = [\ln(E(\tilde{S}_0) / E(\tilde{K})) + (r + \sigma^2/2)T] / (\sigma\sqrt{T}) \quad (5.2)$$

$$d_2 = [\ln(E(\tilde{S}_0) / E(\tilde{K})) + (r - \sigma^2/2)T] / (\sigma\sqrt{T}) = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (5.3)$$

Kümülatif standart normal dağılım değişkenleri hesaplanırken nakit akışlarının bulanık bugünkü değeri ve yatırım maliyetinin bulanık değeri kendi içlerinde beklenen değeri alınarak klasik sayıya dönüştürülür. Bu işlemde sonra “d” değişkenleri klasik sayı olarak hesaplanabilir.

5.1.2 Temettülü Carlsson ve Fuller bulanık reel opsiyon değerlendirme modeli

Carlsson ve Fuller önerdikleri modelde Merton’un Black & Scholes’un modeline eklediği temettü dağıtım değişkenini de kullanmışlardır. Nakit akışlarında belirli bir azalmaya neden olacak temettü dağıtım değişkeni üstel bir fonksiyon olarak modele eklenmiştir.

$$\tilde{C} = \tilde{S}_0e^{-\delta T}N(d_1) - \tilde{K}e^{-rt}N(d_2) \quad (5.4)$$

$$d_1 = [\ln(E(\tilde{S}_0) / E(\tilde{K})) + (r - \delta + \sigma^2/2)T] / (\sigma\sqrt{T}) \quad (5.5)$$

$$d_2 = [\ln(E(\tilde{S}_0) / E(\tilde{K})) + (r - \delta - \sigma^2/2)T] / (\sigma\sqrt{T}) = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (5.6)$$

Temettüsüz model açıklanırken kümülatif standart normal dağılım değişkeninin değerini bulmak için nakit akışlarının bulanık bugünkü değeri ve yatırım maliyetinin bulanık değerinin beklenen değerinin alınması gerekliliğinden bahsedilmiştir. Carlsson ve Fuller 2001 yılındaki çalışmalarına atıfta bulunarak bu beklenen değerlerin sağ-sol bulanık sayılara göre şu şekilde hesaplanabileceğinden bahsetmişlerdir (kullanılan harf notasyonları 4.10 ve 4.12 denklemlerinden elde edilmiştir.) :

$$E(\tilde{A}) = (a + b)/2 + (n - b)/6 \quad (5.7)$$

Bu formülasyon yamuk şekilde ifade edilen bulanık sayılar için şu halini almaktadır:

$$E(\tilde{A}) = (a_1 + 2a_2 + 2a_3 + a_4)/6 \quad (5.8)$$

Modelde Carlsson ve Fuller yine 2001 yılındaki çalışmalarına atıfta bulunarak standart sapma değişkenini tanımlamışlardır. Sağ-sol bulanık sayı şeklinde ifade edilen standart sapmanın formülü şu şekildedir:

$$\sigma^2 (\tilde{A}) = [(b - a)^2/4] + [(b - a)(n + m)/6] + [(n + m)^2/24] \quad (5.9)$$

Bu ifade tip-1 yamuk sayılar için aşağıdaki şeklini alır:

$$\sigma^2 (\tilde{A}) = (a_3 - a_2)^2/4 + ((a_3 - a_2)(a_4 - a_1))/6 + (a_4 - a_1)^2/24 \quad (5.10)$$

Modelde belirsizlik ifadesinde kullanılan standart sapma değeri nakit akışlarının bulanık bugünkü değerine yukarıdaki varyans formülünün uygulanmasıyla bulunur. Bu değer varyansı hesaplandıktan sonra standart sapması hesaplanır. En son aşamada ise nakit akışlarının bulanık bugünkü değerinin standart sapmasının nakit akışlarının beklenen değerine (yukarıdaki formülasyona göre) bölünmesi ile standartlaştırılır. Bu ifade modelde kullanılacak belirsizlik değeridir:

$$\sigma = \sigma (\tilde{S}_0) / E(\tilde{S}_0) \quad (5.11)$$

5.2 Bulanık Sayılarla Kafes Opsiyon Fiyatlama Modelleri

Opsiyona konu olan dayanak varlık piyasa fiyatının ve kullanım fiyatının bulanık olarak ifade edildiği ve piyasa fiyatı hareketlerinin olası değerlerinin belirli zaman aralıklarında adım adım değiştiği opsiyon fiyatlama modelidir. Her bir adımda adım sayısının bir fazlası kadar farklı değer elde edildiği için şekli nedeniyle kafes opsiyon fiyatlama modeli olarak adlandırılmaktadır. Bu adım adım ilerleme aynı zamanda Amerikan tipi opsiyon fiyatlamasında da kullanılabilir.

Bir sonraki döneme geçişler artış ve azalış olarak iki yönde oluyorsa binomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli, eğer artış ve azalış ek olarak bir sonraki döneme sabit olarak da geçiş oluyorsa trinomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli olarak adlandırılmaktadırlar.

5.2.1 Binomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli

Dayanak varlık fiyatının bulanık sayı olarak ifade edildiği ve bu fiyatın belirli olasılıkla bir sonraki döneme artış ve azalış olarak geçtiği opsiyon fiyatlama modelidir. Klasik binomial opsiyon fiyatlama yönteminden farkı dayanak varlık ve kullanım fiyatının bulanık sayılarla ifade edilmesidir. Bazı çalışmalarda bir sonraki

döneme geçişte kullanılan artış ve azalış oranları da bulanık sayı olarak ifade edilmektedir.

Konuyu daha iyi anlamak adına binomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli tek dönemli ve çok dönemli binomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli olarak iki başlıkta incelenecektir.

5.2.1.1 Tek dönemli binomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli

Binomial bulanık opsiyon fiyatlama modelindeki değişkenler arası ilişkilerin daha sade ve net şekilde anlaşılması için ilk önce tek dönemlik fiyatlama modeli ele alınacaktır:

\tilde{C} = Opsiyon fiyatının bulanık bugünkü değeri

\tilde{S}_0 = Dayanak varlık fiyatının bulanık bugünkü değeri

\tilde{K} = Kullanım fiyatının bulanık değeri

u = Dayanak varlık fiyatının artış oranı

d = Dayanak varlık fiyatının azalış oranı

Artış durumunda bir dönem sonraki fiyat (5.12) :

$$\tilde{S}_1 = \tilde{S}_0 u \quad (5.12)$$

Azalış durumunda bir dönem sonraki fiyat (5.13) :

$$\tilde{S}_2 = \tilde{S}_0 d \quad (5.13)$$

Modelde bir p olasılıkla artış oluyorsa, 1-p olasılıkla da azalış olmaktadır. Bu artış ve azalışların olasılıkları ile çarpımlarının toplamı ancak ve ancak risksiz faiz oranı kadar getiri sağlamalıdır:

$$pu + (1-p)d = e^{r\Delta t} \quad (5.14)$$

Artışın olasılık değerinin bulunması için p çekilir:

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \quad (5.15)$$

Modelde u ve d değişimi piyasa koşullarına göre sezgisel veya bir modele bağlı olarak belirlenebilir. Genelde u değişkeninin artışı standart sapma değişkeni ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca u'nun d ile bölmenin tersi ilişkisi vardır:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (5.16)$$

$$u = 1 / d \quad (5.17)$$

Bir dönem sonraki fiyat değişimlerinden sonra alım opsiyonun değerlemesinde bulanık market fiyatları bulanık kullanım fiyatlarından çıkarılarak bir dönem sonraki bulanık opsiyon fiyatı bulunur. Eğer bu değer negatifse sözleşmeyi alan taraf alım hakkını uygulamaz:

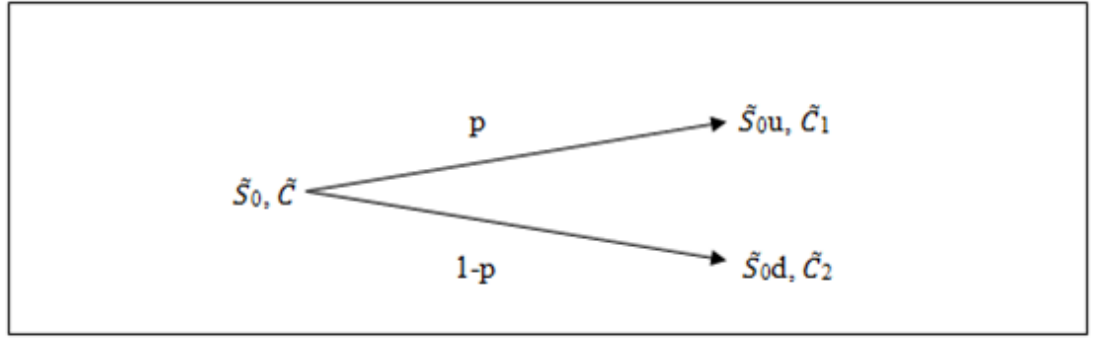
$$\tilde{C}_1 = \text{maks. } [0, \tilde{S}_1 - \tilde{K}] \quad (5.18)$$

$$\tilde{C}_2 = \text{maks. } [0, \tilde{S}_2 - \tilde{K}] \quad (5.19)$$

Bu iki değer olasılıkları ile çarpılması bir sonraki dönemin beklenen değerini verecektir. Bu değer bugüne indirgenmesi ile bulanık opsiyonun değeri ortaya çıkacaktır:

$$\tilde{C} = e^{-r\Delta t}(p\tilde{C}_1 + (1-p)\tilde{C}_2) \quad (5.20)$$

Tek dönemli bulanık değerli bir binomial ağacın yapısı Şekil 5.1’de gösterilmiştir:



Şekil 5.1: Tek dönemli binomial bulanık opsiyon fiyatlama yapısı.

5.2.1.2 Çok dönemli binomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli

Çok dönemli binomial bulanık hesaplama modelinde $n \Delta t$ 'lerin toplamıdır ve vade süresini baz alınan zaman dilimi cinsinden göstermektedir. Artış veya azalışların sonunda toplam $n + 1$ adet düğüm oluşacaktır. Ayrıca binom dağılımın doğası gereği artış ve azalışı eşit sayıya yaklaşan düğümlerin olma sıklığı artacaktır. Modelde m sayıda artış sağlamanın olasılık kütle fonksiyonu şu şekilde açıklanır:

$$f(m; n, p) = [n! / (m!(n-m)!)]p^m(1-p)^{(n-m)}, m = 0, 1, 2, \dots, n \quad (5.21)$$

Artış ve azalışlar sonunda oluşan düğümlerin her biri dayanak varlığın binom prensipleri dahilinde olası fiyat hareketlerini yansıtmaktadır. Başlangıç fiyatının n dönemde m kadar artışıyla düğümlerin son fiyatı bulunur:

$$\tilde{S}_{n,m} = \tilde{S}_0 u^m d^{n-m} \quad (5.22)$$

Her bir final düğümünün bulanık opsiyon değeri ise dayanak varlık bulanık fiyatından bulanık opsiyon değerinin çıkarılmasıyla elde edilen sayı ile 0'dan büyük olanıdır şeklinde bulunur:

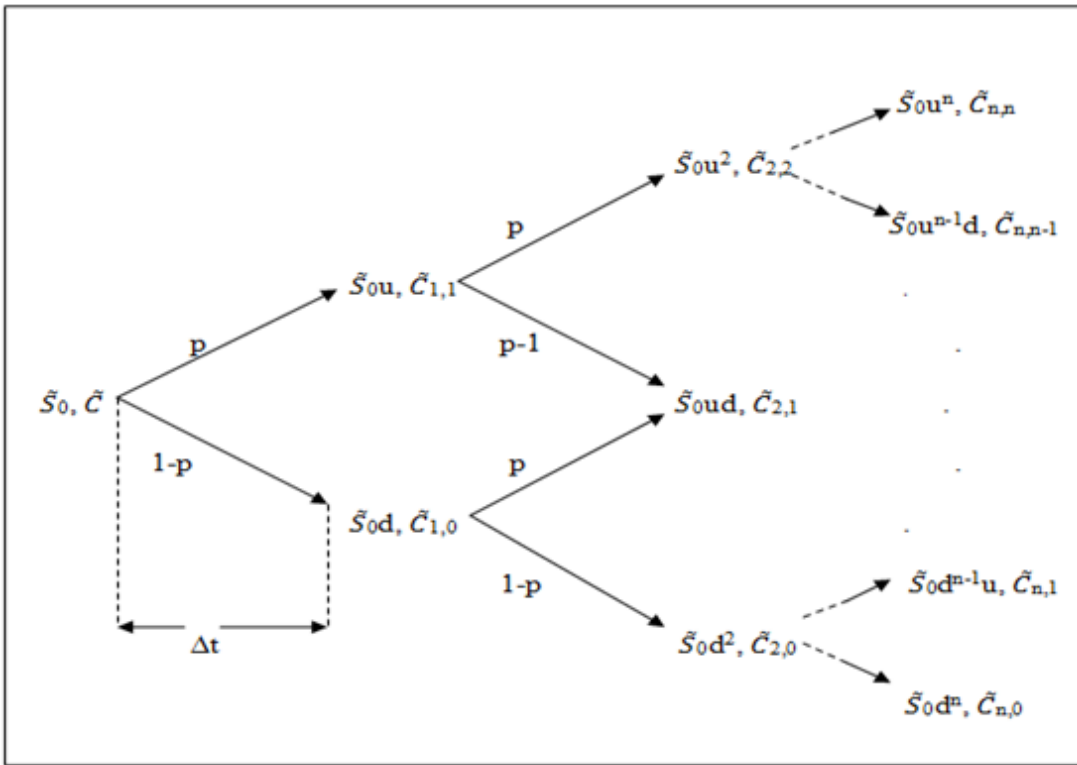
$$\tilde{C}_{n,m} = \text{maks} [0, \tilde{S}_{n,m} - \tilde{K}] \quad (5.23)$$

Her bir düğümün bulanık opsiyon değerinin kendi olasılık kütle değeri ile çarpılmış hallerinin toplamı ise opsiyonun gelecek değerini verir. Bu değer risksiz faiz oranı ile günümüze indirgenmesi ile bulanık opsiyonun değeri bulunur.

$$\tilde{C} = e^{-(m\Delta t)} (\sum [n! / (m!(n-m)!)] p^m (1-p)^{(n-m)} \text{maks}. [0, \tilde{S}_0 u^m d^{(n-m)} - \tilde{K}]) \quad (5.24)$$

$$\tilde{C} = e^{-(m\Delta t)} (\sum f(m; n, p) \tilde{C}_{n,m}) \quad (5.25)$$

Şekil 5.2'de çok dönemli binomial bulanık opsiyon değerlendirme yapısı görülmektedir:



Şekil 5.2: Çok dönemli binomial bulanık opsiyon fiyatlama yapısı.

Avrupa tipi alım opsiyonlarının bulanık sayılarla değerlendirilmesi için geçerli olan bu hesaplama yöntemi geriye doğru hesaplama prensibine dayanır. Ancak yukarıdaki formülde tek bir kalemde hesaplama yapılabilme fırsatı vardır. Diğer taraftan Amerikan tipi opsiyonları bulanık olarak değerlendirilen her bir geçmiş düğüm tek tek hesaplanarak vade süresince kullanım hakkını uygulama fırsatı da hesaba katılır:

$$\tilde{C}_{n-1,m-1} = \text{maks} [e^{-r\Delta t}(p\tilde{C}_{n,m} + (1-p)\tilde{C}_{n,m-1}), \tilde{S}_{n-1,m-1} - \tilde{K}] \quad (5.26)$$

Her bir adımda bir dönem geriye giderek $n=0$ olan şimdiki zamandaki bulanık opsiyon fiyatı bulunur.

Diğer taraftan Ho ve Liao (2011) çalışmasında u ve d artış ve azalış değerlerini de bulanık sayı olarak kullanarak modeli genişletmişlerdir. Ayrıca modelde bulanık opsiyon günümüz değerine indirgenirken denklemde üstel fonksiyon yerine “ $1 + r$ ” ifadesinin tersi kullanılmıştır.

5.2.2 Trinomial bulanık opsiyon fiyatlama modeli

Klasik trinomial opsiyon fiyatlama modelinden farklı olarak dayanak varlık ve kullanım fiyatının bulanık sayı şeklinde ifade edilmesi ile edilir. Boyle (1986) tarafından sunulan klasik modelde, binomial modele ek olarak varlık fiyatının bir sonraki dönem sabit kalabileceği varsayımını da modele ekler. Bu modelin amacı binomial modelden daha doğru ve hızlı çözüm alınabilen çözümler yaratmaktır.

Bulanık sayılar ile trinomial opsiyon değerlendirme ile Clewlow ve Strickland'tan (1998) esinlenilerek Tolga'nın (2009) çalışmasında gösterilmiştir. Değerlemedeki değişkenler “ S_0 ” Başlangıç yılı nakit akışları, “ X ” İlk yatırım maliyeti, “ Δt ” Yatırım her bir basamak zaman aralığı (yıl bazlı kullanılmıştır), “ r ” Risksiz faiz oranı, “ u ” Bir sonraki döneme geçişte nakit akışlarının artma oranı, “ d ” Bir sonraki döneme geçişte nakit akışlarının azalma oranı, “ p_u ” Bir sonraki döneme geçişte u değişikliği olma olasılığı, “ p_m ” Bir sonraki döneme geçişte sabit kalma olasılığı, “ p_d ” Bir sonraki döneme geçişte d değişikliği olma olasılığı, “ σ ” Oynaklık değişkeni (1- Posibilistik standart sapma, 2- Tarihsel Oynaklık), “ δ ” Yatırım kararı süreci boyunca opsiyonun değer kaybı (Finansal opsiyonlarda temettülü modelleme) olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Boyle'un (1986) modelindeki “ λ ” değişkenine de değer verilmiştir.

$$v=r-\delta-\frac{1}{2}\sigma^2 \quad (5.27)$$

$$\Delta x = \sigma\sqrt{3\Delta t} \quad (5.28)$$

$$u = e^{\Delta x} \quad (5.29)$$

$$d=1/u \quad (5.30)$$

$$p_u = (1/2)((\sigma^2\Delta t+v^2\Delta t^2)/\Delta x^2)+(v\Delta t/\Delta x) \quad (5.31)$$

$$p_m = 1 - ((\sigma^2 \Delta t + v^2 \Delta t^2) / \Delta x^2) \quad (5.32)$$

$$p_d = (1/2) (((\sigma^2 \Delta t + v^2 \Delta t^2) / \Delta x^2) - (v \Delta t / \Delta x)) \quad (5.33)$$

Diğer taraftan olasılıkların toplamının 1'e eşit olması gerekmektedir:

$$p_u + p_k + p_d = 1 \quad (5.34)$$

Trinomial modelde n tane Δt olursa düğümlerin sonunda $2n + 1$ adet farklı dayanak varlık fiyatı elde edilir. Bu farklı fiyatlar her bir düğüm için aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\tilde{S}_{n,m} = \tilde{S}_0 u^m (1 - \delta), \quad m = -n, \dots, 0, \dots, n \quad (5.35)$$

Her son düğümün bulanık opsiyon değeri ise şu şekilde bulunur:

$$\tilde{C}_{n,m} = \text{maks. } [0, \tilde{S}_{n,m} - \tilde{K}] \quad (5.36)$$

Bir önceki dönemdeki düğümlerin opsiyon değerlerine geçiş ise olasılıklarının çarpım toplamlarının risksiz faiz oranı ile indirgenmesiyle olur:

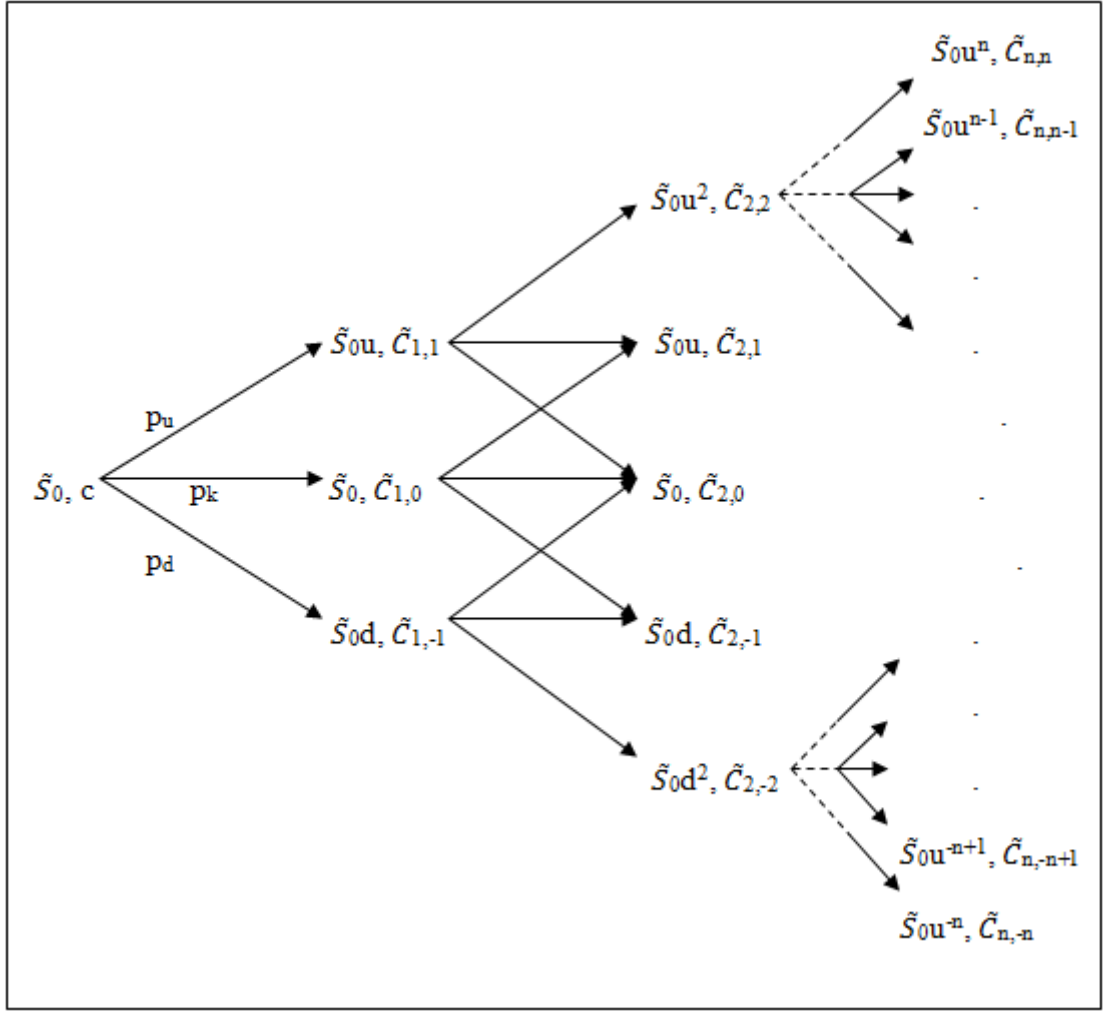
$$\tilde{C}_{n-1,m-1} = e^{-(r\Delta t)} (p_u \tilde{C}_{n,m} + p_k \tilde{C}_{n,m-1} + p_d \tilde{C}_{n,m-2}) \quad (5.37)$$

Amerikan tipindeki opsiyonların bulanık sayılar kullanılarak yapılan değerlemesinde ise erken kullanım hakkı göz önüne alınmalıdır:

$$\tilde{C}_{n-1,m-1} = \text{maks } [e^{-(r\Delta t)} (p_u \tilde{C}_{n,m} + p_k \tilde{C}_{n,m-1} + p_d \tilde{C}_{n,m-2}), \tilde{S}_{n-1,m-1} - \tilde{K}] \quad (5.38)$$

Her bir adımda yukarıdaki denklemdeki gibi değer belirlenip geriye doğru gidilerek $n=0$ anındaki opsiyon değerine ulaşılır.

Trinomial bulanık değerlendirme modelinin yapısı Şekil 5.3'te gösterilmiştir:



Şekil 5.3: Trinomial opsiyon değerlendirme modeli yapısı.

5.3 Literatürde Bulanık Reel Opsiyon Fiyatlama Modeli

Lee ve Lee (2011) çalışmasında Carlsson ve Fuller'in modelini kullanarak radyo frekans tanımlama (RFID) sistemleri üzerinin yatırım kararının belirlenmesinde bu yöntemi kullanmışlardır. Amaçları radyo frekans tanımlama sistemi gibi ileri bilgi teknolojileri yatırımlarının çok riskli olması ve değiştirme, erteleme, genişletme ve çekilme gibi seçeneklerinin olmasıdır. Beş sene sonrası yatırım kararı için 2 senaryonun değerlendirildiği çalışmada erteleme karardan bahsedilmese de yatırımın kârlı olabileceği gösterilmektedir. Uçal ve Kahraman'ın (2009) çalışmasında da bu model benzer amaçlar için kullanılmıştır. Ancak modelde nakit akışları ve maliyetlerin beklenen değerleri alınması sonraki basamaklara bırakılarak bilgi kaybının önlenmesi amaçlanmıştır. Dahası, olasılıkların beklenen değerinin alınmadığı durum ile tersi karşılaştırılmış ve olasılıkların beklenen değerinin alınmadığı durum daha kârlı çıkmıştır. Ayrıca modelde faiz oranı için kullanılan

sürekli hesaplama kesikli faiz hesaplama ile de karşılaştırılmıştır. Montsho (2012) yılındaki çalışmasında elektrik üreten nükleer reaktör yatırımını ortadan kaldırma seçeneğini bulanık opsiyon modelleriyle değerlemiştir. Bunun nedeni olarak ise satış ve maliyetteki değişkenlikleri modellemek olduğunu açıklamıştır. Ayrıca üçgen bulanık sayılı binom modeli ve yamuk bulanık sayılı Black & Scholes modelini erteleme seçeneği için farklı yılları kullanarak karşılaştırmıştır.

Ho ve Liao (2011) çalışmasında yerel bir biyoteknoloji firmasının 2 basamaklı yatırım kararını bulanık binomial model kullanarak değerlemiştir. Erteleme, iptal etme seçeneklerinin yanında bir basamağı erteleme, diğer basamağı iptal etme en kârlı durumlar olarak ortaya çıkmışlardır. Diğer çalışmalarda olduğu gibi belirsizliğin modellenmesi asıl amaçtır. Diğer taraftan Zmeskal (2010) çalışmasında Amerikan tipi alım opsiyonu için bulanık stokastik bir model önermiş ve bu modelin klasik reel opsiyon değerlendirme modellerine duyarlılık analizi aracı olarak kullanılabileceğinden bahsetmiştir.

Ayrıca Wang ve Hwang (2007) bulanık opsiyon değerlendirme modelinden çıkan değerleri tam sayılı lineer programlama ile AR-GE portföyü oluşturma modelinin girdisi olarak kullanmıştır. Tolga (2009) çalışmasında bulanık Black & Scholes modelinden gelen opsiyon değerini AR-GE yatırım kararının çok ölçütlü karar modelleri için bir kriter olarak kullanmıştır. You ve diğerleri (2012) çalışmasında reel opsiyonları kurumsal kaynak planlaması yatırımı için kullanmıştır. Bulanık bir fayda modeline dayandırılan reel opsiyon değerlendirme modelinde, belirsizlik ifadesine çözüm getirmek ana hedeftir. Ayrıca duyarlılık analizinin reel opsiyon değerlendirme modelinin bir uzantısı olarak gelecek çalışmalarda kullanılabileceğinden bahsedilmektedir.

Heng, Chen ve Tan (2014) çalışmasında Geske'nin (1979) birleşik opsiyonlarını ve Geske'nin teorisini zamandan bağımsız oynaklık ve faiz oranında genelleyen Agliardi ve Agliardi'nin (2003) teorisinin bulanık çevrede modellenerek arazi kamulaştırma uygulamasında kullanılabileceğinden bahsetmişlerdir. Diğer taraftan Kozlova, Collan ve Luukka (2016) çalışmalarında olasılıksal temeli olan ve Monte Carlo simülasyonuna dayanan Datar-Mathews metodunu ve posibilistik temeli olan bulanık getiri reel opsiyon metodunu karşılaştırmışlar ve sonuçların birbiriyle tutarlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Dai, Sun ve Guo (2016) ise Black & Scholes modelinden yola çıkarak uzmanların risk tercihlerinin yer aldığı bir bulanık reel

opsiyon modelini önermişler ve kahverengi alanın (çevreye zarar vermeye başlayan tesis) yeniden geliştirilmesi değerlemesinde kullanmışlardır. Aranda, Arango, Lianos (2016) ise çalışmalarında yardımcı demiryolu taşımacılık terminali dağıtım merkezi proje değerlemesini bulanık mantık ve Amerikan alım opsiyonlarını kullanarak değerlemişler ve ayrıca Black-Scholes modeli ile karşılaştırmışlardır. Biancardi ve Villani (2017) çalışmalarında birleşik Amerikan döviz opsiyonlarını bulanık yaklaşım ile modellemişlerdir. R&D projelerinin ardışık yapısına uygun olan bu opsiyon yaklaşımının bulanık ortamda kullanılabileceğinden bahsetmişlerdir. Dahası temettü ve oynaklık değişkenlerini de bulanık kullanmışlardır.

Borges ve diğ. (2018) reel opsiyonlar için bulanık ödeme yöntemini petrol sahası terkinde ağırlık merkezi yaklaşımı ile kullanmışlardır. Kim ve Lee (2018) çalışmasında yatırım eğilimiyle en uygun yatırım zamanını bulmak için reel opsiyon yöntemini kullanmışlardır. Kozlova, Collan ve Luukka (2018) çalışmalarında bulanık çıkarım sistemini reel opsiyon modeliyle birleştiren yeni bir yatırım karar verme aracı önermişlerdir.



6. ENERJİ-ELEKTRİK PİYASASI

TDK'ya göre eş anlamlısı “erke” olan enerji, ışık, ısı şeklinde meydana çıkan ve maddede yer alan kuvvettir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün sayfasında ise en bilinen ve basit haliyle iş yapabilme yeteneğidir şeklinde ifade edilmektedir. Başlıca sekiz adet enerji tipi vardır ve bu enerji tiplerinin bazıları kendi arasında dönüştürülebilir. Bir cismin vaziyeti ve konumu nedeniyle sahip olduğu potansiyel enerji, hareket halinde olmasından dolayı kinetik enerji, cisimlerin sıcaklıkları yüzünden sahip olduğu ısı enerjisi, elektrik yükleri nedeniyle sahip oldukları elektrik enerjisi, maddelerin kimyasal reaksiyonuyla ortaya çıkan kimyasal enerji, fizyon ve füzyon nedeniyle ortaya çıkan nükleer enerji, ışık enerjisi ve ses enerjisi başlıca enerji çeşitleridir. Burada dikkate edilmesi gereken noktalardan biri enerjinin yok olmayacağı ancak başka bir enerji tipine dönüşebildiğidir.

Yukarıda bahsedilen enerji tipleri günlük yaşamın vazgeçilmez bir bütünüdür. Bu enerji tipleri farklı enerji kaynaklarından elde edilmektedir ve yukarıda bahsedildiği gibi birbirlerine dönüştürülebilmektedir. Günümüzde ekonomik, teknolojik, çevre kirliliği, sürdürülebilirlik, uluslar arası anlaşmalar, kullanım alanı vb. nedenlerle bu farklı enerji kaynaklarından enerji eldesi gerçekleştirilmektedir.

Enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine veya doğada kendi başına bulunmalarına göre birincil ve ikincil enerji kaynakları, sürdürülebilirliklerine veya kullanışlarına göre yenilenemez ve yenilebilir enerji kaynakları diye sınıflandırılmaktadır. Birincil enerji kaynakları enerjinin dönüşüme veya işleme uğramamış halidir. İkincil enerji kaynakları ise birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesiyle ortaya çıkan enerjilerdir. Yakın bir gelecekte tükenebileceği düşünülen ve doğada sınırlı bir miktarda olan enerji kaynaklarına yenilenemez enerji kaynakları denilmektedir. Kendisini yenileyebilen, hemen hemen dünya ve evren var oldukça bulunabilecek enerji kaynaklarına yenilebilir enerji kaynakları denilmektedir (Koç ve Şenel, 2013; Şenel, 2012). Aşağıda Çizelge 6.1'de bu enerji kaynaklarının tipleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.1: Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.

Enerji Kaynakları	
Dönüştürülebilirliklerine Göre	Sürdürülebilirliklerine (Kullanışlarına) Göre
1) Birincil Enerji Kaynakları	1) Yenilenemez Enerji Kaynakları
-Kömür	a) Fosil Kaynaklı
-Petrol	-Kömür
-Doğal Gaz	-Petrol
-Nükleer	-Doğal Gaz
-Biyokütle	b) Çekirdek Kaynaklı
-Hidrolik	-Uranyum
-Güneş	-Toryum
-Rüzgar	
-Dalga(Gel-Git)	
2) İkincil Enerji Kaynakları	2) Yenilenebilir Enerji Kaynakları
-Elektrik, Benzin, Mazot, Motorin	-Biyokütle
-İkincil Kömür	-Hidrolik
-Kok, Petrokok	-Güneş
-Hava Gazı	-Rüzgar
-Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	-Dalga(Gel-Git)
	-Jeotermal
	-Hidrojen

Bir sonraki bölümde enerji kaynakları sürdürülebilirliklerine veya kullanımına göre olan sınıflaması takip edilerek açıklanacaktır.

6.1 Enerji Kaynakları

Bu bölümde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın sitesinden alınan bilgiler ile enerji kaynaklarının ne olduğu aktarılacak ve bu kaynaklar hakkında kısa bilgilere yer verilecektir.

6.1.1 Yenilenemez enerji kaynakları

6.1.1.1 Fosil kaynaklı enerji kaynakları

Kömür

Kömürler içindeki karbon miktarı ve ısıl değerlerine göre belirlenen kalitelerine göre genel olarak 3 gruba ayrılırlar. Linyit kömürü nem ve kül oranı iyi olduğundan dolayı termik santrallerde yakıt amaçlı faydalanılmaktadır ama ısıl değeri düşüktür. Taş kömürü linyite göre ısıl değeri daha fazladır. Antrasit ise ısıl değeri en yüksek olan kömür çeşididir.

Dünya kömür rezervlerinde 237,3 milyar ton ile Amerika birinci sırada yer alırken, 157 milyar ton ile Rusya Federasyonu ikinci, 114,5 milyar ton ile Çin üçüncü sırada yer almaktadır. Kömür üretiminin dünyadaki 2015 senesi toplam verileri düşünüldüğünde, global kömür rezervlerinin hemen hemen 114 sene sonra biteceği öngörülmektedir.

Türkiye’de ise 2015 sonu itibari ile 15 milyar ton kömür rezervi bulunmaktadır. Türkiye’de en çok linyit rezervi Afşin-Elbistan havzasında, en çok taş kömürü rezervi de Zonguldak havzasında bulunmaktadır.

Petrol

Petrol katı, sıvı, gaz halde bulunabilen, esas olarak karbon ve hidrojenden meydana gelen, yapısında az oranda kükürt, oksijen ve nitrojen bulunan bir bileşimdir. Üretilen gazdan ayırt etmek için, petrolün gaz haline genellikle doğal gaz denilmektedir.

Orta Doğu ülkeleri dünya petrol rezervlerinin yaklaşık %48’ine sahiptir. Ülkemiz petrol coğrafyalarına çok yakın olmasına rağmen, yeni buluşlar yapılmadığı durumda, ancak 18 senelik bir petrol rezervine sahiptir. Ayrıca 2016 yılındaki petrol tüketimine yaklaşık %7’si iç üretimden sağlanmıştır.

Doğal Gaz

Doğal gaz ağırlığı havadan az, rengi ve kokusu olmayan, yanıcı, gaz halindeki petrol ürünüdür. Doğal gaz sıvılaştırılmış (LNG) halde tankerlerle ya da boru hatları ile taşınır.

2016 sonundaki verilere göre kalan doğal gaz stokumuz 18,7 milyar m³, kurulu gücümüz ise 22.217 MW'tır. Ayrıca ülkemizin yakın coğrafyasında doğal gaz ve petrol dünya üretilebilir rezervlerinin yaklaşık olarak %72'si bulunmaktadır. Ülkemizin bu jeopolitik konumu nedeniyle rezervlerin bulunduğu ülkeler ve tüketici ülkeler arasında köprü vazifesi görmektedir. Diğer taraftan petrol ve doğal gaz rezervlerinin çok olduğu bu bölge ülkeler arasında zaman zaman çıkar çatışmalarının çıkmasına da yol açabilmektedir. Bu nedenle söz konusu doğal gaz ve petrol rezervleri olunca politik ve ekonomik olarak iyi konumlanmak ülkeler için vazgeçilmezdir.

Günümüzde petrol ve doğal gazın yanı sıra kaya gazı da dünya enerji piyasasında önemli bir yer edinmiştir. Ülkemizde bu alanda Güney Anadolu Bölgesi ve Trakya Bölgesi'nde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

6.1.1.2 Çekirdek kaynaklı enerji kaynakları (Nükleer Enerji)

Günümüzde toryum ve uranyum nükleer enerji hammaddeleri olarak kabul görmektedir. Uranyum doğada sadece uranyum mineralleri olarak bulunur ve serbest yapıda bulunmazlar. Uranyum minerallerinin sadece küçük bir bölümü ekonomik olarak enerji üretmeye mümkünken, toryum ise günümüzde henüz ekonomik olarak işletmeye mümkün değildir. Nükleer enerji uranyum elementinin 1879 yılında bulunması ile ortaya çıkmıştır ve atomun 1934 yılında parçalanmasıyla çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Daha sonra bu parçalanmadan elde edilen ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülme fikri 1970 petrol krizi ile birleşince özellikle fosil yakıtlara sahip olmayan ülkeler nükleer enerjiye önem vermişlerdir.

Her ne kadar yeterli güvenlik önlemleri alınmadığı takdirde oluşan kazalar geri dönülemez vahim sonuçlara yol açsa da gelişen güvenlik sistemleri ve ileri teknoloji ile ülkeler için tercih sebebi olmaktadır. Ülkelerin tercih etmesindeki başlıca nedenler iklimden etkilenmemesi, yakıt maliyetinin diğer kaynaklara göre çok ucuz olması, sera gazı salımı yapmaması, gelişen teknoloji ile çevredeki radyasyonun ancak %1'i kadar radyasyon kaçırmaması, uranyumun dünyada geniş coğrafyada bulunması gösterilebilir.

Türkiye'de uranyum rezervleri 1990 sonuna kadar araştırılmış ve toplam 9.129 ton rezerv ortaya konmuştur. Ancak düşük tenorlu olmasından dolayı ekonomik üretime uygun değildir. Toryum da ise Türkiye'de 380.000 ton bilinen rezerv mevcuttur ve

keşfedilmeyen rezervlerle birlikte Türkiye dünyada en çok toryum rezervi olan ülkelerden biri olarak kabul edilmektedir. Günümüz için toryum ekonomik anlamda enerji üretimi için uygun olmasa da gelecekte gelişen teknoloji ile yüksek verimlilikte üretileceği düşünülmektedir.

Dünya’da nükleer santrallerin toplam kurulu güce oranı bakımından Fransa %77, Ukrayna %56, Belçika %37, İsveç %34, Güney Kore %30 ile elektrik ihtiyacı talebini karşılamaktadır. Ülkemizde nükleer enerji üretimi için Akkuyu ve Sinop Nükleer Enerji Santrallerinin sırasıyla 2023 ve 2025 yıllarında üretime geçeceği tahmin edilmektedir.

6.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

6.1.2.1 Biyokütle

Organik karbon olduğu da kabul edilen biyokütle, bir canlı türünden ya da türlerinden oluşan habitatta organizmaların belirli bir zaman aralığındaki kütlelerinin toplamıdır. Enerji üretiminde kullanılan biyokütle kaynakları bitkisel, orman ve orman ürünleri, hayvansal, organik çöpler, şehir ve endüstriyel atıklardan elde edilen biyokütle kaynakları olarak sınıflandırılabilir.

Türkiye’nin 8,6 milyon ton eşdeğer petrolün(mtep) potansiyelinin yanında, 1,5-2 mtep biyogaz üretimi yapabileceği düşünülmektedir.

6.1.2.2 Hidrolik

Hidroelektrik santraller işletme maliyetleri az, çalışmak için her hangi bir yakıtı ihtiyaç duymayan, yatırım ömrü uzun olan, verimi yüksek, yenilenebilir, çevreyi kirletmeyen ve çevreyle uyumlu, yerli kaynaklardan üretilen ve dışa bağımlı olmayan bir kaynaktır.

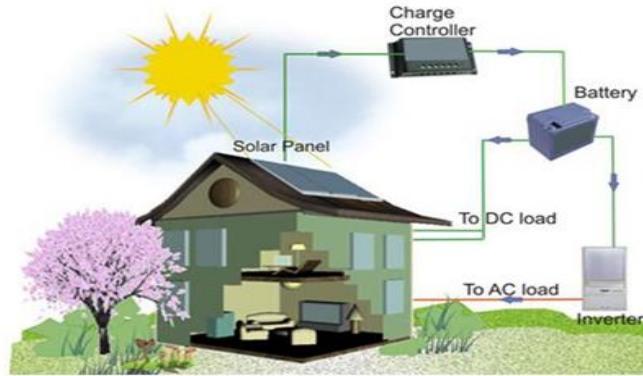
Teorik hidroelektrik potansiyeli 216 milyar kWsa olan Türkiye, dünya hidroelektrik teorik potansiyelini %1’ine sahiptir. Ekonomik potansiyel olarak ise 140 milyar kWsa/yıl’dır. 2016 yılı sonu itibari ile 597 lisanslı ve lisanssız hidroelektrik santralde toplam 26.681 MW kurulu güç bulunmaktadır.

6.1.2.3 Güneş

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün internet sayfasından elde edilen bilgilere göre Güneş'ten Dünya'ya gelen enerjinin ancak 20.000'de biri kullanılabilir. Ayrıca güneş nükleer enerji harici tüm enerjilerin doğrudan ya da dolaylı kaynağıdır.

Güneş enerjisi teknolojileri teknoloji, metot ve malzeme kriterlerine göre fotovoltaik güneş teknolojisi ve ısı güneş teknolojisi olmak üzere başlıca iki gruba ayrılır. Isıl teknolojiler ilk önce güneş enerjisinden ısı elde eder ve istenirse ısı direkt kullanılabilir veya elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Isıl teknolojiler düşük sıcaklık sistemleri ve yoğunlaştırıcı sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Fotovoltaik güneş teknolojilerinde ise fotovoltaik hücre adında yarı iletken malzeme ile direkt olarak güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür.

En basit hali ile fotovoltaik sistemler Şekil 6.1.'de gösterilmiştir:



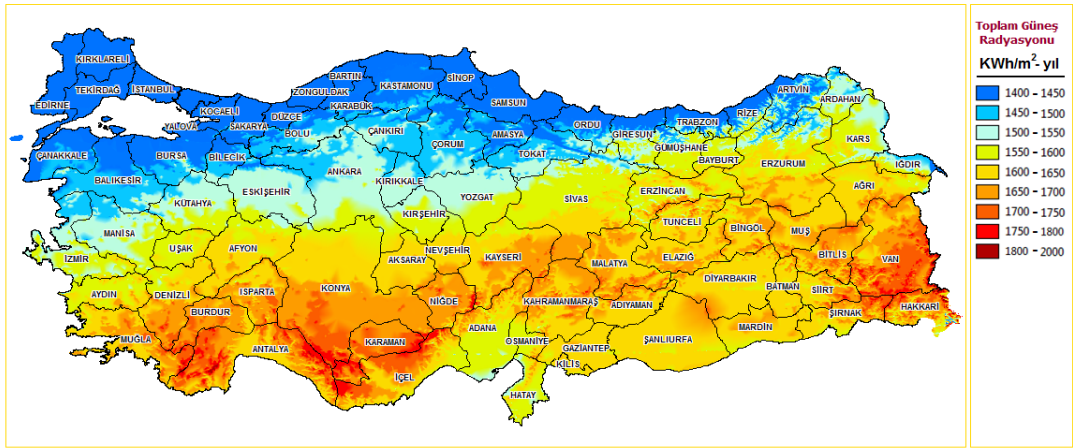
Şekil 6.1: Fotovoltaik Sistem.

Güneş hücresi modüller veya fotovoltaik modüller güç ihtiyacına göre paralel veya seri bağlanarak megavat(MW) boyutlarına kadar büyütülebilir. Güneş hücresinin teknoloji, metot, malzemesine bağlı olarak verimlilikleri ve maliyetleri değişmektedir. Ayrıca yeni teknolojiler için yoğun çalışmalar devam etmektedir. Fotovoltaik hücrelerin yapımında kullanılan malzemeler kristal silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellürid, bakır indiyum diselenid, optik yoğunlaştırıcı hücrelerdir.

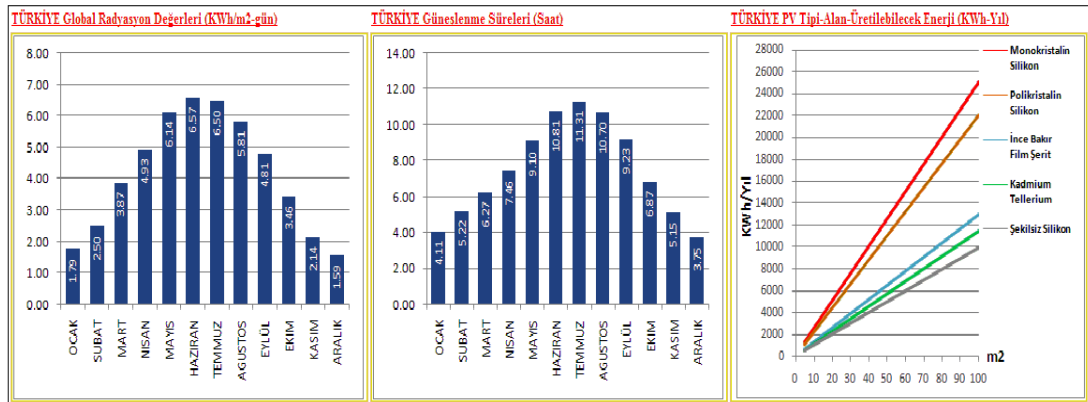
Bu hücrelerin verimlilikleri ise değişmektedir. Tek kristal silisyumdan elde edilen fotovoltaik hücrelerde laboratuvar şartlarında verim %24 iken ticari olarak ise %15'i geçmektedir. Kısmen daha ucuz olan çok kristal silisyum fotovoltaik hücrelerde

laboratuar şartlarında %18 iken ticari olarak ise %14 dolaylarındadır. Başka yarı iletken malzemelerle bir araya getirilen galyum arsenit pillerde laboratuar şartlarında %30'a kadar verim elde edilmiştir. Yine laboratuar şartlarında kristal yapıdan farklı amorf silisyumda %10, kadmiyum tellürde %16, bakır indiyumda ise %17,7 verim elde edilmiştir. Optik yoğunlaştırıcı hücrelerde ise modül verimi %20, hücre verimi ise %30'lara kadar çıkartılmıştır. Çok eklemlili sistemlerinde ise %40'lara ulaşan verimler elde edilmiştir. Son yıllarda daha düşük maliyetle daha yüksek verim alınabilecek hücreler üzerinde çalışmalar olmaktadır. Kuantum güneş hücreleri, polimer yapılı plastik hücreler ve polikristalin titanyum dioksit hücreler örnek olarak verilebilir.

Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 6.2'de, radyasyon, güneşlenme süreleri ve fotovoltaik tipine göre üretilen enerji Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA).



Şekil 6.3: Türkiye radyasyon, güneşlenme süreleri ve fotovoltaik tipine göre üretilen enerji.

Dünyada devlet teşvikleri ile başta üretici güç Almanya ve Çin ile güneş enerjisinden elektrik üretim santralleri hızla yayılmıştır. Gelecekte bir çok ülkenin enerji üretiminde hatırı sayılır bir yer edineceği aşikârdır. Diğer taraftan ülkemizde de devlet teşvikleri ile son yıllarda sektörde bir hareketlenme vardır. Ancak katkı paylarının yüksekliği ve enerji kaynak tercih sebepleri ile kurulu güç çok azdır. 2018 Ekim itibari ile 1 megavat'ın altında lisanssız enerji santrali sayısı 5.689 olup, lisanslı ise sadece 9 adet santralimiz bulunmaktadır. Toplamda ise 81,7 MW'ı lisanslı olmak üzere 4.923,7 MW kurulu gücümüz bulunmaktadır. Yatırımlar bugünkü santral maliyetleri, döviz kurları ve oynaklığı ayrıca devlet katkı payları ile şirketler için ya kârlı gözükmemektedir ya da çok düşük kârlı gözükmemektedir. Bir çok firma küçük zararlar uğruna öncelik almak için yatırımları şu an gerçeklemektedir. Bir çok ülkeden daha fazla potansiyeli olan ülkemizde yatırım yapmak isteyen firmalar arasında fırsat eşitliği yaratarak dünyada önemli bir konuma gelmek gelecekte ülkemizin enerji anlamında dışa bağımlılığını ciddi anlamda azaltacaktır. Böylelikle dışarıdan alınan enerjinin azalacağı, bölgedeki istikrarsızlıktan ve politik süreçlerden daha az etkilenileceği öngörülebilir.

Şekil 6.4.'de Elazığ'da üretime başlamış AKFEN Holding'e ait 8 MW kapasiteli lisanslı güneş enerjisi santrali AKFEN'in internet sitesinden alınan resim ile gösterilmektedir:



Şekil 6.4: Elazığ Lisanslı Güneş Enerji Santrali.

6.1.2.4 Rüzgar

Rüzgar güneş ışınımının dünya yüzeyinde yarattığı ısı farklılığından meydana gelmektedir. Bu ısı farklılıkları hava basıncı, nemi ve sıcaklığını etkiler ve hava yüksek basınçtan alçak basınca hareket eder. Yer yüzüne ulaşan güneş enerjisinin neredeyse %2'lik kısmı rüzgar enerjisine dönüştürülür.

Rüzgar enerji üretim tesislerinde esas yapı elemanı ve makinesi olan rüzgar türbinleri sayesinde hareket eden havanın sahip olduğu kinetik enerji ilk önce mekanik enerjiye ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülür. Rüzgar türbinleri dönüş eksenlerine göre yatay ve düşey olmak üzere ikiye ayrılır. Yatay eksenli rüzgar türbinleri ise arkadan rüzgarlı ve önden rüzgarlı olmak üzere ikiye ayrılır. Mevcut teknolojiye kullanılan yatay eksenli önden rüzgarlı rüzgar türbinleridir ve tek bir türbinde 1,0 - 7,5 MW arası güç olabilmektedir. Ayrıca kanat çapları 100 metreyi geçebilmektedir.

Bir türbinin çalışabilmesi için rüzgarın belli aralıkta olması gerekmektedir. Cut-in denilen devreye girme hızı 2-4 m/s, en fazla güç üretebildiği nominal hızı 10-15 m/s, cut-out denilen türbinlerin durdurulma hızı ise 25-35 m/s'dir.

Ülkemizde yapılan tahminlere göre 48.000 MW gücünde rüzgar enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Ancak 2016 sonu itibari ile kurulu rüzgar enerji santrali toplamımız 5751,3 MW'tır. Şekil 6.5'te 240,1 MW kurulu gücü ile Türkiye'nin en büyük rüzgar santrali Soma Rüzgar Santrali enerji gazetesinin internet sayfasından alınan resim ile gösterilmektedir:



Şekil 6.5: Soma Rüzgar Enerji Santrali.

Dünyada karalara yapılan santrallerin yanında daha temiz ve verimli rüzgar almak için deniz ve okyanus üzeri (offshore) tesisler de yapılmaktadır. Ülkemizde yıl boyu bol rüzgar alan denizlerimizdeki potansiyeli değerlendirmek adına iyi örnekler mevcuttur. İngiltere’de bulunan 630 MW kurulu gücündeki (3,6 MW’lık 175 türbin) London Array Offshore Wind Farm projesi kendi internet sitelerinden alınan resim ile Şekil 6.6’da gösterilmiştir. İkinci etapta 370 MW’lık ek yapılması düşünülmektedir.



Şekil 6.6: London Array Offshore Wind Farm.

6.1.2.5 Dalga (Gel-Git)

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nden elde edilen bilgilere göre dalga enerjisi su içindeki dalga basınçlarından ya da doğrudan dalga yüzeyinden üretilir. Bildiğimiz manada dalgalar su yüzeyinde esen rüzgarların gücüyle oluşur. Ayrıca Ay’ın sebep olduğu gel-git olayı da enerji üretimi için kullanılmaktadır.

Dünyada ticari olarak kullanılması için testler devam etmektedir. Üzerinde çalışılan sonlandırıcı makineler, noktasal soğurucular, azaltıcılar vb. çeşitleri mevcuttur.

6.1.2.6 Jeotermal

Yer kürenin içindeki kayalarda bulunan ısının çeşitli akışkanlar vasıtasıyla hareket ettirilerek haznelerde birikmesiyle oluşan buhar, kuru buhar, sıcak su, kızgın kuru kayalardan doğal olmayan yollarla üretilen ısı enerjisine jeotermal enerji denilir.

Temiz bir enerji kaynağı olarak bilinen jeotermal enerji düşük sıcaklıkta(20-70°C) ise ısıtmacılıkta, endüstride ve kimyasal madde üretmede, orta (70-150°C) ve yüksek (150°C üzeri) sıcaklıklarda elektrik üretimi ve ısıtmada kullanılmaktadır. Dünyada elektrik üretimi için 2016 sonu itibari ile 13.300 MW kurulu güç varken Türkiye’de 851 MW kurulu güç vardır. Türkiye’nin teorik potansiyeli 31.500 MW iken bunun %6’sı elektrik üretimine uygundur.

6.1.2.7 Hidrojen

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nden elde edilen bilgilere göre renksiz, kokusuz, havadan 14,4 defa daha hafif, zehirsiz bir gaz olan hidrojen gazı evrenin (güneş ve diğer yıldızların) ana enerji kaynağıdır. Kütle başına en fazla enerji miktarına sahip yakıt olan hidrojenin birim başına hacmi ise yüksektir.

Enerji üretimi sırasında atık olarak sadece su ve/veya su buharı ortaya çıkan hidrojen enerji bu yönüyle son derece temizdir. Petrol yakıtlarına göre 1,33 defa daha verimli bir yakıt olan hidrojenden enerji üretimi ise diğer yakıtlara göre yaklaşık 3 kat daha pahalıdır. Bu nedenle enerji üretiminin yaygınlaşması için maliyeti düşüren veya daha verimli olmasını sağlayan teknolojiler gelişmelidir.

Yakıt pili teknolojisinin en çok kullanılan yakıtı hidrojendir. Yakıt pilleri temiz bir enerji dönüşüm teknolojisi olup yüksek verimliliği vardır. Bir çok alanda kullanılan yakıt pillerinin kara araçları ve güç santrallerinde de kullanılması için araştırma ve geliştirmeler devam etmektedir.

6.2 Enerji ve Elektrik Piyasaları

Bu bölümdeki verilerin oluşturulmasında T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığınca hazırlanan Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü izleme raporunun 15. Sayısı, Teiaş’tan alınan 2016-2018 yılı istatistiklerinden ve Enerdata’nın “Global Energy Statistical Yearbook 2018” verilerinden faydalanılmıştır.

6.2.1 Dünya Enerji ve Elektrik Piyasası

Dünya birincil enerji tüketiminde Çin 2013 yılında 2.910 milyon ton eş değer petrol (milyon tep), 2014 yılında 2.955 milyon tep, 2015 yılında 2.976 milyon tep, 2016 yılında 3.017 milyon tep, 2017 yılında 3.105 mtep ile bu beş yılda da ilk sırada yer almıştır. İkinci sırada bulunan Amerika Birleşik Devletleri ise 2013 yılında 2.185 milyon tep, 2014 yılında 2.223 milyon tep, 2015 yılında 2.194 milyon tep, 2016 yılında 2.195 mtep, 2017 yılında 2.201 mtep tüketim gerçekleştirmiştir. 2017 verilerine baktığımızda ise bu iki ülkeyi Hindistan, Rusya ve Japonya takip etmektedir. Bu üç ülkenin 2016 tüketimleri sırası ile 934, 744 ve 429 milyon ton eş değer petroldür. Dünya birincil enerji üretiminde ise 2017 verilerine göre 2.499 mtep ile Çin birinci, 2.018 mtep ile Amerika Birleşik Devletleri ikinci, 1.418 mtep ile Rusya üçüncü konumdadır.

Dünya ham petrol üretiminde 2017 verilerine göre 580 milyon ton ile Amerika Birleşik Devletleri, 560 milyon ton ile Suudi Arabistan ve 547 milyon ton ile Rusya lider durumdadır. Bu üç ülkeyi 240 ve 194 milyon ton ile sırasıyla Kanada ve Çin izlemektedir. Ham petrol tüketiminde ise 2017 verilerine göre 841 milyon ton ile Amerika Birleşik Devletleri birinci, 589 milyon ton ile Çin ikinci durumdadır. Kanıtlanmış ham petrol rezervinde ise Venezuela 300,9 milyar varil ile birinci sıradadır. Petrol ihracatında 358 milyon ton ile Suudi Arabistan birinci ve 261 milyon ton ile Rusya ikinci sıradadır. Çin ise 415 milyon ton ile en büyük ithalatçı konumundadır.

Doğal gaz üretiminde 2017 verilerine göre Amerika Birleşik Devletleri 767 milyar m³ ile ilk sıradadır. İkinci sırada ise 694 milyar m³ ile Rusya gelmektedir. Tüketimde ise yine 762 milyar m³ ile Amerika Birleşik Devletleri birinci, 471 milyar m³ ile Rusya ikinci sıradadır. Doğal gaz kanıtlanmış rezervinde ise 34 trilyon m³ ile İran birinci sıradadır. Dünya doğal gaz ihracatında Rusya 221 milyar m³ ile birinci sıradadır. Arkasından ise Katar (117-130 milyar m³) ve Norveç (122 milyar m³) gelmektedir. İthalatta ise 117 milyar m³ ile Japonya ilk sıradadır.

Dünya kömür üretiminde ise Çin 3,349 milyar ton ile açık ara ilk sıradadır. Onu takiben 717 ve 701 milyon ton ile Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Tüketimde ise 3,607 milyar ton ile Çin birinci, 953 milyon ton ile Hindistan ikinci durumdadır. Kanıtlanmış kömür rezervinde ise Amerika Birleşik

Devletleri 237,3 milyar ton ile birinci sıradadır. En büyük ihracatçı 370 milyon ton ile Avustralya ve 360 milyon ton ile Endonezya, en büyük ithalatçı 254 milyon ton ile Çin'dir.

Yapılan çeşitli senaryolara göre dünyada 2040 yılına kadar nükleer enerjinin oransal olarak birincil enerji kaynakları arasında payının artacağı, yenilenebilir enerjinin ise %16,1 olacağı düşünülmektedir.

Elektrik üretim değerlerinde 2017 verilerine göre dünyada toplam 25.592 teravat(milyar kW) saat üretim ve 22.016 teravat saat tüketim gerçekleşmiştir. En yüksek üretim değerlerine 6.529 teravat saat ile Çin ve 4.251 teravat saat ile Amerika ulaşmıştır. Tüketimde ise 5.683 teravat saat ile Çin birinci, 3.808 teravat saat ile Amerika Birleşik Devletleri ikinci sıradadır. Dünyada elektrik üretimi için kömür en çok kullanılan birincil enerji kaynağıdır. Doğal gaz kaynakları ise elektrik üretiminde ikinci sıradadır. Bazı ülkelerin kaynak bazında elektrik üretim oranları Çizelge 6.2.'de gösterilmiştir:

Çizelge 6.2: Dünya Enerjisi BP İstatistiksel Görünümü'nden alınan bazı ülkelerin kaynak bazında elektrik üretimi.

ÜLKE	Kömür	Yenilenebilir Enerji	Hidroelektrik	Doğal Gaz	Nükleer	Petrol	Diğer
ABD	%30,7	%9,8	%6,9	%32	%19,8	%0,5	%0,3
Almanya	%37	%30,3	%3	%13,1	%11,6	%0,8	%4,1
Birleşik Krallık	%6,7	%27,7	%1,8	%39,7	%20,9	%0,7	%2,6
Çin	%67,1	%7,3	%17,8	%3	%3,8	%0,2	%0,7
Hindistan	%76,2	%6,4	%9,1	%5	%2,5	%0,7	%0
Japonya	%33,6	%9,7	%7,8	%39,4	%2,9	%5,4	%1,4
Kanada	%11	%6,6	%57,2	%10,6	%13,9	%0,6	%0
Rusya	%14	%0,1	%16,8	%48,6	%18,6	%1,4	%0,4
Türkiye	%33	%9,9	%19,8	%36,6	%0	%0,7	%0
Dünya	%38,1	%8,4	%15,9	%23,2	%10,3	%3,6	%0,7

Uluslararası Enerji Ajansı'ndan (International Energy Agency) alınan verilere göre 2017 sonu itibari ile Dünya fotovoltaik enerji kurulu gücünde Çin 131 gigavat (GW)

ile lider durumdadır. Çin'in ardından 51 GW ile Amerika Birleşik Devletleri, 49 GW ile Japonya ve 41 GW ile Almanya gelmektedir. Dünya elektrik üretiminin %1,8'i fotovoltaik enerji santralleri ile yapılmaktadır. Avrupa'da bu oran %4'tür. Dünyada ülke içindeki elektrik üretiminde fotovoltaik enerji payında %13,26 ile Honduras lider durumdadır. Honduras'ı %7,47 ile Almanya, %7,34 ile Yunanistan, %7,11 ile İtalya, ve %5,93 ile Japonya izlemektedir. Türkiye ise yaklaşık %2,2'lik bir orana sahiptir. Solar fotovoltaikte her kişi başına düşen enerji miktarında ise 518 vat/kişi ile Almanya lider durumdadır. Ardından 386 vat/kişi ile Japonya ve 338 vat/kişi ile Belçika gelmektedir.

6.2.2 Türkiye Enerji ve Elektrik Piyasası

Dünya birincil enerji tüketiminde %1 payı olan Türkiye sırasıyla 2017 yılında 152 milyon tep, 2016 yılında 136 milyon tep, 2015 yılında 129 milyon tep, 2014 yılında ise 122 milyon tep enerji tüketiminde bulunmuştur. Dünya birincil enerji üretiminde ise Türkiye 2017 yılında 43 milyon tep, 2016 yılında 37 mtep, 2015 yılında 32 mtep ve 2014 yılında 31 mtep değerlerine sahiptir.

Türkiye 2015 yılında 2,93 milyon ton, 2016 yılında ise 3,00 milyon ton, 2017 yılında 2,98 milyon ton birincil enerji çeşitlerinden ham petrol üretimi gerçekleştirmiştir. Diğer taraftan Türkiye 2015 yılında 29,4 milyon ton, 2016 yılında 30,4 milyon ton, 2017 yılında ise 32,3 milyon ton ham petrol tüketimi gerçekleştirmiştir. Ayrıca 2017 yılında Türkiye 32,16 milyon ton petrol ürünleri üretimi gerçekleştirmiştir. Tüketim ise 43,10 milyon tondur. Doğal gaz üretiminde ise Türkiye 2008 yılında 1.017 milyon m³ üretimle en yüksek değerine ulaşırken, 2017 yılında sadece 354 milyon m³ üretmiştir. Doğal gaz 2017 tüketimimiz ise 53,437 milyar m³'tür. 2016 yılında 24,740 milyar m³ ile en fazla ithalatı Rusya'dan yapmış bulunmaktayız. Rusya'yı sırasıyla İran, Azerbaycan ve Cezayir izlemektedir. Fosil yakıtların sonuncusu ve ülkemizde önemli bir yere sahip olan kömür 2015 yılında yaklaşık 62 milyon ton üretilmiştir. En önemli kısmı ise 58 milyon tonluk üretimi ile linyit kömürüdür.

Elektrik enerjisi piyasasında ise Türkiye 2017 yılında 296 teravat saat elektrik üretirken, 242 teravat saat elektrik tüketmiştir. Bir önceki yıla göre tüketim %5,6 artarken, üretim %7,7 artmıştır.

Elektrik enerjisi üretiminin birincil kaynaklara göre dağılımında doğal gaz santralleri ve termik santrallerde yapılan üretimler başı çekmektedir. Doğal gaz veya

sıvılaştırılmış halinin birincil kaynak olarak 2014 yılında %47,9, 2015 yılında %37,9 ve 2016 yılında da %32,1 oranında kullanılmış ve azalan bir trend göstermiştir. Ülkemizde diğer bir önemli birincil kaynak kömürdür. Kömürden elektrik üretiminin birincil kaynaklar arasında 2014 yılında %30,2, 2015 yılında %29,1 ve 2016 yılında %19,67'si taş kömürü, ithal kömür, asfaltit ve %14,07'si linyit olmak üzere toplam %33,74'lük oranı bulunmaktadır. Diğer taraftan fuel-oil, motorin gibi sıvı yakıtlar bu üç yılda da yaklaşık %1'lik paya sahip olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrolik yıl sırasına göre %16,1, %25,6 ve %24,6'lık paya, rüzgar %3,4, %4,5 ve %5,7'lik paya, jeotermal %0,9, %1,3 ve %1,7'lik paya ve son olarak güneş ise %0,01, %0,07 ve %0,36'lık paya sahip olmuştur.

Türkiye 2016 yılı sonu itibari Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü Rapor No. 15'ten alınan veriler ile 78.497 MW elektrik enerjisi kurulu gücüne sahiptir. Çizelge 6.3'te birincil kaynak bazında elektrik enerjisi kurulu gücü gösterilmektedir. Rüzgar ve jeotermal yüzdesel olarak kurulu gücü en çok artan birincil enerji kaynağı elektrik enerjisi üretim tesisleridir.

Çizelge 6.3: Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü (MW).

Yıllar	Kömür	Doğal Gaz	Diğer	Hidrolik	Rüzgar	Jeotermal	Güneş
2007	10.097	12.853	4.322	13.395	146,3	23	-
2008	10.095	13.428	4.072	13.829	363,7	29,8	-
2009	10.501	14.555	4.284	14.553	791,6	77,2	-
2010	11.891	16.112	4.276	15.831	1.320	94,2	-
2011	12.491	16.005	5.436	17.137	1.729	114,2	-
2012	12.530	17.164	5.335	19.620	2.261	162,2	-
2013	12.563	20.255	5.830	22.289	2.760	310,8	-
2014	14.771	21.476	5.555	23.643	3.630	404,9	40,2
2015	15.483	21.261	5.159	25.868	4.503	623,9	248,8
2016	17.316	22.217	4.878	26.681	5.751	820,9	832,5

Diğer taraftan ithal kaynak bazında kurulu gücümüz 34.080 MW ile toplamın %43,4'ü seviyesindedir. 2002 yılında %39,9 olan ithal kaynak bazında kurulu gücümüz en yüksek oranına 2010 ve 2011 senelerinde %47,9 ile ulaşmıştır.

Aşağıda ise Teiaş'tan alınan 2017 sonu ve 31 Ekim 2018 sonu kurulu güç miktarları gösterilmektedir:

Çizelge 6.4: Teiaş'tan alınan elektrik enerjisi kurulu güçleri (MW).

Yakıt Cinsi	2017	31.10.2018
Fuel Oil- Naftalin+Motorin	303,6	294
Yerli Kömür (Taş Kömürü, Linyit, Asfaltit)	9.872,6	10.203,5
İthal Kömür	8.793,9	8.793,9
Doğal Gaz + LNG	23.063,7	22.427,5
Yenilen. + Atık + Atıksı + Prolitik Yağ	575,1	717,3
Çok Yakıtlılar Katı+Sıvı	682,9	697,1
Çok Yakıtlılar Sıvı+Doğal Gaz	3.433,6	3.443,2
Jeotermal	1.063,7	1.282,5
Hidrolik Barajlı	19.776	20.503,5
Hidrolik Akarsu	7.489,7	7.737
Rüzgar	6.482,2	6.825
Güneş	17,9	81,7
Termik (Lisanssız)	201,1	263,9
Rüzgar (Lisanssız)	34	58,2
Hidrolik (Lisanssız)	7,4	7,4
Güneş (Lisanssız)	3.402,8	4.842

6.3 Yenilenebilir Enerji Piyasaları ve Mevcut Uygulamaları

6.3.1 Dünyada Yenilenebilir Enerji

Dünyada yenilenebilir enerji piyasası KPMG'nin 2015 yılındaki "Tax and incentives for renewable energy" yayınından elde edilen bilgilere göre oluşturulmuştur.

Avusturya'da yatırım için bazı sübvansiyonlar bulunmaktadır. Dahası işletmeler devreye girdikten sonra ise farklı alım garantileri mevcuttur. Rüzgar enerjisi için 0,0936 Avro/kWsa, binalardaki güneş enerjileri için 5 kW kapasiteden 200 kW kapasiteye kadar 0,115 Avro/kWsa, 201 kW kapasiteden 350 kW kapasiteye kadar 0,125 Avro/kWsa, açık alanlardaki güneş enerjileri için 5 kW kapasiteden 350 kW kapasiteye kadar 0,1 Avro/kWsa alım garantileri uygulanmaktadır. Bu alım garantileri 13 yıl boyunca uygulanmaktadır. Ayrıca bir takım vergi indirimleri de bulunmaktadır.

Brezilya'da çeşitli yatırım sübvansiyonları varken, elektrik alım garantisi bulunmamaktadır. Diğer taraftan net ölçme yöntemi uygulanmaktadır. Ayrıca vergi indirimleri de mevcuttur.

Kanada'da alım garantisi ve kotalar illere göre değişiklik göstermektedir. Vergi indirimi ve yatırım sübvansiyonları da mevcuttur.

Çin'de alım garantisi bölgeye göre ve değişik şekillerde elektrik üreten yenilenebilir enerji şirketlerine göre bir konsey tarafından karar verilmektedir. Bunun yanında çeşitli yatırım sübvansiyonları, vergi indirimleri, enerji koruma teşvikleri, üretim teşvikleri de bulunmaktadır.

Fransa'da karadaki rüzgar enerjisi tesisleri için ilk 10 yıl için 0,082 Avro/kWsa, sonraki 5 yıl için ise üretim yapılan bölgeye ve miktara göre 0,028 Avro/kWsa ile 0,082 Avro/kWsa arasında alım garantileri mevcuttur. Denizdeki rüzgar enerjisi tesisleri için ise ilk 10 yıl 0,13 Avro/kWsa, sonraki 10 yıl için üretim yapılan bölgeye ve miktara göre 0,03 Avro/kWsa ile 0,13 Avro/kWsa arasında alım garantileri bulunmaktadır. Güneş enerjisi için yer bazlı fotovoltaik tesislerde 0,0662 Avro/kWsa, basitleştirilmiş bina entegre üretim tesislerinde 0,1279 Avro/kWsa ile 0,1347 Avro/kWsa arasında, bina entegre üretim tesislerinde 0,2655 Avro/kWsa alım garantileri mevcuttur. Yukarıdaki alım garantileri genellikle 100 kW'lık tesisler için uygun görülmektedir. Daha büyük yatırımlar için ihale yöntemleri uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra bölgesine göre sermaye sübvansiyonları ve vergi indirimleri de mevcuttur.

Almanya'da ise devlet yenilenebilir enerjiler için genişleme koridoru belirlemiştir. Karadaki rüzgar santralleri için senelik 2,5 GW'lık hedefi vardır. Bu tarz tesisler için temel olarak 0,0495 Avro/kWsa'lık alım garantisi vardır. Bunun harici verimi düşük

olan bazı yerler için en az 5 yıllık olmak üzere 0,089 Avro/kWsa'e kadar artma durumu vardır. Ayrıca çeşitli nefes ödemeleri ve vergi indirimleri mevcuttur. Denizdeki rüzgar santralleri için 2020'ye kadar 6,5 GW, 2030'a kadar 15 GW genişleme hedefleri vardır. Temel alım garantisi 0,039 Avro/kWsa'tir. İlk 12 yıl için 0,154 Avro/kWsa'e kadar çıkabilmektedir. Hızlandırılmış ödemelerde 8 yıllık 0,194 Avro/kWsa alım garantisi de mevcuttur. Ayrıca vergi indirimleri de mevcuttur. Güneş enerjisi tesislerinde 2,5 GW'lık genişleme hedefi vardır. Binalardaki güneş enerjisi tesislerinde yıllık üretim kapasitesine göre 0,0923 Avro/kWsa ile 0,1315 Avro/kWsa arasında alım garantisi mevcuttur. Ayrıca vergi indirimleri de vardır. Araziye yapılan tesislerde ise 1 Eylül 2015'ten sonra üretime girecek tesisler için ihaleler düzenlenmektedir. Bu ihalelerde en yüksek teklif 0,0943 Avro/kWsa olurken, ortalama başarılı teklif 0,0917 Avro/kWsa olmuştur. Bu tarihten önce girenler için ise 10 MW'lık kurulu güce kadar 0,0923 Avro/kWsa olmuştur. Ayrıca bu alım garantileri 20 yıla kadar geçerli olabilmektedir. Ama 2015'ten günümüze artan verim oranları ile ihalelerde bu alım garantilerinde düşüşler olmuştur. Söz gelimi denizdeki rüzgar santrallerinde alım garantilerinde hedeflenen kapasitenin üzerine çıktığı için alım garantileri 0,0714 Avro/kWsa'e kadar düşmüştür. Diğer taraftan ihaleler teklif üzerine alındığından karadaki rüzgar santralleri için alım garantisi ortalama 0,046 Avro/kWsa olurken, 750 kW'tan 10 MW'a kadar orta ölçekteki fotovoltaik güneş enerjisi santralleri için alım garantisi ortalama 0,0433 Avro/kWsa olmuştur.

Yunanistan'da sisteme bağlı rüzgar enerjisi tesislerinde 0,105 Avro/kWsa, sisteme bağlı depolama yapmayan güneş enerjisi tesislerinde 0,26 Avro/kWsa'lık alım garantileri mevcuttur. Alım garanti süresi de 20-25 sene civarında değişmektedir. Ancak son dönemlerde Yunanistan da ihale usulüne dönmüştür ve 0,063 Avro/kWsa teklife kadar düşüşler olmuştur.

Japonya'da sürekli revize edilen bir sistem vardır. 2015-2016 yıllarında 23,76 yen/kWsa'lık alım garantileri varken, Uluslar arası Enerji Ajansı'ndan alınan veriye göre günümüzde 20 yen/kWsa fiyata kadar düşüş olmuştur. Denizdeki santrallerde ise 36 yen/kWsa alım garantisi mevcuttur. Güneş enerjisinde ise bu tarihlerde 29-31 yen/kWsa'lık alım garantileri varken 25-28 yen/kWsa fiyatlara düşüş olmuştur.

Birleşik Krallık'ta yenilebilir enerji için çeşitli sermaye yardımları, alım garantileri, vergi indirimleri vb. teşvik sistemleri vardır. Eskiden daha yüksek olan alım

garantileri artan teknoloji ve rekabet ile daha düşük seviyelere çekilmiştir. OFGEM'den alınan bilgilere göre Ekim 2018 başı Aralık 2018 sonu arası küçük fotovoltaik güneş enerjisi tesisleri için 0,0411 pound/kWsa'e kadar alım garantileri mevcuttur. Ancak 1 MW'ın üzerindeki tesisler için 0,002 pound/kWsa fiyata kadar düşmektedir. Rüzgar enerjisi için küçük kapasiteli tesislerde 0,0831 pound/kWsa'e kadar alım garantileri mevcuttur. 1,5 MW'ın üzerindeki tesisler için alım garantileri 0,0058 pound/kWsa'e kadar düşmektedir. Ayrıca bu alım garantileri 20 yıla kadar devam etmektedir.

Amerika Birleşik Devletlerinde ise yenilenebilir enerji teşvikleri eyaletlere göre değişiklik göstermektedir. Ülke genelinde vergi indirimi, alım garantisi, sermaye bağışları vb. yenilenebilir enerji teşvikleri mevcuttur. Ayrıca alım garantilerinin kaç yıl geçerli olacağı da eyaletlere göre değişmektedir. Söz gelimi fotovoltaik güneş enerjisi tesisleri için Kaliforniya'da 3 MW'tan küçük santraller için 10, 15, 20 senelik 0,08923 Dolar/kWsa'lık, Teksas'ta 200 kW'a kadar olan tesisler için 10 senelik 0,09 Dolar/kWsa'lık alım garantileri mevcuttur. Diğer taraftan Arizona'da ise net ölçme yöntemi ve 10 sene geçerli 0,04 Dolar/kWsa fiyata kadar vergi indirimleri mevcuttur.

6.3.2 Türkiye'de Yenilenebilir Enerji

Türkiye'de "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin 5346 Sayılı Kanun" 2005 yılında devreye girmiş ancak 5 Avro sent/kWsa'lık alım garantisi piyasa fiyatının altında kalmıştır. Daha sonra "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair 6094 Sayılı Kanuna" (en son 17 Haziran 2016 tarihinde revize edilmiştir.) göre YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim lisansı sahiplerine kanunun ekinde yer alan I Sayılı Cetvel'de bulunan teşvik fiyatları 10 yıl süreyle uygulanır. Bağlı olduğu kanundaki 6. Maddenin 1. Fıkrası şu şekildedir:

Bu Kanunun yürürlüğe girdiği 18/5/2005 tarihinden 31/12/2015 tarihine kadar işletmeye girmiş veya girecek YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim lisansı sahipleri için, bu Kanuna ekli I sayılı Cetvelde yer alan fiyatlar, on yıl süre ile uygulanır. Ancak, arz güvenliği başta olmak üzere diğer gelişmeler doğrultusunda 31/12/2015 tarihinden sonra işletmeye girecek olan YEK Belgeli üretim tesisleri için

bu Kanuna göre uygulanacak miktar, fiyat ve süreler ile kaynaklar Cetveldeki fiyatları geçmemek üzere, Bakanlar Kurulu tarafından belirlenir.

Çizelge 6.5: Yenilenebilir enerji tesisi ile elektrik üretim teşvikleri.

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları sent/kWsa)
Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Bakanlar Kurulu yukarıdaki fıkarda geçen “...YEK Belgeli üretim tesisleri için bu Kanuna göre uygulanacak miktar, fiyat ve süreler ile kaynaklar Cetveldeki fiyatları geçmemek üzere, Bakanlar Kurulu tarafından belirlenir” hükmüne dayanarak mevcut fiyatları 2013/5625 no.’lu bakanlar kurulu kararı ile 1 Ocak 2016’dan 31 Aralık 2020’ye kadar işletmeye girecek YEK destekleme mekanizması kapsamındaki YEK belgeli üretim lisansı sahipleri için 5346 sayılı Kanuna ekli Cetvel I deki fiyatların on yıl süre ile uygulanacağına karar vermiştir.

Diğer taraftan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin 5346 Sayılı Kanuna göre YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim lisansı sahiplerine kanunun ekinde yer alan yerli üretim mekanik ve elektro mekanik aksam kullanımı ile ilgili II Sayılı Cetvel’de bulunan teşvik fiyatları 5 yıl süreyle uygulanır. Bu fiyatlar Cetvel I deki fiyatlara ilave edilir. Bağlı olduğu kanundaki madde şu şekildedir:

Yerli ürün kullanımı (Ek: 29/12/2010-6094/4 md.)

MADDE 6/B – (1) Lisans sahibi tüzel kişilerin bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ve 31/12/2015 tarihinden önce işletmeye giren üretim tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yurt içinde imal

edilmiş olması halinde; bu tesislerde üretilerek iletim veya dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisi için, I sayılı Cetvelde belirtilen fiyatlara, üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle; bu Kanuna ekli II sayılı Cetvelde belirtilen fiyatlar ilave edilir.

Bakanlar Kurulu yukarıdaki yerli üretim mekanik ve elektro-mekanik aksamaların kullanılmasını teşvik eden 5246 sayılı Kanun 6/C Maddesi 1. Fıkrasının 1 Ocak 2016'dan 31 Aralık 2020'ye kadar işletmeye girecek YEK belgeli üretim tesislerinde de uygulanması şeklindeki 2013/5625 no.'lu Bakanlar Kurulu Kararını 5246 sayılı Kanunun 6/C Maddesinin 3. Fıkrası “31/12/2015 tarihinden sonra işletmeye girecek olan YEK Belgeli üretim tesisleri için yerli katkı ilavesine ilişkin usul ve esaslar, Bakanlığın teklifi üzerine Bakanlar Kurulu tarafından belirlenerek ilan edilir.” e dayandırarak almıştır.

Günümüzde firmalar bu yerli üretim malzeme kullanımında faydalanılan üretim teşviklerinden faydalanamamaktadır. Aksine yapılan ihalelerle firmalar üretim teşvikinden feragat etmekte veya TREDAS'a katkı payı vermektedirler. Söz gelimi rüzgar enerjisi için ön lisans ihalelerinde 3 Dolar sent/kWsa'e yaklaşan feragat etme teklifleri, güneş enerjisi için TREDAS'ın açtığı ihalelerde kWsa başına 3.000.000 TL'ye varan ihale teklifleri ile dağıtım merkezlerinde kapasite sahibi olunmaya çalışılmaktadır.

Mevcut yasanın dışında Konya Karapınar'da 1000 mW'lık üretim tesisi ve güneş enerjisi paneli fabrikası için ihale olmuştur. Bu ihale 15 sene boyunca 6,99 Dolar sent/kWsa'lık alım garantisi ile sonuçlanmıştır. Diğer taraftan bu tarz ihaleler rüzgar da dahil ederek devam edebilecektir. Ayrıca rüzgarda denizde de santrallerin yapılması planlanmaktadır.

Çizelge 6.6: Yurt içi malzeme kullanılan yenilenebilir enerji tesisi ile elektrik üretim ek teşvikleri.

II Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanununun hükmüdür.)		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları sent/kWsa)
A- Hidroelektrik üretim tesisi	1- Türbin	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
B- Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Kanat	0,8
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3- Türbin kulesi	0,6
	4- Rotor ve nasele gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3
C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2- PV modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvörtör	0,6
	5- PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme	0,5
D- Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Radyasyon toplama tüpü	2,4
	2- Yansıtıcı yüzey levhası	0,6
	3- Güneş takip sistemi	0,6
	4- Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	5- Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	6- Stirling motoru	1,3
	7- Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği	0,6
E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2,0
	5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7- Kojenerasyon sistemi	0,4
F- Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Buhar veya gaz türbini	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	0,7
	3- Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7

7. SEZGİSEL BULANIK REEL OPSİYON DEĞERLEME MODELLERİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIMI UYGULAMASI

Çalışmanın ana konusu sezgisel bulanık sayılar ile reel opsiyon değerlemesidir. Carlsson ve Fuller'in (2003) Black ve Scholes (1973)'tan esinlenerek oluşturduğu bulanık reel opsiyon değerlendirme modelinden esinlenen ve trinomial bulanık opsiyon değerlemesinden esinlenen 2 model önerilmiştir. Güneş enerjisi yatırımı bu iki modelle ayrı ayrı değerlendirilip karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu iki modelin içinde kullanılan oynaklık değişkeni içinde 3 farklı yöntemden faydalanılmıştır.

7.1 Sezgisel Bulanık Reel Opsiyon Değerleme Modeli

Carlsson ve Fuller (2003) Black ve Scholes'un önerdiği opsiyon değerlendirme teorisinin Merton'un geliştirdiği versiyonunu yamuk bulanık sayılarla modellemiştir. Bu çalışmada ise bu model yamuk bulanık sayılar yerine trapezoidal sezgisel bulanık sayılar ile modellenecektir.

Sezgisel bulanık sayılar tip-1 bulanık sayılara göre daha fazla bilgi içermektedir ve tip-1 bulanık sayıların genelleştirilmiş hali olarak düşünülebilir. Yoğun belirsizlik ortamının olduğu projeleri değerlemede karar vericiler daha fazla bilgi içeren modellere ihtiyaç duyarlar. Reel opsiyon teorisinin içerdiği volatilité değişkeninin belirsizliği ifade etmeye yeterli kalmayacağı, beklenen nakit akışları ve beklenen maliyetin trapezoidal possibilistik dağılım ile tahmin edilme gerekliliği Carlsson ve Fuller'in reel opsiyon teorisinde bulanık sayıları kullanma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Diğer taraftan gelişmekte olan ülkelerde yatırım ortamının daha da belirsiz olması yatırım projelerinde daha fazla bilgi içeren daha kapsayıcı bir model ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Sezgisel bulanık sayılar ile reel opsiyon değerlendirme belirsizliğin daha fazla olduğu piyasalarda yatırım kararlarını değerlemede bu model ihtiyacını karşılayacaktır. Dahası karar vericilerdeki ve piyasa koşullarındaki tereddütler sezgisel bulanık sayıların doğası gereği yatırım projesi değerlendirme modeline aktarılacaktır.

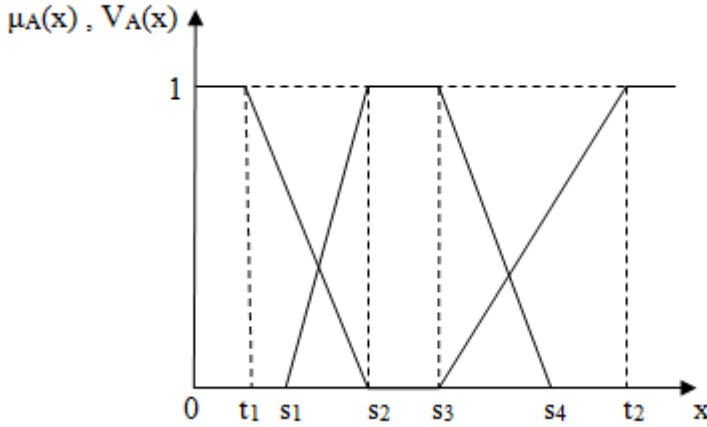
Gelecek yıllarda yapılmak istenen bir yatırım projesinin yatırım koşullarındaki belirsizlik her ne olursa olsun artacaktır. Sezgisel bulanık sayıların işlem doğası gereği ileriki yıllarda nakit akışları ve maliyetlerdeki değişkenlik artma eğiliminde olacaktır ve yatırım koşullarının artan belirsizliğine uyum sağlayacaktır. Diğer taraftan yatırım kararını erteleme, kapasite artırma, büyüme gibi yönetimsel esneklikler değerlendirme modelinde daha kapsamlı yer alacaktır.

Yatırım kararlarını değerlendirmeyi amaçlayan bu modelde beklenen nakit akışlarının ve beklenen maliyetin daha fazla bilgi içermesi gerekliliği ve yukarıdaki nedenlerden yola çıkılarak bu sayılar sezgisel yamuk bulanık sayı olarak kullanılmıştır. Ancak en olabilir aralık için tereddüt payı kaldırılmıştır. Bunun en önemli nedeni en olabilir değer aralığının bilinmezliğini ortadan kaldırma düşüncesidir. Bilinmezlik her zaman uçlara doğru daha fazla olmalıdır. Piyasa ne olursa olsun modelin esas aralığında kesinlik daha fazladır, en azından piyasanın beklentisi bu yöndedir.

Nakit akışlarının sezgisel bulanık bugünkü değerinin harf notasyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\tilde{S}^i = (s_1, s_2, s_3, s_4; t_1, s_2, s_3, t_2)$$

Nakit akışlarının sezgisel bulanık bugünkü değeri Şekil 7.1’de gösterilmiştir:



Şekil 7.1: Nakit akışlarının sezgisel bulanık bugünkü değeri.

Diğer ifade ile Nakit akışlarının sezgisel bulanık bugünkü değeri gelecekteki nakit akışlarının sezgisel bulanık değerlerinin bugüne ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (AOSM) ile indirgenmesiyle elde edilir:

$$\tilde{S}^i = (\tilde{N}A^i)_1 + (\tilde{N}A^i)_2 + (\tilde{N}A^i)_3 + \dots + (\tilde{N}A^i)_T = \sum_{t=1}^T (\tilde{N}A^i)_t / (1+AOSM)^t \quad (7.1)$$

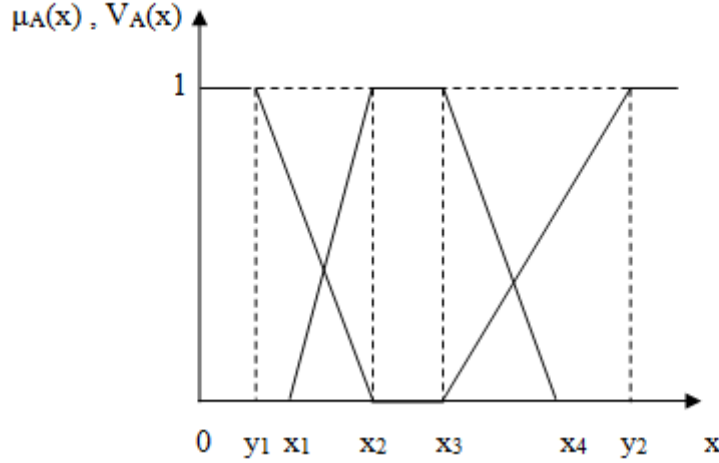
Yatırım kararı bir güneş enerjisi yatırımı olarak düşünüldüğünde nakit akışları elektrik fiyatları (EF), alım garantisi fiyatları (AGF), verimlilik oranı (VO), faiz oranı (FO), amortisman oranı (AO), işletme giderleri (İG), döviz kuru (DK) vb. değişkenlerin bir fonksiyonu olacak ve sezgisel trapezoidal bulanık sayı olarak kullanılacaktır.

$$(\tilde{N}A^i)_t = f((\tilde{E}F^i)_t, (\tilde{A}GF^i)_t, (\tilde{V}O^i)_t, (\tilde{F}O^i)_t, (\tilde{A}O^i)_t, (\tilde{I}G^i)_t, (\tilde{D}K^i)_t, \dots) \quad (7.2)$$

Beklenen maliyetin sezgisel bulanık değeri harf notasyonu aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{X}^i = (x_1, x_2, x_3, x_4; y_1, x_2, x_3, y_2)$$

Yatırım maliyetinin sezgisel bulanık değeri Şekil 7.2’de gösterilmiştir:



Şekil 7.2: Yatırım maliyetinin sezgisel bulanık değeri.

Modelde nakit akışlarını belirleyen elektrik fiyatları değişimi, alım garantisi değişimi, verimlilik oranı, döviz kuru değişkenleri, maliyeti belirleyen yatırım maliyeti değişimi, devlet katkı payı, devlet katkı payı değişimi değişkenleri sezgisel bulanık olarak kullanılmıştır.

Kümülatif standart normal dağılım değişkeni hesaplandıktan sonra sezgisel bulanık sayılar ile reel opsiyon değerlemesi modeli ortaya konulur.

t = Opsiyonun vadesine kalan süre (yıl bazında)

σ = Volatilité (Oynaklık) - Nakit akışlarının standart sapması (Bu değişkenin farklı yöntemlerle hesaplanma basamakları Bölüm 7.3’te açıklanmıştır.)

r = Risksiz faiz oranı

$N(d)$ = Kümülatif standart normal dağılım

$$\tilde{C}^i \cong \tilde{S}^i e^{-(\delta t)} N(d_1) - \tilde{X}^i e^{-(rt)} N(d_2) \quad (7.3)$$

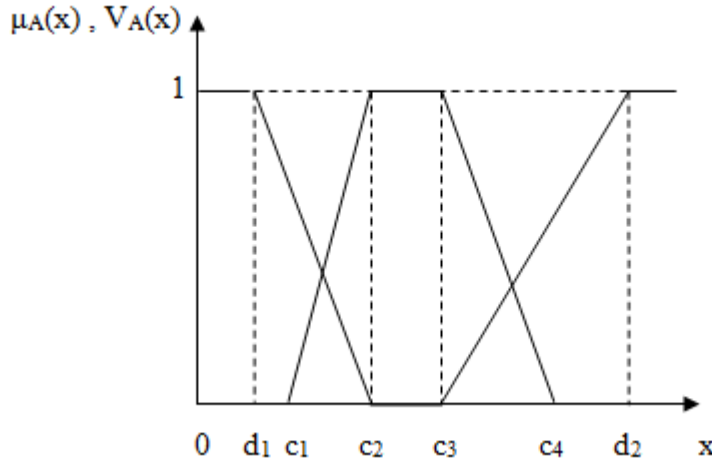
$$d_1 = [\ln(E(\tilde{S}^i) / E(\tilde{X}^i)) + (r - \delta + \sigma^2/2)t] / (\sigma\sqrt{t}) \quad (7.4)$$

$$d_2 = [\ln(E(\tilde{S}^i) / E(\tilde{X}^i)) + (r - \delta - \sigma^2/2)t] / (\sigma\sqrt{t}) = d_1 - \sigma\sqrt{t} \quad (7.5)$$

Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri (SBROD) aşağıdaki harf notasyonu ile ifade edilebilir:

$$\tilde{C}^i \cong (c_1, c_2, c_3, c_4; d_1, c_2, c_3, d_2)$$

Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri Şekil 7.3'te gösterilmiştir:



Şekil 7.3: Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri.

$$SBROD \cong (s_1, s_2, s_3, s_4; t_1, s_2, s_3, t_2)N(d_1) - (x_1, x_2, x_3, x_4; y_1, x_2, x_3, y_2)e^{-(rT)}N(d_2) \quad (7.6)$$

$$SBROD \cong (s_1N(d_1) - x_4e^{-(rT)}N(d_2), s_2N(d_1) - x_3e^{-(rT)}N(d_2), s_3N(d_1) - x_2e^{-(rT)}N(d_2), s_4N(d_1)$$

$$- x_1e^{-(rT)}N(d_2); t_1N(d_1) - y_2e^{-(rT)}N(d_2), s_2N(d_1) - x_3e^{-(rT)}N(d_2), s_3N(d_1) - x_2e^{-(rT)}N(d_2), t_2N(d_1)$$

$$- y_1e^{-(rT)}N(d_2)) \quad (7.7)$$

Carlsson ve Fuller'in açıkladığı gibi klasik reel opsiyon değeri ve sezgisel bulanık reel opsiyon değerinin beklenen değeri ancak ve ancak sezgisel bulanık reel opsiyon değeri simetrik ise olabilir. Ancak durum tesadüfidir.

Yatırımın karar verilmesi aşamasında esas kriter genişletilmiş net bugünkü değer olacaktır. Trigeorgis (1993)'e göre bir projenin kârlılığı şu şekilde değerlendirilebilir:

$$\text{Genişletilmiş NBD} = \text{Geleneksel NBD} + \text{Opsiyon Primi} \quad (7.8)$$

Bu çıkarımdan hareketle:

$$\text{Sezgisel Bulanık Genişletilmiş Net Bugünkü Değer} = \text{Sezgisel Bulanık Net Bugünkü Değer} + \text{Sezgisel Bulanık Reel Opsiyon Değeri} \quad (7.9)$$

$$\text{SBGNBD} = \text{SBNBD} + \text{SBROD} \quad (7.10)$$

Diğer bir gösterimle:

$$(\widetilde{\text{NBD}})_t \cong (s_1, s_2, s_3, s_4; t_1, s_2, s_3, t_2)_t - ((x_1, x_2, x_3, x_4; y_1, x_2, x_3, y_2)_t / (1 + \text{AOSM})^t) \quad (7.11)$$

$$(\widetilde{\text{GNBD}})_t$$

$$\cong (s_1, s_2, s_3, s_4; t_1, s_2, s_3, t_2)_t - ((x_1, x_2, x_3, x_4; y_1, x_2, x_3, y_2)_t / (1 + \text{AOSM})^t) + (c_1, c_2, c_3, c_4; d_1, c_2, c_3, d_2) \quad (7.12)$$

$$\begin{aligned} (\widetilde{\text{GNBD}})_t \cong & (s_1 - x_4(1 + \text{AOSM})^{t+c_1}, s_2 - x_3(1 + \text{AOSM})^{t+c_2}, s_3 - x_2(1 + \text{AOSM})^{t+c_3}, s_4 - \\ & x_1(1 + \text{AOSM})^{t+c_4}; t_1 - y_2(1 + \text{AOSM})^{t+d_1}, s_2 - x_3(1 + \text{AOSM})^{t+c_2}, s_3 - x_2(1 + \text{AOSM})^{t+c_3}, \\ & t_2 - y_1(1 + \text{AOSM})^{t+d_2}) \end{aligned} \quad (7.13)$$

Harf notasyonu şu şekilde kısaltılabilir:

$$(\widetilde{\text{GNBD}})_t = (e_1, e_2, e_3, e_4; f_1, e_2, e_3, f_2)_t \quad (7.14)$$

Her bir mevcut yatırım yılı için bulunan genişletilmiş net bugünkü değerler arasından en büyük sezgisel bulanık sayı değerine sahip yıl optimum yatırım yılı (t^*) olarak kabul edilir:

$$(\widetilde{\text{GNBD}})_{t^*} = \max_{t=0,1,2,\dots,T} (\widetilde{\text{GNBD}})_t \quad (7.15)$$

Bu karşılaştırma işlemi için sezgisel bulanık sayının beklenen değeri alınarak durulaştırma işlemi yapılır. Risk sever ve riskten kaçan karar vericilere göre:

$$E(\widetilde{\text{GNBD}}) = (e_1 + 2e_2 + 2e_3 + e_4 + f_1 + f_2) / 8 \quad (7.16)$$

$$E(\widetilde{\text{GNBD}}) = (e_1 + 4e_2 + 4e_3 + e_4 + f_1 + f_2) / 12 \quad (7.17)$$

7.2 Sezgisel Bulanık Sayılar ile Trinomial Reel Opsiyon Değerlemesi

“ \tilde{S}_0 ” Başlangıç yılı nakit akışları, “ \tilde{X}^i ” İlk yatırım maliyeti, “ Δt ” Yatırım her bir basamak zaman aralığı (yıl bazlı kullanılmıştır), “ r ” Risksiz faiz oranı, “ u ” Bir sonraki döneme geçişte nakit akışlarının artma oranı, “ d ” Bir sonraki döneme geçişte nakit akışlarının azalma oranı, “ p_u ” Bir sonraki döneme geçişte u değişikliği

olma olasılığı, “ p_m ” Bir sonraki döneme geçişte sabit kalma olasılığı, “ p_d ” Bir sonraki döneme geçişte d değışikliği olma olasılığı, “ σ ” Oynaklık değışkeni (1- Beklenen değer ifadelerinden elde edilen standart sapma, 2- Carlsson ve Fuller’den elde edilen posibilistik standart sapma, 3- Tarihsel Oynaklık), “ δ ” Yatırım kararı süreci boyunca opsiyonun değer kaybı- Finansal opsiyonlarda temettülü modelleme. Modelin formülasyonu ise şu şekildedir:

$$v=r-\delta-\frac{1}{2}\sigma^2 \quad (7.18)$$

$$\Delta x = \sigma\sqrt{3\Delta t} \quad (7.19)$$

$$u = e^{\Delta x} \quad (7.20)$$

$$d=1/u \quad (7.21)$$

$$p_u = (1/2)((\sigma^2\Delta t+v^2\Delta t^2)/\Delta x^2)+(\nu\Delta t/\Delta x) \quad (7.22)$$

$$p_m = 1-((\sigma^2\Delta t+v^2\Delta t^2)/\Delta x^2) \quad (7.23)$$

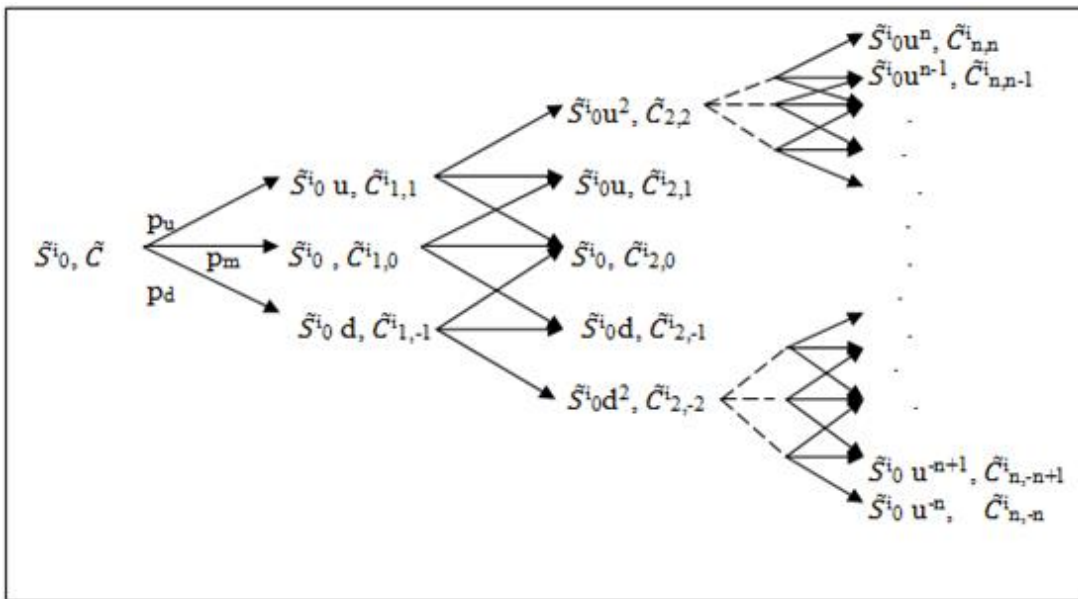
$$p_d = (1/2)((\sigma^2\Delta t+v^2\Delta t^2)/\Delta x^2)-(\nu\Delta t/\Delta x) \quad (7.24)$$

$$\tilde{S}_{i,j}^i = \tilde{S}_0^i(1-\delta)u^j, \quad j = -i, \dots, 0, \dots, i, \quad (7.25)$$

$$\tilde{C}_{T,j}^i = \text{maks. } (0, \tilde{S}_{T,j}^i - \tilde{X}^i), \quad j = -T, \dots, 0, \dots, T, \quad (7.26)$$

$$\tilde{C}_{i,j}^i = e^{-r\Delta t} (p_u\tilde{C}_{i+1,j+1}^i + p_m\tilde{C}_{i+1,j}^i + p_d\tilde{C}_{i+1,j-1}^i) \quad (7.27)$$

Bulanık reel opsiyon trinomial değerleme şeması şekil 7.4’de gösterilmiştir:



şekil 7.4: Trinomial Yaklaşımla Sezgisel Bulanık Reel Opsiyon Değerleme şeması.

7.3 Oynaklık (Volatilite) Hesapları

Standart sapma hesapları frekanslı modellerden, sezgisel bulanık sayının bulanık sayıya çevrilerek Carlsson ve Fuller'in (2001) posibilistik varyans uygulamasından ve tarihsel volatiliteden elde edilen oynaklık değerleri olarak üç değişik şekilde açıklanmıştır. Oynaklık ifadesi için riskten kaçan ve risk seven yatırımcı için beklenen değerler üzerinden frekanslar ile standart sapma hesapları, Carlsson Ve Fuller'den uyarlanan standart sapma hesabı ve tarihsel volatiliteler kullanılabilir. Bu dört oynaklık hesabı birbirleriyle karşılaştırılabilir. Ayrıca yatırım ortamına ve yatırımın cinsine göre karar verici bu hesaplamalardan birini tercih edebilir.

7.3.1 Frekanslı modellerden elde edilen oynaklık

Nagoorgani ve Ponnalagu (2012)'ya göre bir sezgisel bulanık sayının beklenen değeri şu şekilde ifade edilebilir:

$$E(\tilde{A}^i) = (a_1 + 4a_2 + a_3 + b_1 + b_2)/8 \quad (7.28)$$

Yamuk bulanık sayılara uyarlanırsa:

$$E(\tilde{S}^i) = (s_1 + 2s_2 + 2s_3 + s_4 + t_1 + t_2)/8 \quad (7.29)$$

$$E(\tilde{X}^i) = (x_1 + 2x_2 + 2x_3 + x_4 + y_1 + y_2)/8 \quad (7.30)$$

En olabilir değer aralığı kritik değerlerinin ağırlığı risk algısı göstergesi olarak yatırımcı kararına bağlı olarak değişebilir. Genel bir ifade ile şu şekilde gösterilebilir.

$$E(\tilde{S}^i) = (s_1 + ks_2 + ks_3 + s_4 + t_1 + t_2)/(4+2k) \quad (7.31)$$

$$E(\tilde{X}^i) = (x_1 + kx_2 + kx_3 + x_4 + y_1 + y_2)/(4+2k) \quad (7.32)$$

Eğer karar verici riskten kaçan bir yaklaşım gösteriyorsa en olabilir değer aralığındaki kritik değerlerin ağırlıklarını artırabilir. İlk beklenen değer hesaplamasını risk sever bir karar vericinin kullanabileceği düşünülürse, riskten kaçan bir yatırımcı için beklenen değer şu şekilde ifade edilebilir:

$$E(\tilde{S}^i) = (s_1 + 4s_2 + 4s_3 + s_4 + t_1 + t_2)/12 \quad (7.33)$$

$$E(\tilde{X}^i) = (x_1 + 4x_2 + 4x_3 + x_4 + y_1 + y_2)/12 \quad (7.34)$$

Beklenen değerler ve $\text{Var}(X) = E(X^2) - E(X)^2$ hesabından yola çıkılarak frekanslara $f(x)$ bağlı standart sapma hesabı bu modele entegre edilmiştir. Böylelikle varyansımız şu şekilde ifade edilecektir:

$$\sigma^2(\tilde{S}^i) = (f(s_1)(s_1-E(\tilde{S}^i))^2) + (f(s_2)(s_2-E(\tilde{S}^i))^2) + (f(s_3)(s_3-E(\tilde{S}^i))^2) + (f(s_4)(s_4-E(\tilde{S}^i))^2) + (f(t_1)(t_1-E(\tilde{S}^i))^2) + (f(t_2)(t_2-E(\tilde{S}^i))^2) \quad (7.35)$$

Yukarıda kullanılan risk sever karar verici için beklenen değer ifadesindeki frekanslar kullanılırsa ifade şu halini alır:

$$\sigma^2(\tilde{S}^i) = ((1/8)(s_1-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/4)(s_2-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/4)(s_3-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/8)(s_4-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/8)(t_1-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/8)(t_2-E(\tilde{S}^i))^2) \quad (7.36)$$

Riskten kaçan karar verici için:

$$\sigma^2(\tilde{S}^i) = ((1/12)(s_1-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/3)(s_2-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/3)(s_3-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/12)(s_4-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/12)(t_1-E(\tilde{S}^i))^2) + ((1/12)(t_2-E(\tilde{S}^i))^2) \quad (7.37)$$

7.3.2 Sezgisel bulanık sayının bulanık sayıya çevrilmesi ve Carlsson ve Fuller (2001) posibilistik varyans hesabından elde edilen oynaklık

Carlsson ve Fuller'in önerdiği beklenen değer ve varyans hesabının kullanılması için sezgisel bir bulanık sayının tip-1 yamuk bir bulanık sayıya çevrilmesi gerekmektedir. Bulanık sayı doğrularının lineer olduğu varsayılan hesaplamada, sezgisel bir bulanık sayının tip-1 yamuk bir bulanık sayıya çevrilmesi için “a₁” ve “b₁” kritik noktaları arasında “a₁*” notasyonu ile yeni bir en düşük değerli olabilir sayı, “a₄” ve “b₂” kritik noktaları arasında ise “a₄*” notasyonu ile yeni bir en yüksek değerli olabilir sayı elde edilmelidir. Bunun için şu şekilde bir yol izlenmelidir:

“a₁” sayısının üye olma derecesi “0”, üye olmama derecesi ise V(a₁), tereddüt payı ise π(a₁)’dir. Bu sayı tereddüt payının yarısının üye olma derecesine eklenip, yarısının da üye olmama derecesi eklenmesiyle yeni bir ifadeye sahip olur.

Bu aşamadan sonra tip-1 yamuk bulanık bir sayının sol lineer doğrusunu elde etmek için iki noktaya sahip olunur. Noktalardan ilki (a₂, 1) iken diğeri (a₁, π(a₁)/2)’dir. Tereddüt payının yarı değeri ise üye olmama fonksiyonunun sol lineer doğrusundan harf notasyonu ile bulunur. Bu değer = (b₁-a₁)/(2b₁-2a₂)’dir.

Yukarıdaki iki nokta ile x ve y’ye bağlı elde edilen doğruya x yerine “a₁*”, y yerine de “0” yazılarak en düşük değerli olabilir sayı elde edilir.

$$a_1^* = (2b_1a_1 - a_1a_2 - b_1a_2)/(b_2 - 2a_2 + a_1) \quad (7.38)$$

“a₄” sayısının üye olma derecesi “0”, üye olmama derecesi ise V(a₄), tereddüt payı ise π(a₄)’dir. Bu sayı tereddüt payının yarısının üye olma derecesine eklenip, yarısının da üye olmama derecesi eklenmesiyle yeni bir ifadeye sahip olur.

Bu aşamadan sonra tip-1 yamuk bulanık bir sayının sağ lineer doğrusunu elde etmek için iki noktaya sahip olunur. Noktalardan ilki (a₂, 1) iken diğeri (a₄, π(a₄)/2)’dir. Tereddüt payının yarı değeri ise üye olmama fonksiyonun sağ lineer doğrusundan harf notasyonu ile bulunur. Bu değer = (b₂-a₄)/(2b₂-2a₄)’dir.

Yukarıdaki iki nokta ile x ve y’ye bağlı elde edilen doğruya x yerine “a₄*”, y yerine de “0” yazılarak en düşük değerli olabilir sayı elde edilir.

$$a_4^* = (2b_2a_4 - a_4a_2 - b_2a_2) / (b_2 - 2a_2 + a_4) \quad (7.39)$$

Bu aşamalardan sonra elde edilen $\tilde{A} = (a_1^*, a_2, a_3, a_4^*)$ bulanık sayısının Carlsson ve Fuller’e göre beklenen değeri ve varyansı bulunur:

$$E(\tilde{A}) = (a_1^* + 2a_2 + 2a_3 + a_4^*) / 6 \quad (7.40)$$

$$\sigma^2(\tilde{A}) = (a_3 - a_2)^2 / 4 + ((a_3 - a_2)(a_4^* - a_1^*)) / 6 + (a_4^* - a_1^*)^2 / 24 \quad (7.41)$$

Modelde ise varyansın karekökü alınarak standart sapmaya çevrilmiş halinin modelde kullanımının standartlaştırılması için nakit akışlarının beklenen değerine bölümünden elde edilen değer volatilité olarak kullanılır:

$$\sigma = \sigma(\tilde{A}^i) / E(\tilde{A}^i) \quad (7.42)$$

7.3.3 Tarihsel volatilitéden elde edilen oynaklık

Tarihsel volatilité (oynaklık) hesabındaki tanımlar:

n + 1 = Gözlem sayısı

S_j = j. dönem sonunda dayanak varlık fiyatı

T = Yıl bazında zaman aralığı

“u_j” değişkeni aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$u_j = \ln(S_j / S_{j-1}) \quad (7.43)$$

“u_j” değişkeninin standart sapması “s” ile ifade edilir:

$$s = \sqrt{[(1/n-1) \sum (u_j - \bar{u})^2]} \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (7.44)$$

“ \bar{u} ”, “u_j” verilerinin aritmetik ortalamasıdır.

Volatilite (oynaklık) ise şu şekilde bulunur:

$$\sigma = s / \sqrt{T} \quad (7.45)$$

7.4 Sezgisel Bulanık Reel Opsiyon Modeli Güneş Enerjisi Yatırımı Uygulaması

Fotovoltaik güneş enerjisi elektrik üretim tesisi yatırımı son yıllarda giderek artan bir popüleriteye sahiptir. Eskiden yatırım yapılamaz kârlılıkta olan bu yatırım projesi devletler tarafından sağlanan pek çok teşvik ve uygulama yatırım yapılabilir seviyeye gelmektedir. Ülkemizde ise lisanssız pek çok tesis kurulmaktadır. Lisanslı tesis ise şu an için dokuzdur ve firmalar tarafından çok fazla tercih edilmemektedir. Ancak her geçen yıl yapılabilirliği artmaktadır ve son 1 yılda kârlı yapılabilme ihtimali artmaya başladığından firmalar tarafından kârsızlık riski çok olsa da tercih edilmeye başlanmıştır. Bu nedenle bu çalışmada bu yatırımın bugünkü durumunun kârlılığı ve gelecekteki durumunun kârlılıkları incelenecektir. Sezgisel bulanık reel opsiyon modeli ile yönetsel esneklikler ve belirsizlik faktörü yatırım sürecine dahil edilecektir. Ayrıca sezgisel bulanık sayıların doğası gereği proje daha geniş perpektifte modellenebilecektir. Türkiye’de yenilebilir enerji sektörü gibi yoğun belirsizliğin olduğu yatırım ortamlarında sezgisel bulanık reel opsiyon modeli tereddüt paylarını da içererek doğru ve kapsamlı değerlendirme imkanı verecektir.

Bu çalışmada uygulama için 20 MW’lık bir tesisin Akdeniz Bölgesi, Orta ve Güneydoğu Anadolu civarındaki yatırımı için değerlemesi kullanılmıştır. Sezgisel bulanık sayıların gösteriminde ondalık sayılar için kullanılan virgül(,) ile kritik noktaları ayıran virgül(,) arasında karışıklık olmaması açısından kritik noktaları ayırmak için iki nokta(:) işareti kullanılmıştır. Varsayımlar ise aşağıdaki gibidir.

7.4.1 Varsayımlar

Bizim için nihai hedef genişletilmiş net bugünkü değere ulaşmaktır. Bu hedefe ulaşmak için çeşitli varsayımlar, modellemeler ve piyasa verileri kullanılmalıdır. Ayrıca değişkenlerden bazıları sezgisel bulanık sayı olarak kullanılırken bazıları ise klasik sayı olarak kullanılmıştır. Bu durum Çizelge 7.1’de özetlenmiştir. Ayrıca tablonun İngilizcesi uluslar arası çalışmalara ışık tutması için Çizelge 7.2’de verilmiştir:

Çizelge 7.1: Değişkenlerin nasıl elde edildiği ile ilgili özet çizelge.

Sezgisel Bulanık Sayı		Klasik Sayı	
Değişken	Yöntem	Değişken	Yöntem
Avro/Dolar paritesi	Piyasa verisi	Elektrik başlangıç fiyatı	Piyasa verisi
Alım garantisi değişimleri	Uzman görüşü-sezgisel bütünleştirme	Alım garantisi başlangıç fiyatı	Yönetmelik
Elektrik fiyat değişim senaryoları ve seçimi	Uzman görüşü-sezgisel bütünleştirme-Buckley AHP	Yatırım maliyeti başlangıç fiyatı	Piyasa verisi
Yatırım maliyeti değişimi	Uzman görüşü-sezgisel bütünleştirme	Ön lisans, lisans, izinler, arazi tesisi	Piyasa verisi
Devlete ödenen katkı payı	Piyasa verisi	Yatırım ömrü ve senelik giderler	Piyasa verisi
Devlete ödene katkı payındaki değişim	Uzman görüşü-sezgisel bütünleştirme	Amortisman uygulaması ve vergi oranı	Yönetmelik
Panel verimlilik oranları	Uzman görüşü	Risksiz faiz oranı, banka faiz oranı	Piyasa verisi
		Euro bazlı yatırımcı getiri beklentisi	Piyasa verisi-Sermaye varlıkları fiyatlama modeli
		İndirgeme oranı	Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti hesabı
		Volatilité	Tarihsel veri, frekanslar üzerinden varyans hesabı, Carlsson ve Fuller'in önerisi
		Hurda değeri ve lisans satış değeri	Uzman görüşü

Çizelge 7.2: Değişkenlerin nasıl elde edildiği ile ilgili özet çizelgenin İngilizcesi.

Intuitionistic Fuzzy Number		Classic Number	
Variable	Method	Variable	Method
Euro/Dollar parity	Market data	Electricity starting price	Market data
Feed-in-tariff changes	Expert opinion-intuitionistic aggregation	Feed-in-tariff starting price	Regulations
Electricity price change scenarios and selection	Expert opinion - intuitionistic aggregation - Buckley AHP	Investment cost starting price	Market data
Investment cost changes	Expert opinion - intuitionistic aggregation	Preliminary license, license, permits, land facility	Market data
Contribution paid to the state	Market data	Investment life and annual expenses	Market data
Change in contribution paid to the state	Expert opinion - intuitionistic aggregation	Amortization application and tax rate	Regulations
Panel efficiency ratios	Expert opinion	Risk free interest rate, bank interest rate	Market data
		Euro based investor's expected rate of return	Market data –Capital asset pricing model
		Discount rate	Weighted average cost of capital calculation
		Volatility	Historical data, variance calculation based on frequencies, Carlsson and Fuller's proposal
		Salvage value and license sales value	Expert opinion

Modeldeki her bir değişkenin bu çerçevede nasıl kullanıldığı aşağıda teker teker açıklanmıştır:

7.4.1.1 Elektrik fiyatları ve elektrik fiyatları değişimi

Ülkemizde yenilenebilir enerji sektörü ile ilgili çeşitli teşvikler mevcuttur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun ve bakanlar kurulunun aldığı bazı kararlar ve verdiği teşvikler sayesinde sektör hareketlenmeye başlamıştır.

İlk yılki kurulumdan dolayı üretim yapılamamasını da göz önüne alarak:

—0-1 yılları : üretim yok

—1-11 yılları : 13,3 Dolar sent/kwsa alım garantisi

İlk yatırım maliyetinin Avro kurunda olması nedeniyle bu alım garantisi Avro kuruna çevrilmelidir. Paritenin de sürekli değişmesi nedeniyle Avro/Dolar paritesi sezgisel yamuk bulanık sayı olarak modele eklenmiştir:

— Avro/Dolar paritesi = (1,08: 1,11: 1,14: 1,17; 1,05: 1,11, 1,14: 1:20)

Diğer taraftan 2020 yılının sonuna kadar işletmeye girecek firmalar için geçerli olan bu alım garantisinin bu tarihten sonra aynı şekilde devam etmeyeceği öngörülmektedir. Artan lisans başvurularından dolayı firmalar alım garantilerinin bir kısmını devlete katkı payı olarak vermektedirler. Bu nedenle alım garantilerinin düzenleme ile düşürüleceği öngörülmektedir. Çalışmada bu düzenlemelerin 2021 yılından itibaren 3 karar vericili süreç ile belirlenen değeri kullanılmıştır. 3 karar vericinin kararları bütünleştirilerek kullanılmıştır.

Çizelge 7.3: Karar vericilerin 2021 yılından itibaren alım garantisindeki değişim tahminleri.

KARAR VERİCİ	DEĞER
KV1	(-34%: -33%: -32%: -31%; -35%:-33%: -32%: -30%)
KV2	(-19%: -18%: -17%: -16%; -20%: -18%: -17%: -15%)
KV3	(-29%: -28%: -27%: -26%; -30%: -28%: -27%: -25%)
KV SON	(-28%: -27%: -26%: -25%; -29%:-27%: -26%: -24%)

Diğer yıllarda üretilen elektrik piyasaya verilecektir. Bu nedenle elektrik fiyatlarındaki değişimin belirlenmesi gerekmektedir. Ülkemizdeki mevcut koşullar

göz önüne alındığında uzman görüşünün hakim olduğu bir yaklaşım fiyat değişimlerini belirlemede daha uygun olacaktır. Buckley AHP'nin kullanılma nedeni gelişmekte olan ekonomilerde ve özellikle Türkiye'de elektrik fiyatlarının öznel yargılara bağlı olarak hareket edebileceği düşüncesidir. Ayrıca belirsizlik sınırı olarak AHP karar veriş sürecinde tip-1 trapezoidal bulanık sayılar yeterli görülmüştür.

Üç karar vericinin kararlarını bütünleştirilerek Buckley'nin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanarak yapılacak bu senaryo seçiminde kriter olarak Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsasının Elektrik Piyasası ve Enerji Vadeli İşlem Sözleşmeleri kitapçığından elde edilen elektrik fiyatlarını etkileyen unsurlar kullanılacaktır:

- Talep yönlü faktörler
 - Büyüme oranı
 - Nüfus
 - Kentselleşme
 - İklim
 - Enerji verimliliği
- Arz yönlü faktörler
 - Doğal gaz Fiyatları
 - Kömür Fiyatları
 - Döviz kuru
 - Hidroloji
 - Rüzgar, güneş vb. faktörler
- Düzenleme, teşvikler

Modelde kullanılacak alternatifler için 3 karar vericinin her birinden en kötü “senaryo 1” ve en iyi “senaryo 4” olacak şekilde 4 adet senaryo istenmiştir. Bu senaryolar sezgisel bulanık sayı olarak kullanılmıştır. 7 yıllık süreçler için toplam değişimleri ifade edecek şekilde tasarlanmıştır ve 3 karar vericinin kararları bütünleştirilmiştir.

Çizelge 7.4: Karar vericilerin senaryo tercihleri.

KV1		KV2	
Senaryo 1 (-40%, -25%)	(0,53: 0,56: 0,59: 0,62; 0,60: 0,56: 0,59: 0,75)	Senaryo 1 (-45%, -35%)	(0,57: 0,59: 0,61: 0,63; 0,55: 0,59: 0,61: 0,65)
Senaryo 2 (-30%, -20%)	(0,72: 0,74: 0,76: 0,78; 0,70: 0,74: 0,76: 0,80)	Senaryo 2 (-35%, -30%)	(0,66: 0,67: 0,68: 0,69; 0,65: 0,67: 0,68: 0,70)
Senaryo 3 (-15%, -10%)	(0,86: 0,87: 0,88: 0,89; 0,85: 0,87: 0,88: 0,90)	Senaryo 3 (-15%, 0%)	(0,88: 0,91: 0,94: 0,97; 0,85: 0,91: 0,94: 1,00)
Senaryo 4 (-20%, 10%)	(0,86: 0,92: 0,98: 1,04; 0,80: 0,92: 0,98: 1,10)	Senaryo 4 (-5%, 20%)	(1,00: 1,05: 1,10: 1,15; 0,95: 1,05: 1,10: 1,20)
KV3		KV SON	
Senaryo 1 (-50%, -35%)	(0,53: 0,56: 0,59: 0,62; 0,50: 0,56: 0,59: 0,65)	Senaryo 1 (-45%, -32%)	(0,58: 0,60: 0,63: 0,66; 0,55: 0,60: 0,63: 0,68)
Senaryo 2 (-35%, -25%)	(0,67: 0,69: 0,71: 0,73; 0,65: 0,69: 0,71: 0,75)	Senaryo 2 (-33%, -25%)	(0,68: 0,70: 0,72: 0,73; 0,67: 0,70: 0,72: 0,75)
Senaryo 3 (-15%, -5%)	(0,87: 0,89: 0,91: 0,93; 0,85: 0,89: 0,91: 0,95)	Senaryo 3 (-15%, -5%)	(0,87: 0,89: 0,91: 0,93; 0,85: 0,89: 0,91: 0,95)
Senaryo 4 (-5%, 10%)	(0,98: 1,01: 1,04: 1,07; 0,95: 1,01: 1,04: 1,10)	Senaryo 4 (-6%, 13%)	(0,94: 0,99: 1,04: 1,09; 0,90: 0,99: 1,04: 1,13)

Bu kriterlere bağlı olarak alternatifler arasında her 7 yıllık süreç için yıllık değişimleri belirleyecek senaryolar ise şu şekilde seçilmiştir:

- 1-7 yılları arası(7 yıl toplam -33%, -25%): (0,947: 0,950: 0,953: 0,956; 0,944: 0,950: 0,953: 0,960)
- 8-14 yılları arası(7 yıl toplam -15%, -5%): (0,980: 0,983: 0,987: 0,990; 0,977: 0,983: 0,987: 0,993)
- 15-21 yılları arası(7 yıl toplam -15%, -5%): (0,980: 0,983: 0,987: 0,990; 0,977: 0,983: 0,987: 0,993)
- 22. yıl ve sonrası(7 yıl toplam -15%, -5%): (0,980: 0,983: 0,987: 0,990; 0,977: 0,983: 0,987: 0,993) (7 yıllık yüzdesel seçimin yıllık olarak indirgenmiş halidir. 29. yıl ve sonrası için aynı şekilde devam edeceği varsayılmıştır.)

Söz gelimi 3,80 Avro sent olan elektrik piyasa fiyatı 12. yılda (2,35: 2,45: 2,54: 2,64; 2,25: 2,45: 2,54: 2,74) olacaktır.

7.4.1.2 Yatırım maliyetleri ve değişim senaryosu varsayımları

Megavat başına tüm kalemler dahil üretim maliyeti 1.000.000 Avro olarak alınmıştır. 20 MW'lık tesis için maliyet böylelikle 20.000.000 Avro olacaktır. Diğer taraftan gelişen teknoloji ve arz-talep dengesi ile ilk yatırım maliyetleri seneden seneye fark edecektir. Uzman görüşü şeklinde olan ilk maliyet yatırım tutarlarındaki değişim senaryoları 5 senede bir değişerek şu şekilde olması öngörülmektedir:

Çizelge 7.5: Karar vericilerin yatırım maliyetlerindeki değişim tahminleri.

KV1		KV2	
1-5 yılları (-19%, -7%)	(0,965: 0,970: 0,975: 0,980; 0,960: 0,970: 0,975: 0,985)	1-5 yılları (-20%, -10%)	(0,960: 0,965: 0,970: 0,975; 0,955: 0,965: 0,970: 0,980)
6-10 yılları (-16%, -5%)	(0,970: 0,975: 0,980: 0,985; 0,965: 0,975: 0,980: 0,990)	6-10 yılları (-16%, -5%)	(0,970: 0,975: 0,980: 0,985; 0,965: 0,975: 0,980: 0,990)
11-15 yılları (0%)	(1,000: 1,000: 1,000: 1,000; 1,000: 1,000: 1,000: 1,000)	11-15 yılları (-12%, 0%)	(0,980: 0,985: 0,990: 0,995; 0,975: 0,985: 0,990: 1,000)
KV3		Geometrik bütünleştirilmiş	
1-5 yılları (-16%, -5%)	(0,970: 0,975: 0,980: 0,985; 0,965: 0,975: 0,980: 0,990)	1-5 yılları	(0,965: 0,970: 0,975: 0,980; 0,960: 0,970: 0,975: 0,985)
6-10 yılları (-12%, 0%)	(0,980: 0,985: 0,990: 0,995; 0,975: 0,985: 0,990: 1,000)	6-10 yılları	(0,973: 0,978: 0,983: 0,988; 0,968: 0,978: 0,983: 0,993)
11-15 yılları (-12%, 0%)	(0,980: 0,985: 0,990: 0,995; 0,975: 0,985: 0,990: 1,000)	11-15 yılları	(0,987: 0,990: 0,993: 0,997; 0,983: 0,990: 0,993: 1,000)

Parantez içi değerler 5 senelik yaklaşık toplam değişim aralığıdır. En uç değerler varsayılmış daha sonra sezgisel yamuk bulanık sayının kritik değerlerinin her biri için aralık eşit parçalara bölünmüştür.

7.4.1.3 Ön lisans, lisans, izinler, arazi tesisi ile ilgili maliyetler

Ön lisans, lisans, izinler, arazi tesisi için 400.000 Avro'luk maliyet ilk yatırım maliyetine eklenmiştir.

7.4.1.4 Yatırım ömrü ve senelik giderler

Yatırımı ömrü 20 sene olarak alınmıştır. Her yıl 300.000 Avro gider olacağı düşünülmektedir.

7.4.1.5 Devlete ödenen katkı payı

Lisanslı güneş enerjisi üretimi yapmak isteyen firmalar devlete katkı payı ödemektedirler. Çalışmada katkı paylarının bu belirsizliğini gidermek için sezgisel bulanık sayılar ile modellenmiştir.

İlk seneki katkı payı = (6,5m.: 7m.: 7,5m.: 8m.; 6m.: 7m.: 7,5m.: 8,5m.) Avro

Ödenen teşvik payına 2021 yılında düzenleme gelecektir. Bu nedenle 2021 yılında katkı payında ciddi bir düşüş olacaktır. Bu durum modele 3 karar vericinin sezgisel bulanık kararının bütünleştirilmesi süreci ile eklenecektir.

Çizelge 7.6: Karar vericilerin 2021 yılı katkı payı düşüş tahminleri.

KARAR VERİCİ	DEĞER
KV1	(-83%: -81%: -79%: -77%; -85%: -81%: -79%: -75%)
KV2	(-88%: -86%: -84%: -82%; -90%: -86%: -84%: -80%)
KV3	(-73%: -71%: -69%: -67%; -75%: -71%: -69%: -65%)
KV TOPLAM	(-82%: -80%: -78%: -76%; -84%: -80%: -78%: -74%)

2021 yılındaki düşüşten sonra ilerleyen yıllarda artan rekabet nedeniyle teşvik payı her sene belli oranlarda artacaktır. Bu durum yine modele 3 karar vericinin sezgisel bulanık kararının bütünleştirilmesi süreci ile eklenecektir.

Çizelge 7.7: Karar vericilerin 2021 yılı sonrası katkı payı değişimi tahminleri.

KARAR VERİCİ	DEĞER
KV1	(12%: 14%: 16%: 18%; 10%: 14%: 16%: 20%)
KV2	(2%: 4%: 6%: 8%; 0%: 4%: 6%: 10%)
KV3	(11%: 12%: 13%: 14%; 10%: 12%: 13%: 15%)
KV TOPLAM	(8%: 10%: 12%: 13%; 7%: 10%: 12%: 15%)

7.4.1.6 Yıllık elektrik üretim miktarları

Günümüzde yıllık olarak Akdeniz Bölgesi, Orta ve Güneydoğu Anadolu yapılacak bir yatırımla ortalama olarak 1 megavatlık tesis başına 1.848.360 kWsa enerji üretmek mümkündür. Bugün için üretim miktarı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$20.000 \text{ kW} * 365 \text{ gün} * 24 \text{ saat/gün} * (0,208: 0,210: 0,212: 0,214; 0,206: 0,210: 0,212: 0,216) \text{ (verim oranı)} = (36.441,6: 36.792: 37.142,4: 37.492,8; 36.091,2: 36.792: 37.142,4: 37.843,2) \text{ kWsa}$$

Yıllara göre verim oranları ise gelişen teknoloji, arz-talep dengesi ve potansiyel yatırım noktalarının kaybı gibi unsurlar dikkate alınarak uzman görüşü dahilinde belirlenmiştir ve uzman görüşlerinin ortalaması gibi düşünüleceğinden bütünleştirme yapılmamıştır. Uzman görüşü için Türkiye’de Gensed’e başvurulmuştur. Ayrıca 0., 1. ve 2. senelerde teknoloji gelişimi-verimli yatırım yeri bulunması ödünleşiminden dolayı verim oranları sabit bırakılmıştır. Kullanılan verim oranları şu şekildedir:

Çizelge 7.8: Fotovoltaik güneş enerjisi yıllara göre değişen verim oranları.

YIL	VERİMLİLİK ORANI	YIL	VERİMLİLİK ORANI
1	(0,208: 0,210: 0,212: 0,214; 0,206: 0,210: 0,212: 0,216)	9	(0,225: 0,227: 0,229: 0,231; 0,223: 0,227: 0,229: 0,233)
2	(0,208: 0,210: 0,212: 0,214; 0,206: 0,210: 0,212: 0,216)	10	(0,227: 0,229: 0,231: 0,233; 0,225: 0,229: 0,231: 0,235)
3	(0,211: 0,213: 0,215: 0,217; 0,209: 0,213: 0,215: 0,219)	11	(0,229: 0,231: 0,233: 0,235; 0,227: 0,231: 0,233: 0,237)
4	(0,214: 0,216: 0,218: 0,220; 0,212: 0,216: 0,218: 0,222)	12	(0,231: 0,233: 0,235: 0,237; 0,229: 0,233: 0,235: 0,239)
5	(0,217: 0,219: 0,221: 0,223; 0,215: 0,219: 0,221: 0,225)	13	(0,233: 0,235: 0,237: 0,239; 0,231: 0,235: 0,237: 0,241)
6	(0,219: 0,221: 0,223: 0,225; 0,217: 0,221: 0,223: 0,227)	14	(0,235: 0,237: 0,239: 0,241; 0,233: 0,237: 0,239: 0,243)
7	(0,221: 0,223: 0,225: 0,227; 0,219: 0,223: 0,225: 0,229)	15	(0,237: 0,239: 0,241: 0,243; 0,235: 0,239: 0,241: 0,245)
8	(0,223: 0,225: 0,227: 0,229; 0,221: 0,225: 0,227: 0,231)		

Ayrıca yatırım yapılan her hangi bir yılda 20 senelik yatırım ömrü boyunca her sene 1,0%’lık verim kaybı olacağı varsayılmıştır.

7.4.1.7 Amortisman uygulaması ve vergi oranı

Vergi Usul Kanunu'nun 333 sıra numaralı tebliğine sonradan eklenen bilgiye göre güneş enerjisi yatırımında faydalı ömür 10 sene ve normal amortisman oranı 10%'dur.

Diğer taraftan vergi oranı olarak 22% kullanılmıştır.

7.4.1.8 Yatırımın sermaye bütçelemesi, ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti ve risksiz faiz oranı

Güneş enerjisi yatırımının sermaye bütçelemesinin 30%'u ortaklardan karşılanırken, diğer 70%'si ise banka kredisinden karşılanmıştır. Avro olarak alınan kredide yıllık faiz oranı 7,25% alınırken, öz sermayenin maliyeti 5,62% olarak bulunmuştur. Böylelikle ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti 5,65% olmuştur. Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti aşağıdaki adımlar izlenerek hesaplanmıştır (veriler Thomson Reuters altyapısından alınmıştır):

- Bist-100 endeksinin son iki senelik ortalama günlük getirisinin yıllık olarak hesaplanmasıyla yıllık 15,07%'lik oran bulunmuştur.
- 10 senelik Türk devlet tahvilinin son 1 senelik ortalaması 14,22% bulunmuştur.
- Farklı vade tarihli 4 adet Avro cinsi Eurobond borçlanma aracının son iki aylık faiz oranı ortalaması alınmıştır (piyasanın riskini yansıtması ve yükselen Avro cinsi kredi faiz oranına uyumluluğu açısından alınmıştır). Bu değer 5,28%'dir. Bu değer aynı zamanda risksiz faiz oranımızdır.
- Sermaye varlıkları fiyatlama modelinden yola çıkılarak;
— TL cinsi $k_{\text{öm,TL}} = r_{f,TL} + \beta (r_{m,TL} - r_{f,TL})$
— Avro cinsi $k_{\text{öm,Avro}} = r_{f,Avro} + \beta (r_{m,Avro} - r_{f,Avro})$
— Bu iki denklemden $(r_{f,TL} / r_{f,Avro}) = (r_{m,TL} - r_{f,TL}) / (r_{m,Avro} - r_{f,Avro})$ oranlaması yapılmıştır. Verilerin yerleştirilmesinden sonra $r_{m,Avro} = 0,0560$ bulunmuştur.
- Beta Bist-100'deki 5 adet Enerji şirketinin ortalaması alınarak 1,092 bulunmuştur.
- Yine sermaye varlıkları fiyatlama modelinden Avro cinsi öz sermaye maliyeti bulunmuştur. $K_{\text{öm,Avro}} = 0,0528 + 1,092(0,0560 - 0,0528) = 0,0562$
- En son ise ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti bulunmuştur:

$$\text{--- AOSM} = (k_{\text{öm}}w_{\text{öm}}) + (k_b w_b (1 - \text{vergi oranı})) = (0,0562 \times 0,3) + (0,0725 \times 0,7 \times (1 - 0,22)) = 0,0565.$$

7.4.1.9 Sezgisel bulanık sayı beklenen değerleri ve modeldeki varyans hesabı

Model için tarihsel volatilité hesabı ile hesaplanan değer de karşılaştırma için kullanılmış ve de elektrik fiyatları bu hesaplama için dayanak olmuştur. Epiăș'tan Temmuz 2009'dan itibaren alınan aylık 112 adet elektrik fiyat verisi tarihsel volatilité hesabında kullanılmıştır. Kullanılan veriler her ay için saatlik verilerin ortalaması olarak TL şeklinde derlenmiştir. Avro bazlı hesaplama yapıldığı için o aylık ortalama kurlar Thomson Reuters altyapısından alınmıştır ve elde edilen TL cinsinden ortalama elektrik fiyatı veri seti bu ortalama kura göre Avro para birimine çevrilmiştir. Aylık volatilité değeri %14,8 iken, yıllık değer %51,1'dir.

Çizelge 7.9: Yıllara göre hesaplanan volatilité değerleri.

	RS	RK	CF	TV
1	0,283	0,238	0,225	0,511
2	0,339	0,284	0,267	0,511
3	0,370	0,310	0,291	0,511
4	0,399	0,334	0,314	0,511
5	0,427	0,358	0,338	0,511
6	0,468	0,392	0,370	0,511
7	0,511	0,428	0,403	0,511
8	0,557	0,466	0,439	0,511
9	0,607	0,508	0,478	0,511
10	0,664	0,555	0,522	0,511
11	0,731	0,610	0,573	0,511
12	0,813	0,676	0,634	0,511
13	0,914	0,758	0,708	0,511
14	1,044	0,862	0,802	0,511
15	1,214	0,998	0,923	0,511

7.4.1.10 Hurda değeri ve lisans satış değeri

20 seneden çalıştıktan sonra yatırımın hurda değeri de olacaktır. Ancak gerek sıfır panel maliyetlerinin gelecekte çok dışmesi gerekse yeni panel teknolojileri ile artan verimlilikler nedeniyle bu değer çok yüksek olamayacaktır.

Diğer taraftan devletten alınan 49 senelik işletim hakkı ile 20 seneden sonra yapılacak yatırım ile piyasa fiyatından elektrik satış hakkı elde edilecektir. Ama bu durumda Avro/TL kuruna bağlı çok yoğun bir bilinmezlik ortamında yatırım olacaktır. Bu yatırımın kârlı olsa bile çok kârlı olamayacağını söyleyebiliriz. Ayrıca paranın zaman değerini de dışündüğümüzde bu değer günümüz için küçük bir değer olacaktır.

Bu iki durumu da dışündüğümüzde amortismanla giren değerlerin yüzde 10'unun yatırım ömrü sonunda hurda değeri ve lisans bedeli karşılığı satılacağı dışünülebilir.

7.4.1.11 Çalışmanın Sonuçları

Çalışmada ilk önce eğer yatırım bugün yapılırsa kârlı bir şekilde yapılabilir mi sorusunu cevaplamak için net bugünkü değer yaklaşımı ile değerleme yapılmıştır. Fotovoltaik hücrelerden enerji üreten güneş enerjisi yatırım projesinin net bugünkü değeri (-3.577.039: -2.136.443: -647.177: 894.466; -4.972.317: -2.136.443: -647.177: 2.492.608) Avro sezgisel bulanık sayı olarak bulunmuştur. -1.341.190 Avro beklenen değeri ile proje bugün için yapılamaz durmaktadır. Projenin iç kârlılık oranı ise katkı paylarının yüksekliği nedeniyle %3,81 gibi ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinden düşük bir sayı çıkmıştır. Bu şartlar altında fotovoltaik güneş panelleriyle enerji üretimi yatırımı yapılabilir seviyenin uzağındadır.

Çizelge 7.10: Yıllara göre sezgisel net bugünkü değerlerin beklenen değerleri.

YILLAR	NBD(RS)	NBD(RK)	NBD(CF)
1	-873.912	-890.090	-897.307
2	-763.275	-760.930	-761.207
3	-341.187	-339.422	-338.463
4	-2.799	-1.469	676
5	263.309	265.886	268.859
6	308.983	315.154	319.515
7	316.122	326.637	332.705
8	287.307	302.888	311.063
9	224.616	246.036	256.741
10	129.837	157.935	171.621
11	-71.935	-36.376	-19.117
12	-292.722	-248.720	-227.381
13	-532.581	-479.040	-453.044
14	-792.019	-727.611	-696.187
15	-1.071.038	-994.404	-956.829

NBD: NET BUGÜNKÜ DEĞER, GNBD: GENİŞLETİLMİŞ NET BUGÜNKÜ DEĞER, RS: RİSK SEVEN, TV: TARİHSEL VOLATİLİTE, RK: RİSKTEN KAÇAN.(BİRİMLER AVRO CİNSİNDEDİR.)

*(Beklenen değer ifadeleri yaklaşık olarak bulunmuştur. Sezgisel bulanık sayı süreçte simetrikliğini koruyamamaktadır.)

Çizelge 7.11: Yıllara göre Carlsson ve Fuller'den esinlenilerek elde edilen sezgisel bulanık opsiyon değerlerinin beklenen değerleri.

YILLAR	OPSİYON DEĞERİ(RS)	OPSİYON DEĞERİ(TV)	OPSİYON DEĞERİ(RK)	OPSİYON DEĞERİ (CF)
1	535.130	1.228.460	396.681	358.978
2	784.759	1.325.349	612.134	560.161
3	1.273.106	1.798.300	1.045.416	975.133
4	1.706.760	2.159.442	1.438.262	1.358.264
5	2.080.385	2.431.800	1.780.709	1.693.797
6	2.347.487	2.529.196	2.020.217	1.925.278
7	2.569.849	2.572.523	2.222.950	2.121.509
8	2.748.814	2.570.245	2.391.085	2.284.763
9	2.884.820	2.528.705	2.526.251	2.416.940
10	2.976.804	2.452.929	2.628.994	2.519.060
11	2.981.772	2.304.368	2.658.981	2.551.129
12	2.942.412	2.135.620	2.661.408	2.560.245
13	2.846.785	1.949.005	2.626.362	2.538.255
14	2.681.989	1.746.269	2.539.631	2.472.606
15	2.440.369	1.529.468	2.384.153	2.346.777

Gerçek opsiyon değerlemesinin verdiği erteleme esnekliği payı ile projenin gelecek yıllarda kârlı bir şekilde yapılıp yapılamayacağı, eğer yapılırsa hangi yılda en kârlı biçimde yapılabileceği araştırılacaktır. Trigeorgis (1993)'e göre bir projenin kârlılığı şu şekilde değerlendirilebilir:

- Genişletilmiş NBD = Geleneksel NBD + Opsiyon Primi

Çizelge 7.12: Yıllara göre Carlsson ve Fuller'den esinlenilerek elde edilen sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerlerin beklenen değerleri.

YILLAR	GNBD(RS)	GNBD(TV)	GNBD(RK)	GNBD(CF)
1	-338.782	354.548	-493.409	-538.329
2	21.485	562.075	-148.796	-201.046
3	931.919	1.457.113	705.995	636.671
4	1.703.961	2.156.644	1.436.793	1.358.940
5	2.343.694	2.695.109	2.046.596	1.962.656
6	2.656.469	2.838.179	2.335.372	2.244.793
7	2.885.971	2.888.645	2.549.587	2.454.213
8	3.036.122	2.857.552	2.693.973	2.595.826
9	3.109.436	2.753.321	2.772.287	2.673.681
10	3.106.641	2.582.766	2.786.929	2.690.681
11	2.909.837	2.232.433	2.622.606	2.532.012
12	2.649.689	1.842.897	2.412.688	2.332.864
13	2.314.204	1.416.424	2.147.321	2.085.211
14	1.889.969	954.249	1.812.019	1.776.419
15	1.369.331	458.430	1.389.749	1.389.948

Yukarıdaki tabloda 15 farklı yatırım yılı için varsayımlar dahilinde gerçek opsiyon değerlendirme yapılarak projeyi değerlendirme kriterimiz beklenen genişletilmiş net bugünkü değerler elde edilmiştir. Modellemelerden çıkan bu verilere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

- Projenin beklenen net bugünkü değeri ilk kez 4 yıl ertelendikten sonra yapılan yatırımla Carlsson ve Fuller'in beklenen değer hesabına göre pozitif sayıya çıkmaktadır. Diğer 2 beklenen değer değer hesabında ilk kez 5 yıl ertelendikten sonra pozitif sayıya çıkmaktadır. Bütün beklenen değer hesaplarında 7. yılda yapılacak yatırımla maksimum değerine ulaşmaktadır. Ancak bu durumlar çeşitli bilinmeyen durumların yarattığı belirsizlik ifadesi olan standart sapmayı içermemektedir. Belirsizlik böylece tam modellenmemiştir.

- Tarihsel volatilité hesabı ile bulunan standart sapmanın kullanıldığı modelde 1 yıl ertelendikten sonra yapılan yatırımla pozitif beklenen genişletilmiş net bugünkü değere ulaşmaktadır. Bu ana kriterimiz açısından yatırımın kârlı yapılabileceği ilk yıldır. Diğer taraftan bu modelde 7 yıl erteleme ile hem beklenen opsiyon değeri hem de beklenen genişletilmiş net bugünkü değeri maksimumuna ulaşmaktadır.
- Proje beklenen değeri üzerinden frekanslı standart sapma hesaplamalı risk seven modelde ilk kez 2 yıllık erteleme ile yapılacak yatırımla beklenen genişletilmiş net bugünkü değere ulaşmaktadır. Bu model ile 11. yılda yapılacak yatırımla kendi maksimum beklenen opsiyon değerine ulaşırken, maksimum beklenen genişletilmiş net bugünkü değeri 9. yılda yapılacak yatırımla ulaşmaktadır. Ana kriterimiz dahilinde proje bu modelleme ile 9 yıl ertelenerek gerçekleşmelidir. Ayrıca diğer değerlemeler de düşünüldüğünde, bu beklenen genişletilmiş net bugünkü değeri projenin en yüksek kârlılığını vermektedir.
- Proje beklenen değeri üzerinden frekanslı standart sapma hesaplamalı riskten kaçan modelde ilk kez 3 yıllık erteleme ile yapılacak yatırımla beklenen genişletilmiş net bugünkü değere ulaşmaktadır. Bu model ile 10. yılda yapılacak yatırımla kendi maksimum beklenen genişletilmiş net bugünkü değerine ulaşırken, beklenen opsiyon değeri 12. yılda yapılacak yatırımla maksimum değerine ulaşmaktadır. Ana kriterimiz dahilinde proje bu modelleme ile 10 yıl ertelenerek gerçekleşmelidir. Diğer taraftan 9 yıl ve 10 yıl erteleme arasında çok küçük bir fark olduğu görülmüştür. Bu nedenle piyasaya daha önce girme adına 9 yıllık erteleme de tercih edilebilir.
- Sezgisel bulanık sayının bulanık sayıya son aşamada çevrilerek Carlsson ve Fuller'in modeline uyarlanan değerlemede proje ilk kez 3 yıl erteleme ile genişletilmiş net bugünkü değere ulaşmaktadır. Bu modelde opsiyon değeri 12 yıllık erteleme ile maksimuma ulaşmaktadır. Ana kriterimiz genişletilmiş net bugünkü değeri hesabı ile 10 yıllık erteleme ile proje gerçekleşmelidir.
- Böylelikle frekans standart sapmalı modeller, sezgisel bulanık sayıların ileriki yıllarda nakit akışlarındaki belirsizliği artırması sebebiyle risk algısını artırmıştır ve görece yüksek beklenen değeri verebilmiştir. Tarihsel

volatiliteli modelde değişkenlik ise model boyunca sabit kalmıştır. Buna göre karar vericiler değerleme yaptıkları sektörün yapısına ve risk algısına göre uygun volatiliteli modeli seğmelidirler.

Diğer taraftan çalışmada sezgisel bulanık sayılarla trinomial opsiyon değerlemesi yapılmasına da karar verilmiştir. Böylelikle karar vericilere bir alternatif karar verme mekanizması daha oluşturulacak ve dahası Black & Scholes'dan türeyen modelle karşılaştırma imkanı verecektir.

Çizelge 7.13: Yıllara göre trinomial sezgisel bulanık reel opsiyon modelinden elde edilen sezgisel bulanık opsiyon değerlerinin beklenen değerleri.

YILLAR	OPSIYON DEğERİ(RS)	OPSIYON DEğERİ(TV)	OPSIYON DEğERİ(RK)	OPSIYON DEğERİ (CF)
1	597.194	1.148.035	475.845	440.028
2	843.352	1.342.953	673.208	619.623
3	1.314.061	1.809.658	1.092.521	1.020.409
4	1.720.371	2.149.415	1.461.527	1.379.750
5	2.073.075	2.407.059	1.784.790	1.695.054
6	2.331.752	2.505.316	2.015.642	1.917.432
7	2.550.594	2.552.104	2.213.547	2.107.847
8	2.729.142	2.553.313	2.379.102	2.267.642
9	2.867.365	2.513.860	2.513.155	2.397.904
10	2.964.907	2.437.845	2.616.115	2.499.413
11	2.982.266	2.284.844	2.648.396	2.532.323
12	2.968.225	2.106.080	2.656.486	2.544.682
13	2.932.481	1.903.791	2.636.363	2.532.084
14	2.928.879	1.679.477	2.589.660	2.491.040
15	3.216.698	1.434.770	2.551.319	2.432.648

Çizelge 7.14: Yıllara göre trinomial sezgisel bulanık reel opsiyon modelinden elde edilen sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerlerin beklenen değerleri.

YILLAR	GNBD(RS)	GNBD(TV)	GNBD(RK)	GNBD(CF)
1	-276.219	274.122	-414.245	-457.279
2	80.077	579.679	-87.722	-141.584
3	972.874	1.468.471	753.100	681.946
4	1.717.573	2.146.616	1.460.059	1.380.426
5	2.336.384	2.670.368	2.050.676	1.963.912
6	2.640.734	2.814.299	2.330.797	2.236.947
7	2.866.716	2.868.226	2.540.183	2.440.552
8	3.016.450	2.840.620	2.681.989	2.578.705
9	3.091.981	2.738.475	2.759.191	2.654.645
10	3.094.744	2.567.682	2.774.050	2.671.034
11	2.910.330	2.212.909	2.612.020	2.513.206
12	2.675.503	1.813.357	2.407.765	2.317.302
13	2.399.900	1.371.210	2.157.323	2.079.040
14	2.136.860	887.457	1.862.049	1.794.852
15	2.145.660	363.732	1.556.915	1.475.819

Trinomial sezgisel reel opsiyon modelinden çıkan değerler ise şu şekilde yorumlanabilir:

- Carlsson ve Fuller modeli ile trinomial model arasında değerler açısından farklar çok azdır. Değerlemelerde beklenen değer ifadeleri birbirlerine çok yakındır. Sadece volatilitenin 1'in üzerine çıktığı durumlarda (risk seven yatırımcı için olan trinomial sezgisel reel opsiyon değerlendirme modelinde 14. ve 15. yıldaki) sezgisel opsiyon değerlerinin beklenen değerleri çok yüksek çıkmıştır. Bu nedenle karar vericiler değerledikleri sektörün yapısına göre bu duruma dikkat etmelidirler.
- Risk seven yatırımcı için değerlemesine göre Carlsson ve Fuller'den esinlenen sezgisel reel opsiyon değerlendirme modelinin trinomial sezgisel reel

opsiyon değerleme modeline göre optimum yatırım yılı sadece kck bir farkla onuncu yıl olmuştur. Ancak yine piyasaya erken girme adına çok az fark olan dokuzuncu yılda yatırım tercih edilebilir. Sezgisel beklenen opsiyon değeri ise 11. yılda yapılacak yatırımla ara maksimum değerine ulaşıırken esas maksimum değerini 15. yılda yapılacak yatırımla almaktadır. Burada trinomial model için ilgi çekici nokta volatilitte değerinin 1'in üzerine çıktığı durumlarda sezgisel opsiyon değerinin beklenen değerini çok fazla artırmasıdır. Bu nedenle volatilitenin 1'in üzerine çıktığı durumlarda trinomial sezgisel reel opsiyon değerlemesine güven azalmaktadır. Karar vericiler yatırım yapılan sektöre göre değerlemenin yapısını kontrol edip, çok yüksek belirsizlik içeren durumlarda bu değerlemeyi tercih etmemelidirler.

- Tarihsel volatiliteli değerlemeye göre Carlsson ve Fuller'den esinlenen sezgisel reel opsiyon değerleme modelinin trinomial sezgisel reel opsiyon değerleme modeline göre optimum yatırım yılı için bir farkı yoktur ve 7 yıl ertelenmelidir. Ancak trinomial modelde sezgisel opsiyon değerinin beklenen değeri çok kck bir farkla 8. yılda yapılacak yatırımla maksimuma çıkmıştır.
- Riskten kaçan yatırımcı için değerlemesine göre Carlsson ve Fuller'den esinlenen sezgisel reel opsiyon değerleme modelinin trinomial sezgisel reel opsiyon değerleme modeline göre optimum yatırım yılı için ve sezgisel opsiyon değerinin beklenen değeri için bir farkı yoktur. Ana kriter dahilinde 10 yıl ertelenmelidir.
- Carlsson ve Fuller'in normal bulanık sayı hesabının trinomial reel opsiyon değerleme modeline göre optimum yatırım yılı için ve sezgisel opsiyon değerinin beklenen değeri için bir farkı yoktur. Ana kriter dahilinde 10 yıl ertelenmelidir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gelişen teknoloji, artan verimlilikler, düşen maliyetler nedeniyle dünyada pek çok ülke yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmaktadır. Dahası alternatif diğer enerji kaynaklarına göre yenilebilir enerji neredeyse sonsuz ham madde kaynağına sahiptir, sürdürülebilirdir ve ham madde konusunda ülkelerin dışa bağımlılığını azaltmaktadır. Ayrıca çevre dostu olması sebebi ile dünyanın gelecekte yaşanabilir kalmasını sağlayacak enerji kaynağıdır. Tıpkı dünyanın pek çok ülkesi gibi Türkiye’de de yenilenebilir enerji yatırımlarına ilgi artmaktadır. Devletin sağladığı pek çok teşvik, gelişen teknoloji ve düşen ilk yatırım maliyetleri ile yenilenebilir enerji yatırımları yapılabilir seviyeye gelmektedir.

Yenilenebilir enerji üretim tiplerinden fotovoltaik güneş enerjisi yatırımları ise son yıllarda yatırımcıların ilgisini çekmeye başlamıştır. Pek çok lisanssız fotovoltaik güneş enerjisi yatırımları firmalar tarafından kârlı oldukları düşünülerek hayata geçirilmiştir. Ancak diğer taraftan daha büyük tesislerin kurulmasına imkan veren lisanslı fotovoltaik güneş enerjisi yatırımları beklenen kârlılık seviyelerine ulaşmadığı için bir çok firma tarafından tercih edilmemektedir. Lisanslı tesisler için pek çok ihale yapılmış ve firmalar bu ihaleleri uygun teklifleri ile kazanmışlardır. Ancak hayata geçirilen lisanslı tesis sayısı şu an için dokuzdur. Ama önümüzdeki yıllarda bu sayı artacaktır ve fotovoltaik güneş enerjisi yatırımı kârlı bir şekilde yapılacaktır. Bu nedenle bu tip bir proje daha dinamik olan, gelecekteki belirsizlikleri içeren, karar vericiye esneklik hakkı veren değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmelidir. Bu noktada bulanık sayılarla modellenen ve gelecekteki belirsizlikleri de içeren bir reel opsiyon değerlemesi karar vericiye tam da istediği çözümü verecektir.

Finansal opsiyonlar belli bir prim karşılığında kontrata sahip olana bir dayanak varlığı belli bir vadeye kadar veya belli bir vade sonunda her hangi bir zorunluluk olmadan alma veya satma seçeneği sunmaktadır. Reel opsiyonlar ise finansal opsiyonların yapısından doğmuş gerçek yatırım projelerinin değerlemesinde kullanılan bir yöntemdir. Klasik yatırım projeleri değerlendirme yöntemlerine göre en büyük avantajı yönetsel esneklikleri ve belirsizlik faktörünü içermesidir.

Belirsizlik faktörü gelecek yıllarda piyasa koşullarında oluşacak bilinmezliğin modele aktarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca reel opsiyonlar yapısı gereği karar vericiye erteleme, vazgeçme, büyüme, kademeli yatırım vb. yönetsel esneklik seçeneklerini de sunarak belirsizlik faktörü ile dinamik bir yapı oluşturmaktadır.

Bulanık sayılar klasik sayıların 1 ve 0'a bağlı sisteminden farklı olarak durumların, tanımların, sayısal değerlerin 1 ve 0 arasındaki ara değerlerini üyelik dereceleri ile ifade etmektedir. Bu nedenle bulanık sayıların kesin verilere erişilemediği durumlarda, gelecekte durumlar ile ilgili kesin yargıya sahip olunamadığı durumlarda değerlendirme yöntemlerinde kullanılması karar vericiye yatırımın olduğu ortamın belirsizliğini daha iyi modellemesi imkanını vermektedir. Bu nedenle bulanık reel opsiyon teorisi de hem dinamik bir yatırım süreci sağlamakta hem de belirsizliği ve bilinmezliği modellemede karar vericiye yardımcı olmaktadır.

Sezgisel bulanık sayıların reel opsiyonlarda kullanılması ise karar vericinin piyasa ve yatırım sektöründeki koşullara bağlı olarak modele tereddütlerini de aktarmasını sağlar. Böylelikle yoğun bilinmezliğin olduğu ortamlarda yatırım sürecinin daha kapsamlı ve daha doğru modellenmesi sağlanacaktır. Ayrıca sezgisel bulanık sayılarla reel opsiyon değerlendirme modeli literatürde ilk kez önerileceği için klasik ve normal bulanık sayılarla oluşturulan reel opsiyon modelini karşılaştırma imkanı verecek dahası farklı volatilitelerle hesaplarıyla karar vericiye yatırım sürecinin yapısına göre yatırımı değerlendirme imkanı verecektir.

Bu çalışmada literatürde ilk kez sezgisel bulanık sayılar reel opsiyon değerlendirme modelinde kullanılmıştır. Literatüre yenilik getirmesi amaçlanan bu modelle fotovoltaik güneş enerjisi yatırım projesi değerlendirilmiş, şu an için kârlı gözükmeyen projenin gelecekte kârlı bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca farklı volatilitelerle hesaplarına göre optimum yatırım yılının farklı olabileceği de gösterilmiştir. Türkiye'de yapılacak güneş enerjisi yatırımının içerdiği yoğun belirsizlik sezgisel bulanık sayıların reel opsiyon modeli değişkenlerinde kullanılmasıyla karar vericilerin tüm tereddütlerini ve yatırım ortamı hakkındaki bilinmezlikleri içererek modellenmiştir.

Bu çalışmada yatırım sürecinde kullanılan değişkenlerin bir çoğu sezgisel bulanık sayı olarak kullanılırken bazı değişkenler ve veriler klasik sayılar olarak kullanılmıştır. Değişkenlerin belirlenmesinde çok ölçütlü karar verme süreci, sezgisel

bulanık bütünleştirmeler, bazı modeller ve geçmiş veriler kullanılmıştır. Elektrik fiyatlarının değişimi için Buckley AHP yöntemi kullanılmıştır. Yatırım maliyetlerindeki değişim, alım garantisindeki değişim, katkı payındaki değişim için sezgisel bulanık bütünleştirme işlemi kullanılmıştır. Ayrıca döviz kuru, panel verimliliği, katkı payı gibi değişkenler sezgisel bulanık sayı olarak kullanılmıştır. Böylelikle süreçte bilinmezliğin en yoğun olduğu veriler karar destek süreçleri ve sezgisel bulanık sayılar ile modele tam kapsayıcı şekilde aktarılmıştır. Diğer taraftan modelde yönetmelikte yer alan ve kesinliği bilinen vergi oranı, amortisman uygulaması, faiz oranı gibi veriler klasik sayı olarak kullanılmıştır. Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti sermaye varlıkları fiyatlama modelinden elde edilmiştir.

Çalışmada klasik yöntemlerle bugün için yatırım yapılamaz duran projenin farklı volatiliteler için farklı yıllarda optimum yatırım yılı olmak kaydıyla yapılabilir olduğu gösterilmiştir. Beklenen değer ifadesinde en olabilir değer aralığının ağırlığının daha az olduğu risk seven yatırımcı model, beklenen değer ifadesinde en olabilir değer aralığının ağırlığının daha fazla olduğu riskten kaçan yatırımcı model, değerlendirme süresince volatilitenin sabit kullanıldığı tarihsel volatiliteli model ve sezgisel bulanık değerlerin bulanık reel opsiyon değerlendirme öncesi normal bulanık sayıya çevrilerek Carlsson ve Fuller'in önerisinin uygulandığı model olarak dört farklı tipte değerlendirme yapılmıştır. Proje değerlemede ana kriterimiz genişletilmiş net bugünkü değer olmak kaydıyla en yüksek kârlılığa 9 yıllık erteleme kararı ile risk seven yatırımcı modelde ulaşılmıştır. Riskten kaçan yatırımcı ve Carlsson ve Fuller modellerinde az bir farkla 10 yıllık erteleme kararı ile maksimum kârlılık elde edilmiştir. Sabit volatilitenin kullanıldığı tarihsel volatiliteli sistemde ise diğer modellerden farklı olarak 7 yıllık erteleme ile maksimum kârlılık elde edilmiştir. Ayrıca yatırım kararı sürecinde ilk kez pozitif kârlılık tarihsel volatiliteli modelde 1 yıllık erteleme ile elde edilmiştir.

Sezgisel bulanık sayıların yine ilk kez trinomial reel opsiyon değerlemede kullanılması ile hem yatırım sürecine farklı bir bakış açısı getirilmiş hem de Black & Scholes'dan esinlenen modelle karşılaştırılma imkanı vermiştir. Tıpkı beklenildiği gibi trinomial model ile Black & Scholes'dan esinlenen model arasında farklı volatiliteli modeller arasında çok küçük farklar çıkmış ve trinomial modelin diğer modele yakınsadığı görülmüştür. Ancak volatilitelerinin 1'in üzerine çıktığı durumlarda trinomial modelin risk algısı çok artmış ve kârlılıkları çok yükseltmiştir.

Bu nedenle karar vericiler çok riskli durumlarda trinomial modelin uygulamasında çok dikkatli olmalıdır.

Gelecekte bu çalışmadan esinlenilerek elektrik fiyatları değişimi veya diğer değişkenler başka çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile modellenebilir ya da model içindeki bazı değişkenlerin elde edilmesinde farklı istatistiksel veya ekonometrik modeller ana modelin girdisi olarak kullanılabilir. Yatırım ortamına göre daha fazla değişken sezgisel bulanık sayı olarak kullanılabilir. Örneğin faiz oranı ve ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti her yıl için aynı klasik sayı olarak kullanılmıştır. Bu değişkenler farklı yıllar için farklı değer alabilecek şekilde ve sezgisel bulanık sayı şeklinde kullanılabilir. Diğer taraftan sezgisel bulanık sayılar ile reel opsiyon değerlemesi çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden birisinin girdisi olarak kullanılabilir. Ayrıca reel opsiyon değerlendirme yöntemi Zadeh'in tip-2 bulanık kümesi, Yager'in bulanık çoklu kümesi, Smarandache'nin neutrosophic kümesi, Garibaldi, Musikasuwan ve Ozen'in durağan olmayan bulanık kümesi, Torra'nın kararsız bulanık kümesi gibi teorilerle modellenebilir. Kullanılan model yine bilinmezliğin yoğun olduğu piyasalarda ve Türkiye veya dünyadaki başka bir yatırım kararı sürecinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. (2005). *T.C. Resmi Gazete*, 25819, 18 Mayıs 2005.
- 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. (2010). *T.C. Resmi Gazete*, 27809, 8 Ocak 2011.
- 333 Sıra Numaralı Vergi Usul Kanunu Genel Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair 439 Numaralı Tebliğ. (2014). *T.C. Resmi Gazete*, 29081, 7 Ağustos 2014.
- Agliardi, E., Agliardi, R. (2003). A generalization of the Geske formula for compound options, *Elsevier Mathematical Social Sciences*, 45, 75–82.
- Akkum, T. (2000). Döviz Opsiyonları ve Opsiyon Fiyatlama Modelleri, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 29, 47-74.
- Amram, M., Kulatilaka, N. (1999). *Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World*. Boston: Harvard Business School Press.
- Ansari, A. Q., Philip, J., Siddiqui, S. A., Alvi, J. A. (2010). Fuzzification of Intuitionistic Fuzzy Sets, *International Journal of Computational Cognition*, 8, 3, 90-91.
- Aranda, F., C., Arango, F., O., Lianos, A., I., C. (2016). Project Valuation of a Distribution Centre of an Auxiliary Rail Freight Terminal: Using Real Options with Fuzzy Logic and Binomial Trees, *Journal of Applied Economic Sciences*, 11, 894-904.
- Atanassov, K. T. (1983). Intuitionistic fuzzy sets, *VII ITKR's Session*, Sofia (deposed in Central Science-Technical Library of Bulgarian Academy of Science, 1697/84).
- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87–96.
- Atanassov, K. T. (1994). New operations defined over the intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, 61, 137–142.
- Atanassov, K. T. (2012). *On intuitionistic fuzzy sets theory*. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, New York.
- Atanassov, K. T., Riecan, B. (2006). On two operations over intuitionistic fuzzy sets, *Journal of Applied Mathematics, Statistics and Informatics*, 2, 145–148.

- Bachelier, L.** (1990). *Therie de la speculation*, (PhD Thesis). Ecole Normale Superieure III, Paris. (Reprinted by Editions Jacques Gabay, Paris, 1995). English translation in Cootner, P., ed., *The Random Character of Stock Market Prices*, pp. 17-78 (MIT Press, Cambridge, 1964).
- Biancardi, M., Villani, G.** (2017). A fuzzy approach for R&D compound option valuation, *Fuzzy Sets and Systems*, 310, 108-121.
- Black, F., Scholes, M.** (1973). The pricing of options and corporate liabilities, *Journal of Political Economy*, 81, 637-654.
- Borges, R. E. P., Dias, M. A. G., Doria Neto, A. D., Meier, A.** (2018). Fuzzy pay-off method for real options: The center of gravity approach with application in oilfield abandonment, *Fuzzy Sets and Systems*, 353, 111-123.
- Boyle, P.** (1977). Options: A Monte Carlo approach, *Journal of Financial Economics*, 4, 323-338.
- Boyle, P.** (1986). Option valuation using a three-jump process, *International Options Journal*, 3, 7-12.
- Boyle, P.** (1988). A lattice framework for option pricing with two state variables, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 23, 1-12.
- Brach, M. A.** (2003). *Real options in practice*. John Wiley Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Buckley, J. J.** (1985). Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 34, 187-195.
- Büyüközkan, G., Feyzioğlu, O.** (2004). A fuzzy-logic-based decision-making approach for new product development, *International Journal of Production Economics*, 90, 27-45.
- Carlsson, C., Fuller, R.** (2001). On possibilistic mean value and variance of fuzzy numbers, *Fuzzy Sets and Systems*, 122, 315-326.
- Carlsson, C., Fuller, R.** (2003). A fuzzy approach to real option valuation. *Fuzzy Sets and Systems*, 139, 297-312.
- Chance, D. M.** (2008). *Essays in derivatives: risk transfer tools and topics made easy*. John Wiley Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Chang, C. W., Wu, C. R., Lin, H. L.** (2009). Applying fuzzy hierarchy multiple attributes to construct an expert decision making process. *Expert Systems with Applications*, 36, 7363-7368.
- Chorn, L.G., Sharma, A.** (2001). Valuing Investments in Extensions to Product Lines and Services Offerings When Facing Competitive Entry, *Fifth Real Option Conference*, Los Angeles.
- Clewlow, L., Strickland, C.** (1998). *Implementing derivatives models*. John Wiley & Sons, Inc. Chichester.
- Copeland, T., Antikarov, V.** (2001). *Real options: A practitioner's guide*. New York, NY: Texere Publishing Limited.
- Cox, J. C., Ross, S. A., Rubinstein, M.** (1979). Option pricing: A simplified approach, *Journal of Financial Economics*, 7, 229-263.

- Çetinkaya, E.**, (2012). *Elektrik Piyasası ve Enerji Vadeli İşlem Sözleşmeleri*, Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası [PowerPoint Sunumu].
- Dai, H., Sun, T., Guo, W.** (2016). Brownfield Redevelopment Evaluation Based on Fuzzy Real Options, *Sustainability*, 8 (2), 170.
- Davies, M. A. P.** (1994). A Multicriteria Decision Model Application for Managing Group Decisions. *The Journal of the Operational Research Society*, 45, 47-58.
- Diamonds, P., Kloeden, P.** (1994). Metric Spaces of Fuzzy Sets Theory and Applications, *World Scientific*, Singapore.
- Dixit, A. K., Pindyck, R. S.** (1995). The option approach to capital investment. *Harvard Business Review*, 73, 105–115.
- Dubofsky, D. A.** (1992). *Options and Financial Futures: Valuation and Uses*. McGraw-Hill, New York.
- Dubois, D., Prade, H.** (1980). *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Academic Press, New York.
- Garibaldi, J. M., Musikasuwan, S., Ozen, T.** (2005). The association between non-stationary fuzzy sets and interval type-2 fuzzy sets: A case study, submitted to IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 224-229.
- Geske, R.** (1979). The valuation of compound options, *Journal of Financial Economics*, 7, 63–81.
- Göksu, A.** (2008). *Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses Ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması*, (Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Isparta.
- Grzegorzewski, P.** (2003). Intuitionistic fuzzy numbers. *In Proceedings of the 10th IFSA world congress*, Istanbul, Turkey, 35–38.
- Heng, A., Chen, Q., Tan, Y.** (2014). Fuzzy Optimization of Option Pricing Model and its Application in Land Expropriation, *Journal of Applied Mathematics*.
- Ho, S. H., Liao, S. H.** (2011). A fuzzy real option approach for investment Project valuation, *Expert Systems with Applications*, 38, 15296-15302.
- Hull, J.** (2005). *Options, Future and Other Derivatives*. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Hull, J.** (2009). *Options, Future and Other Derivatives*. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Jordan, B. D., Miller, T.W.** (2008). *Fundamentals of Investments, Valuation and Management*. McGraw-Hill, New York.
- Kim, Y., Lee, E. B.** (2018). Optimal Investment Timing with Investment Propensity Using Fuzzy Real Options Valuation, *International Journal of Fuzzy Systems*, 20 (6), 1888-1900.
- Koç, E., Şenel, M. C.** (2013). Türkiye Enerji Potansiyeli ve Yatırım-Üretim Maliyet Analizi, *Termodinamik Dergisi*, 245, 72-84.

- Kozlova, M., Collan, M., Luukka, P.** (2016). Comparison of the Datar-Mathews Method and the Fuzzy Pay-Off Method through Numerical Results, *Advances in Decision Sciences*.
- Kozlova, M., Collan, M., Luukka, P.** (2018). New investment decision-making tool that combines a fuzzy inference system with real option analysis, *Fuzzy Economic Review*, 23 (1), 63-92.
- Kumar, M.** (2014). Applying weakest t-norm based approximate intuitionistic fuzzy arithmetic operations on different types of intuitionistic fuzzy numbers to evaluate reliability of PCBA fault, *Applied Soft Computing*, 23, 387-406.
- Kumar, G., Bajaj, R. K.** (2014). Implementation of Intuitionistic Fuzzy Approach in Maximizing Net Present Value, *International Journal of Mathematical, Computational, Physical and Quantum Engineering*, 8 (7), 1050-1053.
- Lee, L. W., Chen, S. M.** (2008). Fuzzy multiple attribute group decision-making based on the extension of TOPSIS method and interval type-2 fuzzy sets, *In Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 3260-3265.
- Lee, Y. C., Lee, S. S.** (2011). The valuation of RFID investment using fuzzy real option, *Expert Systems with Applications*, 38, 12195-12201.
- Luehrman, T. A.** (1998). Investment opportunities as real options: Getting started on the numbers. *Harvard Business Review*, 51–67.
- Meixner, O.** (2010). Fuzzy AHP Group Decision Analysis and its Application for the Evaluation of Energy Sources, University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna, Austria.
- Mendel, J.M.** (2000). *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems*. Prentice Hall PTR, USA.
- Merton, R. C.** (1973). Theory of Rational Option Pricing, *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, 141-183.
- Miller, L., Park, C. S.** (2002). Decision Making Under Uncertainty: Real Options to the Rescue?, *The Engineering Economist*, 47 (2), 105-150.
- Mishra, B.** (2007). *Financial Derivatives*. Excel Books, New Delhi(India).
- Montsho, O.** (2012). *Real Options Valuation for South African Nuclear Waste Management Using a Fuzzy Mathematical Approach*, (Msc Thesis). Rhodes University Department of Mathematics, Greece.
- Mun, J.** (2002). *Real Options Analysis Course : Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions*. John Wiley & Sons, New York.
- Nagoorgani, A., Ponnalagu, K.** (2012). A New Approach on Solving Intuitionistic Fuzzy Linear Programming Problem, *Applied Mathematical Sciences*, 6(70), 3467-3474.
- Nehi, H. M., Maleki, H. R.** (2005). Intuitionistic fuzzy numbers and it's applications in fuzzy optimization problem, *In Proceedings of the 9th WSEAS international conference on systems*, Athens, Greece, 1–5.

- O'Brien, T., Shelby, M. J. P.** (1986). Option pricing theory and asset expectations: A review and discussion Tribute to James Boness, *Financial Review*, 399-418.
- Photovoltaic Power Systems Programme.** (2018). *Snapshot of Global Photovoltaic Markets (2017)*, Paris: International Energy Agency.
- Ross, T. J.** (1995). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, McGraw-Hill, Inc.
- Samuelson, P.** (1967). Rational theory of warrant pricing, *Industrial Management Review*, 6, 13.
- Shabani, A., Jamkhaneh, E., B.** (2014). A New Generalized Intuitionistic Fuzzy Number, *Journal of Fuzzy Set Valued Analysis*, 1-10.
- Shaw, A. K., Roy, T. K.** (2012). Some arithmetic operations on Triangular Intuitionistic Fuzzy Number and its application on reliability evaluation, *International Journal of Fuzzy Mathematics and Systems*, 2 (4), 363-382.
- Smarandache, F.** (1999). A unifying field in logics. neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic, American Research Press, Rehoboth.
- Sugeno, M.** (1985). An introductory survey of fuzzy control, *Information Sciences*, 36 (2), 59-83.
- Şenel, M. C.** 2012. *Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış*, (Yüksek Lisans Tezi). On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Tekbacak, S.** (2010). *Opsiyonlar ve Döviz Opsiyonlarının Merkez Bankalarında Döviz Kurlarına Müdahale Aracı Olarak Kullanımı*, (Uzmanlık Yeterlilik Tezi). Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tolga, Ç.** (2009). *Araştırma Geliştirme Projelerinin Değerlendirilmesine Bulanık Gerçek Opsiyon Yaklaşımı*, (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tong, T. W., Reuer, J.J.**, (2007). Real Options in Multinational Corporations: Organizational Challenges and Risk Implications, *Journal of International Business Studies*, 38, 215-230.
- Torra, V.** (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25 (6), 529–539.
- Trigeorgis, L.** (1993). Real options and interactions with financial flexibility. *Financial Management*, 22, 202–224.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2017). *Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü* (Rapor No: 15), Ankara: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Uçal, İ., Kahraman, C.** (2009). Fuzzy real options valuation for oil investments, *Technological and Economic Development of Economy*, 15 (4), 646-669.

- Url-1** <<http://vobarchive.borsaistanbul.com/VOBportalTUR/detailspage.aspx?tabid=483>>, erişim tarihi 02.03.2015.
- Url-2** <<http://www.borsaistanbul.com/data/kilavuzlar/VIOP-Hakkinda-SSS.pdf>>, erişim tarihi 06.03.2015.
- Url-3** <<http://www.borsaistanbul.com/urunler-ve-piyasalar/piyasalar/vadeli-islem-ve-opsiyon-piyasasi/dayanak-varliklar>>, erişim tarihi 08.03.2015.
- Url-4** <http://www.borsaistanbul.com/data/kilavuzlar/VIOP_Tanitim_Kitap_cigi_Opsiyon_Sozlesmeleri.pdf>, erişim tarihi 08.03.2015.
- Url-5** <http://www.borsaistanbul.com/data/kilavuzlar/VIOP_Tanitim_Kitap_cigi_Vadeli_Islem_Sozlesmeleri.pdf>, erişim tarihi 08.03.2015.
- Url-6** <http://www.yegm.gov.tr/genc_cocuk/Enerji_Nedir.aspx>, erişim tarihi 10.02.2017.
- Url-7** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>>, erişim tarihi 11.02.2017.
- Url-8** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol>>, erişim tarihi 11.02.2017.
- Url-9** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz>>, erişim tarihi 11.02.2017.
- Url-10** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji>>, erişim tarihi 13.02.2017.
- Url-11** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Uranyum-ve-Toryum>>, erişim tarihi 13.02.2017.
- Url-12** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle>>, erişim tarihi 17.02.2017.
- Url-13** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik>>, erişim tarihi 18.02.2017.
- Url-14** <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx>, erişim tarihi 20.03.2017.
- Url-15** <<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>>, erişim tarihi 21.03.2017.
- Url-16** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>>, erişim tarihi 22.03.2017.
- Url-17** <<http://www.akfen.com.tr/yatirimlar/akfen-holding/enerji/>>, erişim tarihi 22.03.2017.
- Url-18** <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx>, erişim tarihi 26.03.2017.
- Url-19** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>>, erişim tarihi 26.03.2017.
- Url-20** <<https://www.enerjigazetesi.ist/polattan-soma-reste-100-mwlik-kapasite-artisi/>>, erişim tarihi 28.03.2017.
- Url-21** <<http://www.londonarray.com/offshore-2/>>, erişim tarihi 29.03.2017.
- Url-22** <<http://www.eie.gov.tr/teknoloji/dalga.aspx>>, erişim tarihi 15.04.2017.

- Url-23 <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>>, erişim tarihi 17.04.2017.
- Url-24 <http://www.eie.gov.tr/teknoloji/h_enerjisi.aspx>, erişim tarihi 19.04.2017.
- Url-25 <<https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-2016-yili-istatistikleri>>, erişim tarihi 19.05.2017.
- Url-26 <<https://yearbook.enerdata.net/>>, erişim tarihi 02.10.2018.
- Url-27 <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>>, erişim tarihi 03.10.2018.
- Url-28 <<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2015/09/taxes-and-incentives-2015-web-v2.pdf>>, erişim tarihi 04.10.2018.
- Url-29 <<https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/japan/name-30660-en.php>>, erişim tarihi 05.10.2018.
- Url-30 <<https://www.pv-magazine.com/2018/07/05/tariffs-in-greeces-pv-tender-hit-e62-97-per-mwh/>>, erişim tarihi 05.10.2018.
- Url-31 <https://www.ofgem.gov.uk/system/files/docs/2018/07/fit_generation_and_export_payment_rate_table_01_july_-_31_march_2019.pdf>, erişim tarihi 17.10.2018.
- Url-32 <<https://www.windpowermonthly.com/article/1458353/german-regulator-cuts-wind-feed-in-tariff-again>>, erişim tarihi 18.10.2018.
- Url-33 <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>>, erişim tarihi 18.10.2018.
- Url-34 <<https://www.pv-magazine.com/features/archive/solar-incentives-and-fits/feed-in-tariffs-in-america/>>, erişim tarihi 18.10.2018.
- Url-35 <<http://www.gensed.org/>>, erişim tarihi 29.04.2016-20.10.2018.
- Url-36 <<https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/piyasalar/gop/ptf.xhtml>>, erişim tarihi 20.10.2018.
- Wang, J., Hwang, W. L.** (2007). A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model, *The International Journal of Management Science*, 35, 247-257.
- Yager, R. R.** (1986). On the Theory of Bags, *International Journal of General Systems*, 13 (1), 23–37.
- Yaralıoğlu, K.** (2007). Bulanık Mantık, Dokuz Eylül Üniversitesi, erişim tarihi 16.02.2016,
http://www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioğlu/dosyalar/bul_man.doc
- Ye, J.** (2011). Expected value method for intuitionistic trapezoidal fuzzy multicriteria decision-making problems, *Expert System with Applications*, 38, 11730-11734.

- Yıldırım, E.** (2007). *Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Reel Opsiyon Yönetimi ve Madencilik Sektöründe Bir Uygulama*, (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Finansman Programı, İzmir.
- 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, 47-61.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338–353.
- Zadeh, L. A.** (1975). The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-I, *Information Sciences*, 8, 199-249.
- Zmeskal, Z.** (2010). Generalized soft binomial American real option pricing model (fuzzy-stochastic approach), *European Journal of Operational Research*, 207, 1096-1103.



EKLER

EK A: Buckley AHP uzman görüşleri ve ara hesaplamaları

EK B: Bazı ara değişkenlerin hesaplanan değerleri

EK C: Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti hesaplamasında girdi olarak kullanılan değişkenlerin hesapları ve verileri

EK D: Hesaplanan genişletilmiş net bugünkü değerler, opsiyon değerleri, nakit akışları, maliyetler ve bazı ara değişkenler



EK A: Buckley AHP uzman görüşleri ve ara hesaplamaları

Buckley AHP'ye göre karar vericilerin ikili karşılaştırma matrislerinde alternatif ve kriterler için verdikleri kararlar her bir kutucuğa "1" 1. karar vericinin kararı, "2" 2. karar vericinin kararı, "3" 3. karar vericinin kararı şeklinde işaretlenmiştir.

Nihai hedef en iyi senaryoyu seçmek için;

S1. Talep(T) kriteri arz(A) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S2. Talep(T) kriteri düzenlemeler(D) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S3. Arz(A) kriteri düzenlemeler(D) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

Çizelge A.1: Ana kriterler için kullanılan anket formu.

En iyi senaryo seçimi		Ana kriterlerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S1	T			2, 3	1				A
S2	T						1, 2	3	D
S3	A						1, 2	3	D

Talep kriterine göre;

S4. Büyüme Oranı(BO) kriteri nüfus(N) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S5. Büyüme Oranı(BO) kriteri kentselleşme(K) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S6. Büyüme Oranı(BO) kriteri iklim(İ) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S7. Büyüme Oranı(BO) kriteri enerji verimliliği(EV) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S8. Nüfus(N) kriteri kentselleşme(K) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S9. Nüfus(N) kriteri iklim(İ) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S10. Nüfus(N) kriteri enerji verimliliği(EV) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S11. Kentselleşme(K) kriteri iklim(İ) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S12. Kentselleşme(K) kriteri enerji verimliliği(EV) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S13. İklim(İ) kriteri enerji verimliliği(EV) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

Çizelge A.2: Talep kriteri için kullanılan anket formu.

Sorularda	Talep kriterine göre	Alt kriterlerin diğerine tercih ifadesi							Ölçütler
		Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	
S4	BO				2, 3	1			N
S5	BO				2	1, 3			K
S6	BO				2	1, 3			İ
S7	BO					1, 3	2		EV
S8	N			1, 3	2				K
S9	N			1	2, 3				İ
S10	N				1, 3	2			EV
S11	K				1, 2, 3				İ
S12	K					1, 2, 3			EV
S13	İ				3	1, 2			EV

Arz kriterine göre;

S14. Kömür fiyatları(KF) doğal gaz fiyatları(DF) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S15. Kömür fiyatları(KF) kriteri döviz kuru(DK) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S16. Kömür fiyatları(KF) kriteri hidroloji(H) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S17. Kömür fiyatları(KF) kriteri rüzgar, güneş ve diğ.(RGD) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S18. Doğal gaz fiyatları(DF) kriteri döviz kuru(DK) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S19. Doğal gaz fiyatları(DF) kriteri hidroloji(H) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S20. Doğal gaz fiyatları(DF) kriteri rüzgar, güneş ve diğ.(RGD) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S21. Döviz kuru(DK) kriteri hidroloji(H) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S22. Döviz kuru(DK) kriteri rüzgar, güneş ve diğ.(RGD) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S23. Hidroloji(H) kriteri rüzgar, güneş ve diğ.(RGD) kriteri ile ikili karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

Çizelge A.3: Arz kriteri için kullanılan anket formu.

Arz kriterine göre	Alt kriterlerin diğerine tercih ifadesi									
	Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S14	KF				1, 3	2				DF
S15	KF		3		1, 2					DK
S16	KF				3	1	2			H
S17	KF						1, 3	2		RGD
S18	DF				1, 2, 3					DK
S19	DF					3	1, 2			H
S20	DF						1	2, 3		RGD
S21	DK						1	2, 3		H
S22	DK							1, 2, 3		RGD
S23	H					1	2	3		RGD

Kriterlere göre senaryo tercihleri;

S24. Senaryo 1(SE1) alternatifi senaryo 2(SE2) alternatifine göre ikili karşılaştırmada ne kadar önemlidir?

S25. Senaryo 1(SE1) alternatifi senaryo 3(SE3) alternatifine göre ikili karşılaştırmada ne kadar önemlidir?

S26. Senaryo 1(SE1) alternatifi senaryo 4(SE4) alternatifine göre ikili karşılaştırmada ne kadar önemlidir?

S27. Senaryo 2(SE2) alternatifi senaryo 3(SE3) alternatifine göre ikili karşılaştırmada ne kadar önemlidir?

S28. Senaryo 2(SE2) alternatifi senaryo 4(SE4) alternatifine göre ikili karşılaştırmada ne kadar önemlidir?

S29. Senaryo 3(SE3) alternatifi senaryo 4(SE4) alternatifine göre ikili karşılaştırmada ne kadar önemlidir?

Çizelge A.4: Büyüme oranı kriterine göre alternatiflerin 1-7 yıllık dönem için karşılaştırması.

Büyüme oranı kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		1, 3	2					SE3
S26	SE1			1, 2, 3					SE4
S27	SE2				1, 2, 3				SE3
S28	SE2				1, 3	2			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.5: Büyüme oranı kriterine göre alternatiflerin 8-14 yıllık dönem için karşılaştırması.

Büyüme oranı kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			2, 3	1				SE3
S26	SE1				1, 3	2			SE4
S27	SE2			2, 3	1				SE3
S28	SE2			1		2, 3			SE4
S29	SE3				2	1, 3			SE4

Çizelge A.6: Büyüme oranı kriterine göre alternatiflerin 15-21 yıllık dönem için karşılaştırması.

Büyüme oranı kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1				1, 2, 3				SE2
S25	SE1					1, 2, 3			SE3
S26	SE1					1, 3	2		SE4
S27	SE2				3	1, 2			SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.7: Büyüme oranı kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Büyüme oranı kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1				1, 2, 3				SE2
S25	SE1					1, 2, 3			SE3
S26	SE1					2, 3	1		SE4
S27	SE2					1, 2, 3			SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.8: Nüfus kriterine göre alternatiflerin 1-7 yıllık dönem için karşılaştırması.

Nüfus kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			2, 3	1				SE2
S25	SE1		2, 3	1					SE3
S26	SE1		2	1, 3					SE4
S27	SE2		2	1, 3					SE3
S28	SE2		2	1	3				SE4
S29	SE3				1	2, 3			SE4

Çizelge A.9: Nüfus kriterine göre alternatiflerin 8-14 yıllık dönem için karşılaştırması.

Nüfus kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1			1, 2	3				SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2			1, 2, 3					SE4
S29	SE3				1, 2	3			SE4

Çizelge A.10: Nüfus kriterine göre alternatiflerin 15-21 yıllık dönem için karşılaştırması.

Nüfus kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			3	1, 2				SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1		1, 2, 3						SE4
S27	SE2				1, 2, 3				SE3
S28	SE2			1, 2, 3					SE4
S29	SE3				1, 2, 3				SE4

Çizelge A.11: Nüfus kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Nüfus kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1		1, 2	3					SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2			1, 2, 3					SE4
S29	SE3			1, 2, 3					SE4

Çizelge A.12: Kentselleşme kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.

Kentselleşme kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1		2	1, 3					SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2		2	3	1				SE4
S29	SE3				1, 2, 3				SE4

Çizelge A.13: Kentselleşme kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.

Kentselleşme kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1				1, 2, 3				SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1			1, 2, 3					SE4
S27	SE2			1, 3	2				SE3
S28	SE2			1, 2, 3					SE4
S29	SE3			2, 3	1				SE4

Çizelge A.14: Kentselleşme kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.

Kentselleşme kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1		1, 2, 3						SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2		3	1, 2					SE4
S29	SE3			2, 3	1				SE4

Çizelge A.15: Kentselleşme kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Kentselleşme kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			2	1, 3				SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1		3	1, 2					SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2			1, 2, 3					SE4
S29	SE3			1, 2, 3					SE4

Çizelge A.16: İklim kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.

İklim kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 3	2				SE2
S25	SE1			1, 3		2			SE3
S26	SE1			3	1	2			SE4
S27	SE2				1, 2, 3				SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3				3	1, 2			SE4

Çizelge A.17: İklim kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.

İklim kriterine göre	Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi									
	Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
	S24	SE1			1, 3		2			SE2
	S25	SE1			1, 3		2			SE3
	S26	SE1			1, 3			2		SE4
	S27	SE2			1, 3		2			SE3
	S28	SE2			1	3	2			SE4
	S29	SE3				1, 3	2			SE4

Çizelge A.18: İklim kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.

İklim kriterine göre	Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi									
	Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
	S24	SE1			1, 3		2			SE2
	S25	SE1			1, 3		2			SE3
	S26	SE1		1, 3				2		SE4
	S27	SE2			1, 3		2			SE3
	S28	SE2			1, 3		2			SE4
	S29	SE3				1, 3	2			SE4

Çizelge A.19: İklim kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

İklim kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 3		2			SE2
S25	SE1			1, 3			2		SE3
S26	SE1		1, 3				2		SE4
S27	SE2			1, 3		2			SE3
S28	SE2		1	3			2		SE4
S29	SE3			1, 3		2			SE4

Çizelge A.20: Enerji verimliliği kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.

Enerji verimliliği kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		1	2, 3					SE3
S26	SE1		1, 3	2					SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2			2, 3	1				SE4
S29	SE3				1, 2, 3				SE4

Çizelge A.21: Enerji verimliliği kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.

Enerji verimliliği kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1		2, 3	1					SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2			1, 2, 3					SE4
S29	SE3				1, 2, 3				SE4

Çizelge A.22: Enerji verimliliği kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.

Enerji verimliliği kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		3	1, 2					SE3
S26	SE1		1, 2, 3						SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2			1, 2, 3					SE4
S29	SE3			2	1, 3				SE4

Çizelge A.23: Enerji verimliliği kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Enerji verimliliği kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		1, 3	2					SE3
S26	SE1	3	1, 2						SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2		2	1, 3					SE4
S29	SE3			1, 2, 3					SE4

Çizelge A.24: Kömür fiyatları kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.

Kömür fiyatları kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1				1, 2, 3				SE2
S25	SE1					1, 2, 3			SE3
S26	SE1					3	1, 2		SE4
S27	SE2				3	1, 2			SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.25: Kömür fiyatları kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.

Kömür fiyatları kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1	2, 3				SE2
S25	SE1			1		2, 3			SE3
S26	SE1				1	2, 3			SE4
S27	SE2				1	2, 3			SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.26: Kömür fiyatları kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.

Kömür fiyatları kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			1	2, 3				SE3
S26	SE1				1	2, 3			SE4
S27	SE2			1		2, 3			SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.27: Kömür fiyatları kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Kömür fiyatları kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		1	2, 3					SE3
S26	SE1			1, 3	2				SE4
S27	SE2			1,2	3				SE3
S28	SE2			1	3	2			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.28: Doğal gaz fiyatları kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.

Doğal gaz fiyatları kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			2, 3		1			SE2
S25	SE1			2, 3		1			SE3
S26	SE1			2	3		1		SE4
S27	SE2				2, 3	1			SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.29: Doğal gaz fiyatları kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.

Doğal gaz fiyatları kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1			2, 3	1				SE4
S27	SE2			2, 3	1				SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.30: Doğal gaz fiyatları kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.

Doğal gaz fiyatları kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		3	1, 2					SE3
S26	SE1			2, 3	1				SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2			2, 3		1			SE4
S29	SE3				3	1, 2			SE4

Çizelge A.31: Doğal gaz fiyatları kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Doğal gaz fiyatları kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		1, 3	2					SE3
S26	SE1		2, 3	1					SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2			1, 2, 3					SE4
S29	SE3				1, 2, 3				SE4

Çizelge A.32: Döviz kuru kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.

Döviz kuru kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1				2	1, 3			SE2
S25	SE1					2	1, 3		SE3
S26	SE1						2	1, 3	SE4
S27	SE2					2, 3	1		SE3
S28	SE2					2	1, 3		SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.33: Döviz kuru kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.

Döviz kuru kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1					1, 2, 3			SE2
S25	SE1						1, 2, 3		SE3
S26	SE1						1, 2	3	SE4
S27	SE2					1, 2, 3			SE3
S28	SE2					1, 2	3		SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.34: Döviz kuru kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.

Döviz kuru kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1					1, 2, 3			SE2
S25	SE1					2	1, 3		SE3
S26	SE1						2	1, 3	SE4
S27	SE2					1, 2, 3			SE3
S28	SE2					2	1, 3		SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.35: Döviz kuru kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Döviz kuru kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1					1, 2, 3			SE2
S25	SE1						1, 2, 3		SE3
S26	SE1						1, 2	3	SE4
S27	SE2					1, 2, 3			SE3
S28	SE2					1, 2	3		SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.36: Hidroloji kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.

Hidroloji kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1	2	3			SE2
S25	SE1			1		2, 3			SE3
S26	SE1				1	2	3		SE4
S27	SE2				1, 3	2			SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.37: Hidroloji kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.

Hidroloji kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1				1, 2, 3				SE4
S27	SE2			1	2, 3				SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.38: Hidroloji kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.

Hidroloji kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		1, 2	3					SE3
S26	SE1			1	2, 3				SE4
S27	SE2			1, 3	2				SE3
S28	SE2			1	3	2			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.39: Hidroloji kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Hidroloji kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		1, 2, 3						SE3
S26	SE1		1	2, 3					SE4
S27	SE2			1, 2, 3					SE3
S28	SE2			1, 3	2				SE4
S29	SE3				3	1, 2			SE4

Çizelge A.40: Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.

Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		2	1, 3					SE3
S26	SE1		2		1, 3				SE4
S27	SE2			2	1, 3				SE3
S28	SE2				1, 2	3			SE4
S29	SE3				1, 2	3			SE4

Çizelge A.41: Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.

Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			2	1, 3				SE2
S25	SE1			2		1, 3			SE3
S26	SE1			2		1, 3			SE4
S27	SE2			2		1, 3			SE3
S28	SE2				2	1, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.42: Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.

Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			2	1	3			SE2
S25	SE1			2		1, 3			SE3
S26	SE1				2	1	3		SE4
S27	SE2				2	1, 3			SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.43: Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Rüzgar, güneş ve diğ. kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1				1, 2	3			SE2
S25	SE1					1, 2	3		SE3
S26	SE1					2	1, 3		SE4
S27	SE2					1, 2, 3			SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.44: Düzenlemeler kriterine göre alternatiflerin 1-7 yılları için karşılaştırması.

Düzenlemeler. kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			2, 3	1				SE3
S26	SE1				1, 2, 3				SE4
S27	SE2				2, 3	1			SE3
S28	SE2					1, 3	2		SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.45: Düzenlemeler kriterine göre alternatiflerin 8-14 yılları için karşılaştırması.

Düzenlemeler. kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1		2	1, 3					SE3
S26	SE1			1, 2, 3					SE4
S27	SE2				1, 2, 3				SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.46: Düzenlemeler kriterine göre alternatiflerin 15-21 yılları için karşılaştırması.

Düzenlemeler. kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1			1, 2, 3					SE2
S25	SE1			1, 2, 3					SE3
S26	SE1				1, 2, 3				SE4
S27	SE2			1, 3	2				SE3
S28	SE2				1, 2, 3				SE4
S29	SE3				1, 2, 3				SE4

Çizelge A.47: Düzenlemeler kriterine göre alternatiflerin 22. yıl ve sonrası için karşılaştırması.

Düzenlemeler. kriterine göre		Alternatiflerin diğerine tercih ifadesi							
Sorular	Ölçütler	Önemi en az (1/6, 1/5, 1/4, 1/3)	Önemi daha az (1/4, 1/3, 1/2, 1)	Eşitliği daha az (1/2, 2/3, 2/3, 1)	Eşitliği tam (1, 1, 1, 1)	Eşitliği daha fazla (1, 3/2, 3/2, 2)	Önemi daha fazla (1, 2, 3, 4)	Önemi en çok (3, 4, 5, 6)	Ölçütler
S24	SE1		1, 2, 3						SE2
S25	SE1		1, 2, 3						SE3
S26	SE1				1, 2, 3				SE4
S27	SE2				1, 2, 3				SE3
S28	SE2					1, 2, 3			SE4
S29	SE3					1, 2, 3			SE4

Çizelge A.48: Buckley AHP ile hesaplanan bulanık ağırlık değerleri.

Ana kriterler	Ana kriter ağırlıkları	Alt kriterler	Kendi ana kriterindeki alt kriter ağırlıkları	Genel alt kriter ağırlıkları
		\tilde{W}_{BO}	(0,17:0,246:0,258:0,35)	(0,038:0,085:0,114:0,236)
		\tilde{W}_N	(0,145:0,179:0,186:0,231)	(0,032:0,062:0,082:0,156)
\tilde{W}_T	(0,221: 0,345: 0,441: 0,675)	\tilde{W}_K	(0,155:0,211:0,215:0,291)	(0,034:0,073:0,095:0,196)
		\tilde{W}_I	(0,16:0,2:0,207:0,253)	(0,035:0,069:0,092:0,171)
		\tilde{W}_{EV}	(0,107:0,146:0,152:0,231)	(0,024:0,05:0,067:0,156)
		\tilde{W}_T	(0,099:0,165:0,194:0,339)	(0,026:0,068:0,102:0,267)
		\tilde{W}_T	(0,12:0,207:0,243:0,407)	(0,031:0,085:0,129:0,321)
\tilde{W}_A	(0,258: 0,413: 0,529: 0,787)	\tilde{W}_T	(0,137:0,277:0,363:0,618)	(0,035:0,114:0,192:0,486)
		\tilde{W}_T	(0,095:0,153:0,185:0,323)	(0,024:0,063:0,098:0,254)
		\tilde{W}_T	(0,06:0,096:0,129:0,269)	(0,015:0,04:0,068:0,212)
\tilde{W}_D	(0,083: 0,119: 0,171: 0,318)			

Çizelge A.49: Buckley AHP ile hesaplanan senaryoların final bulanık sayı değerleri.

Yıllar	Senaryolar	Bulanık final değerleri	Beklenen değerleri
1-7 yılları için	\tilde{F}_{SE1}	(0,054:0,187:0,314:1,161)	0,370
	\tilde{F}_{SE2}	(0,068:0,223:0,348:1,185)	0,399
	\tilde{F}_{SE3}	(0,068:0,218:0,336:1,148)	0,387
	\tilde{F}_{SE4}	(0,054:0,169:0,262:0,928)	0,307
8-14 yılları için	\tilde{F}_{SE1}	(0,052:0,185:0,303:1,152)	0,364
	\tilde{F}_{SE2}	(0,065:0,218:0,329:1,169)	0,388
	\tilde{F}_{SE3}	(0,068:0,227:0,339:1,187)	0,398
	\tilde{F}_{SE4}	(0,056:0,181:0,269:0,968)	0,320
15-21 yılları için	\tilde{F}_{SE1}	(0,054:0,185:0,31:1,168)	0,369
	\tilde{F}_{SE2}	(0,062:0,205:0,318:1,153)	0,377
	\tilde{F}_{SE3}	(0,067:0,218:0,336:1,186)	0,394
	\tilde{F}_{SE4}	(0,061:0,188:0,296:1,027)	0,343
22. yıl ve sonrası için	\tilde{F}_{SE1}	(0,045:0,17:0,307:1,233)	0,372
	\tilde{F}_{SE2}	(0,058:0,199:0,323:1,197)	0,383
	\tilde{F}_{SE3}	(0,06:0,213:0,35:1,301)	0,414
	\tilde{F}_{SE4}	(0,054:0,194:0,315:1,181)	0,376

EK B: Bazı ara değişkenlerin hesaplanan değerleri

Bu ekte modelde bazı ara değişkenlerin hesaplanan değerleri verilmiştir.

Elektrik fiyatlarının 0,038 Avro/kWsa olan piyasa fiyatının yıllar içerisindeki değişiminden elde edilen fiyatlar:

Çizelge B.1: Elektrik fiyatlarının her bir yıl için piyasa değeri (Avro/kWsa).

Yıl	Elektrik fiyatları	Yıl	Elektrik fiyatları
1	(0,036:0,0361:0,0362:0,0363;0,0359:0,0361:0,0362:0,0365)	19	(0,0204:0,0218:0,0231:0,0245;0,0192:0,0218:0,0231:0,026)
2	(0,0341:0,0343:0,0345:0,0348;0,0338:0,0343:0,0345:0,035)	20	(0,02:0,0214:0,0228:0,0243;0,0187:0,0214:0,0228:0,0258)
3	(0,0323:0,0326:0,0329:0,0333;0,0319:0,0326:0,0329:0,0336)	21	(0,0196:0,021:0,0225:0,024;0,0183:0,021:0,0225:0,0256)
4	(0,0306:0,031:0,0314:0,0318;0,0301:0,031:0,0314:0,0322)	22	(0,0193:0,0207:0,0222:0,0238;0,0179:0,0207:0,0222:0,0254)
5	(0,0289:0,0294:0,0299:0,0304;0,0284:0,0294:0,0299:0,0309)	23	(0,0189:0,0204:0,0219:0,0235;0,0175:0,0204:0,0219:0,0253)
6	(0,0274:0,028:0,0285:0,0291;0,0268:0,028:0,0285:0,0297)	24	(0,0185:0,02:0,0216:0,0233;0,0171:0,02:0,0216:0,0251)
7	(0,0259:0,0266:0,0272:0,0278;0,0253:0,0266:0,0272:0,0285)	25	(0,0181:0,0197:0,0213:0,0231;0,0167:0,0197:0,0213:0,0249)
8	(0,0254:0,0261:0,0268:0,0275;0,0247:0,0261:0,0268:0,0282)	26	(0,0178:0,0194:0,021:0,0228;0,0163:0,0194:0,021:0,0247)
9	(0,0249:0,0257:0,0265:0,0273;0,0242:0,0257:0,0265:0,028)	27	(0,0174:0,019:0,0208:0,0226;0,0159:0,019:0,0208:0,0245)
10	(0,0244:0,0253:0,0261:0,027;0,0236:0,0253:0,0261:0,0278)	28	(0,0171:0,0187:0,0205:0,0223;0,0155:0,0187:0,0205:0,0243)
11	(0,024:0,0249:0,0258:0,0267;0,0231:0,0249:0,0258:0,0276)	29	(0,0167:0,0184:0,0202:0,0221;0,0152:0,0184:0,0202:0,0242)
12	(0,0235:0,0245:0,0254:0,0264;0,0225:0,0245:0,0254:0,0274)	30	(0,0164:0,0181:0,0199:0,0219;0,0148:0,0181:0,0199:0,024)
13	(0,023:0,024:0,0251:0,0261;0,022:0,024:0,0251:0,0272)	31	(0,0161:0,0178:0,0197:0,0217;0,0145:0,0178:0,0197:0,0238)
14	(0,0226:0,0236:0,0247:0,0259;0,0215:0,0236:0,0247:0,027)	32	(0,0158:0,0175:0,0194:0,0214;0,0142:0,0175:0,0194:0,0236)
15	(0,0221:0,0233:0,0244:0,0256;0,021:0,0233:0,0244:0,0268)	33	(0,0155:0,0172:0,0191:0,0212;0,0138:0,0172:0,0191:0,0234)
16	(0,0217:0,0229:0,0241:0,0253;0,0205:0,0229:0,0241:0,0266)	34	(0,0152:0,0169:0,0189:0,021;0,0135:0,0169:0,0189:0,0233)
17	(0,0213:0,0225:0,0238:0,0251;0,0201:0,0225:0,0238:0,0264)	35	(0,0149:0,0167:0,0186:0,0208;0,0132:0,0167:0,0186:0,0231)
18	(0,0208:0,0221:0,0234:0,0248;0,0196:0,0221:0,0234:0,0262)	36	(0,0146:0,0164:0,0184:0,0206;0,0129:0,0164:0,0184:0,0229)

Senelere göre tesis kurulum ve malzemeyi içeren yatırım maliyeti, devlet katkı payı, yatırım yapılamayan ilk yılki kredi ödemesi, ön lisans, lisans ve izinler dahil olmak üzere toplam yatırım maliyeti ve devlet katkı payı tablosu:

Çizelge B.2: Toplam yatırım maliyeti ve devlet katkı payı (Avro).

Yıl	Toplam yatırım maliyeti	Devlet katkı payı
0	(29.870.915: 30.422.344: 30.973.772: 31.525.201; 29.319.486: 30.422.344: 30.973.772: 32.076.630)	(6.500.000: 7.000.000: 7.500.000: 8.000.000: 6.000.000: 7.000.000: 7.500.000: 8.500.000)
1	(29.098.724:29.760.440:30.422.155:31.083.871; 28.437.008:29.760.440:30.422.155:31.745.586)	(6.500.000: 7.000.000: 7.500.000: 8.000.000: 6.000.000: 7.000.000: 7.500.000: 8.500.000)
2	(23.025.556: 23.458.691: 23.904.018: 24.361.530; 22.604.620: 23.458.691: 23.904.018: 24.831.223)	(1.668.904: 1.868.143: 2.077.437: 2.296.780: 1.479.727: 1.868.143: 2.077.437: 2.526.167)
3	(22.483.822:23.061.738:23.661.100:24.282.348; 21.926.915:23.061.738:23.661.100:24.925.922)	(1.829.702: 2.072.903: 2.332.641: 2.609.299; 1.602.654: 2.072.903: 2.332.641: 2.903.260)
4	(21.984.349: 22.708.224: 23.465.870: 24.258.544; 21.293.010: 22.708.224: 23.465.870: 25.087.521)	(2.005.993: 2.300.107: 2.619.196: 2.964.342; 1.735.794: 2.300.107: 2.619.196: 3.336.644)
5	(21.527.900: 22.400.303: 23.322.250: 24.296.329; 20.702.539: 22.400.303: 23.322.250: 25.325.217)	(2.199.269: 2.552.213: 2.940.953: 3.367.695; 1.879.993: 2.552.213: 2.940.953: 3.834.721)
6	(21.269.191: 22.298.225: 23.396.581: 24.568.877; 20.305.084: 22.298.225: 23.396.581: 25.819.955)	(2.411.167: 2.831.951: 3.302.236: 3.825.931; 2.036.172: 2.831.951: 3.302.236: 4.407.149)
7	(21.046.134: 22.238.862: 23.525.266: 24.912.907; 19.939.984: 22.238.862: 23.525.266: 26.409.844)	(2.643.481: 3.142.350: 3.707.901: 4.346.520; 2.205.326: 3.142.350: 3.707.901: 5.065.026)
8	(20.860.548: 22.225.729: 23.714.225: 25.337.747; 19.607.858: 22.225.729: 23.714.225: 27.108.945)	(2.898.179: 3.486.771: 4.163.401: 4.937.943; 2.388.532: 3.486.771: 4.163.401: 5.821.107)
9	(20.714.471: 22.262.748: 23.970.123: 25.853.993; 19.309.438: 22.262.748: 23.970.123: 27.933.418)	(3.177.417: 3.868.943: 4.674.857: 5.609.841; 2.586.957: 3.868.943: 4.674.857: 6.690.052)
10	(20.610.179: 22.354.298: 24.300.453: 26.473.692; 19.045.583: 22.354.298: 24.300.453: 28.901.838)	(3.483.559: 4.293.004: 5.249.143: 6.373.162; 2.801.867: 4.293.004: 5.249.143: 7.688.709)
11	(20.764.643: 22.703.064: 24.892.306: 27.367.356; 19.046.040: 22.703.064: 24.892.306: 30.167.623)	(3.819.197: 4.763.544: 5.893.977: 7.240.348; 3.034.630: 4.763.544: 5.893.977: 8.836.440)
12	(20.957.657: 23.110.415: 25.572.319: 28.391.363; 19.072.111: 23.110.415: 25.572.319: 31.622.357)	(4.187.174: 5.285.658: 6.618.026: 8.225.530; 3.286.729: 5.285.658: 6.618.026: 10.155.499)
13	(21.192.619: 23.582.568: 26.351.218: 29.563.418; 19.125.497: 23.582.568: 26.351.218: 33.294.246)	(4.590.606: 5.864.998: 7.431.022: 9.344.764; 3.559.772: 5.864.998: 7.431.022: 11.671.460)
14	(21.473.258: 24.126.424: 27.241.049: 30.903.638; 19.208.044: 24.126.424: 27.241.049: 35.215.706)	(5.032.907: 6.507.839: 8.343.891: 10.616.291; 3.855.497: 6.507.839: 8.343.891: 13.413.716)
15	(21.803.668: 24.749.641: 28.255.338: 32.434.875; 19.321.763: 24.749.641: 28.255.338: 37.423.993)	(5.517.825: 7.221.138: 9.368.902: 12.060.832; 4.175.789: 7.221.138: 9.368.902: 15.416.047)

15 yıllık değerleme periyodu için ilk yılki üretim miktarları (kWsa):

Çizelge B.3: İlk yılki elektrik üretim miktarları (kWsa).

Yıl	İlk yılki elektrik üretim miktarı
0	(35.390.400:35.740.800:36.091.200:36.441.600;35.040.000 :35.740.800:36.091.200:36.792.000)
1	(35.916.000:36.266.400:36.616.800:36.967.200;35.565.600:36.266.400:36.616.800:37.317.600)
2	(36.441.600:36.792.000:37.142.400:37.492.800;36.091.200:36.792.000:37.142.400:37.843.200)
3	(36.967.200:37.317.600:37.668.000:38.018.400;36.616.800:37.317.600:37.668.000:38.368.800)
4	(36.597.528:36.944.424:37.291.320:37.638.216;36.250.632:36.944.424:37.291.320:37.985.112)
5	(38.018.400:38.368.800:38.719.200:39.069.600;37.668.000:38.368.800:38.719.200:39.420.000)
6	(38.368.800:38.719.200:39.069.600:39.420.000;38.018.400:38.719.200:39.069.600:39.770.400)
7	(38.719.200:39.069.600:39.420.000:39.770.400;38.368.800:39.069.600:39.420.000:40.120.800)
8	(39.069.600:39.420.000:39.770.400:40.120.800;38.719.200:39.420.000:39.770.400:40.471.200)
9	(39.420.000:39.770.400:40.120.800:40.471.200;39.069.600:39.770.400:40.120.800:40.821.600)
10	(39.770.400:40.120.800:40.471.200:40.821.600;39.420.000:40.120.800:40.471.200:41.172.000)
11	(40.120.800:40.471.200:40.821.600:41.172.000;39.770.400:40.471.200:40.821.600:41.522.400)
12	(40.471.200:40.821.600:41.172.000:41.522.400;40.120.800:40.821.600:41.172.000:41.872.800)
13	(40.821.600:41.172.000:41.522.400:41.872.800;40.471.200:41.172.000:41.522.400:42.223.200)
14	(41.172.000:41.522.400:41.872.800:42.223.200;40.821.600:41.522.400:41.872.800:42.573.600)
15	(41.522.400:41.872.800:42.223.200:42.573.600;41.172.000:41.872.800:42.223.200:42.924.000)

15 tane yatırım yılı seçeneğinin her biri için ödenen toplam 20 senelik faiz miktarları:

Çizelge B.4: Yatırım yıllarına göre ödenen toplam faiz miktarları (Avro).

Yıl	Ödenen toplam faizler
0	(9.205.949: 9.375.894: 9.545.840: 9.715.785; 9.036.003: 9.375.894: 9.545.840: 9.885730)
1	(8.967.966: 9.171.901: 9.375.836: 9.579.771; 8.764.032: 9.171.901: 9.375.836: 9.783706)
2	(7.096.270: 7.229.759: 7.367.004: 7.508.006; 6.966.542: 7.229.759: 7.367.004: 7.652761)
3	(6.929.313: 7.107.421: 7.292.139: 7.483.602; 6.757.679: 7.107.421: 7.292.139: 7.681946)
4	(6.775.380: 6.998.472: 7.231.971: 7.476.266; 6.562.315: 6.998.472: 7.231.971: 7.731750)
5	(6.634.706: 6.903.573: 7.187.709: 7.487.911; 6.380.337: 6.903.573: 7.187.709: 7.805005)
6	(6.554.974: 6.872.113: 7.210.617: 7.571.908; 6.257.845: 6.872.113: 7.210.617: 7.957479)
7	(6.486.230: 6.853.818: 7.250.276: 7.677.935; 6.145.325: 6.853.818: 7.250.276: 8.139278)
8	(6.429.034: 6.849.771: 7.308.512: 7.808.867; 6.042.966: 6.849.771: 7.308.512: 8.354734)
9	(6.384.015: 6.861.180: 7.387.377: 7.967.969; 5.950.996: 6.861.180: 7.387.377: 8.608829)
10	(6.351.873: 6.889.395: 7.489.182: 8.158.955; 5.869.678: 6.889.395: 7.489.182: 8.907288)
11	(6.399.477: 6.996.881: 7.671.586: 8.434.374; 5.869.819: 6.996.881: 7.671.586: 9.297391)
12	(6.458.962: 7.122.423: 7.881.160: 8.749.964; 5.877.854: 7.122.423: 7.881.160: 9.745727)
13	(6.531.375: 7.267.936: 8.121.210: 9.111.181; 5.894.307: 7.267.936: 8.121.210: 10.260989)
14	(6.617.866: 7.435.548: 8.395.448: 9.524.225; 5.919.747: 7.435.548: 8.395.448: 10.853166)
15	(6.719.695: 7.627.618: 8.708.042: 9.996.138; 5.954.794: 7.627.618: 8.708.042: 11.533740)

Çizelge B.5: Aylık ortalama elektrik fiyat verisi, Avro/TL kuru ve tarihsel volatilité hesabı.

Tarih	Ort. (TL/Mwsa)	Avro/TL	Ort. (Avro/Mwsa)	$\ln(i/i-1)$	s_i	Tarih	Ort. (TL/Mwsa)	Avro/TL	Ort. (Avro/Mwsa)	$\ln(i/i-1)$	s_i
Tem.09	161,5	2,14	75,54			Ara.11	149,8	2,46	60,79	-0,009	0,000
Ağu.09	153,7	2,12	72,50	-0,041	0,001	Oca.12	148,2	2,38	62,30	0,024	0,001
Eyl.09	124,2	2,17	57,25	-0,236	0,053	şub.12	195,8	2,33	84,17	0,301	0,094
Eki.09	155,6	2,18	71,42	0,221	0,052	Mar.12	121,9	2,36	51,56	-0,490	0,234
Kas.09	140,0	2,22	63,13	-0,123	0,014	Nis.12	112,6	2,35	47,85	-0,075	0,005
Ara.09	124,4	2,20	56,52	-0,111	0,011	May.12	141,1	2,32	60,96	0,242	0,062
Oca.10	119,8	2,10	56,96	0,008	0,000	Haz.12	144,2	2,29	63,09	0,034	0,002
şub.10	109,4	2,07	52,75	-0,077	0,005	Tem.12	168,4	2,23	75,55	0,180	0,035
Mar.10	96,8	2,09	46,33	-0,130	0,015	Ağu.12	160,6	2,23	72,13	-0,046	0,002
Nis.10	109,3	2,01	54,49	0,162	0,028	Eyl.12	153,9	2,32	66,41	-0,083	0,006
May.10	114,1	1,95	58,61	0,073	0,006	Eki.12	151,8	2,34	64,86	-0,024	0,000
Haz.10	108,1	1,93	56,06	-0,044	0,001	Kas.12	145,2	2,30	63,07	-0,028	0,000
Tem.10	147,7	1,97	75,09	0,292	0,089	Ara.12	152,7	2,35	65,09	0,032	0,001
Ağu.10	169,6	1,95	86,96	0,147	0,023	Oca.13	155,4	2,35	66,01	0,014	0,000
Eyl.10	140,2	1,96	71,68	-0,193	0,035	şub.13	135,2	2,38	56,89	-0,149	0,020
Eki.10	128,4	1,98	64,85	-0,100	0,009	Mar.13	127,4	2,35	54,28	-0,047	0,002
Kas.10	96,3	1,97	48,86	-0,283	0,077	Nis.13	144,5	2,34	61,71	0,128	0,018
Ara.10	117,0	2,01	58,09	0,173	0,032	May.13	137,9	2,38	58,04	-0,061	0,003
Oca.11	130,0	2,09	62,22	0,069	0,006	Haz.13	147,4	2,51	58,81	0,013	0,000
şub.11	113,8	2,17	52,40	-0,172	0,027	Tem.13	157,3	2,53	62,16	0,055	0,004
Mar.11	102,4	2,21	46,28	-0,124	0,014	Ağu.13	151,7	2,61	58,06	-0,068	0,004
Nis.11	85,6	2,20	38,88	-0,174	0,028	Eyl.13	156,4	2,70	57,97	-0,001	0,000
May.11	92,8	2,26	41,01	0,053	0,004	Eki.13	143,7	2,72	52,90	-0,092	0,007
Haz.11	95,3	2,31	41,32	0,007	0,000	Kas.13	150,6	2,74	55,04	0,040	0,002
Tem.11	155,5	2,37	65,64	0,463	0,220	Ara.13	192,1	2,83	67,84	0,209	0,046
Ağu.11	145,5	2,52	57,77	-0,128	0,015	Oca.14	163,2	3,03	53,81	-0,232	0,051
Eyl.11	149,2	2,47	60,28	0,042	0,002	şub.14	171,6	3,02	56,74	0,053	0,003
Eki.11	137,9	2,51	54,96	-0,092	0,007	Mar.14	139,3	3,07	45,40	-0,223	0,047
Kas.11	150,8	2,46	61,34	0,110	0,013	Nis.14	160,6	2,94	54,60	0,185	0,036

Çizelge B.5 Devam: Aylık ortalama elektrik fiyat verisi, Avro/TL kuru ve tarihsel volatilité hesabı.

Tarih	Ort. (TL/Mwsa)	Avro/TL	Ort. (Avro/Mwsa)	Ln(i/i-1)	s_i	Tarih	Ort. (TL/Mwsa)	Avro/TL	Ort. (Avro/Mwsa)	Ln(i/i-1)	s_i
May.14	155,2	2,88	53,96	-0,012	0,000	Eki.16	140,5	3,41	41,23	-0,019	0,000
Haz.14	152,4	2,88	52,84	-0,021	0,000	Kas.16	148,1	3,56	41,57	0,008	0,000
Tem.14	176,0	2,88	61,11	0,145	0,023	Ara.16	219,0	3,70	59,28	0,355	0,130
Ağu.14	177,7	2,88	61,66	0,009	0,000	Oca.17	181,3	3,99	45,48	-0,265	0,067
Eyl.14	163,8	2,86	57,35	-0,072	0,004	Şub.17	172,6	3,90	44,19	-0,029	0,001
Eki.14	155,7	2,86	54,37	-0,053	0,002	Mar.17	145,3	3,93	36,97	-0,178	0,030
Kas.14	180,9	2,79	64,80	0,176	0,033	Nis.17	145,1	3,91	37,09	0,003	0,000
Ara.14	172,2	2,83	60,84	-0,063	0,003	May.17	152,4	3,95	38,62	0,041	0,002
Oca.15	172,9	2,72	63,63	0,045	0,003	Haz.17	148,5	3,95	37,57	-0,028	0,000
Şub.15	140,1	2,80	50,06	-0,240	0,055	Tem.17	175,1	4,10	42,65	0,127	0,018
Mar.15	124,4	2,81	44,26	-0,123	0,014	Ağu.17	173,3	4,14	41,83	-0,019	0,000
Nis.15	101,7	2,87	35,49	-0,221	0,046	Eyl.17	178,5	4,15	43,07	0,029	0,001
May.15	108,5	2,96	36,69	0,033	0,002	Eki.17	164,1	4,33	37,94	-0,127	0,015
Haz.15	124,7	3,04	41,06	0,113	0,014	Kas.17	174,7	4,58	38,16	0,006	0,000
Tem.15	132,8	2,98	44,59	0,082	0,008	Ara.17	155,8	4,55	34,23	-0,109	0,011
Ağu.15	154,7	3,18	48,58	0,086	0,008	Oca.18	182,9	4,60	39,73	0,149	0,024
Eyl.15	160,7	3,39	47,44	-0,024	0,000	Şub.18	175,8	4,68	37,57	-0,056	0,002
Eki.15	137,6	3,30	41,76	-0,128	0,015	Mar.18	158,6	4,80	33,01	-0,130	0,015
Kas.15	133,7	3,09	43,28	0,036	0,002	Nis.18	193,6	4,99	38,81	0,162	0,028
Ara.15	163,6	3,18	51,46	0,173	0,032	May.18	179,4	5,24	34,26	-0,125	0,014
Oca.16	149,6	3,28	45,67	-0,119	0,013	Haz.18	185,6	5,43	34,16	-0,003	0,000
Şub.16	104,1	3,27	31,84	-0,361	0,126	Tem.18	208,1	5,51	37,81	0,101	0,012
Mar.16	108,8	3,21	33,88	0,062	0,005	Ağu.18	298,9	6,67	44,82	0,170	0,031
Nis.16	118,5	3,22	36,81	0,083	0,008	Eyl.18	327,3	7,40	44,21	-0,014	0,000
May.16	117,5	3,33	35,34	-0,041	0,001	Eki.18	331,9	6,88	48,24	0,087	0,009
Haz.16	141,7	3,28	43,21	0,201	0,043	Eki.16	140,5	3,41	41,23	Varyans standart sap. (aylık) standart sap. (yillik)	0,022
Tem.16	135,1	3,28	41,12	-0,049	0,002	Kas.16	148,1	3,56	41,57		0,148
Ağu.16	161,5	3,32	48,58	0,167	0,030	Ara.16	219,0	3,70	59,28		0,5113
Eyl.16	139,8	3,33	42,02	-0,145	0,019	Oca.17	181,3	3,99	45,48		

EK C: Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti hesaplamasında girdi olarak kullanılan değişkenlerin hesapları ve verileri

Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti hesaplamasında girdi olarak kullanılan değişkenlerin verilerinden:

Çizelge C.1: Son 1 senelik 10 senelik Türk Devlet tahvili alışı yönlü faiz oranları.

Tarih (2018)	Faiz	Tarih (2018)	Faiz	Tarih (2018)	Faiz	Tarih (2018)	Faiz	Tarih (2018-2017)	Faiz	Tarih (2017)	Faiz
16.10	17,80	9.8	18,85	8.6	14,52	6.4	12,65	6.2	11,58	6.12	11,68
15.10	17,80	8.8	18,22	7.6	14,51	5.4	12,76	5.2	11,44	5.12	11,72
12.10	18,28	7.8	18,79	6.6	14,74	4.4	12,34	2.2	11,40	4.12	11,76
11.10	19,09	6.8	18,90	5.6	14,69	3.4	12,31	1.2	11,35	1.12	11,79
10.10	19,30	3.8	18,50	4.6	14,38	2.4	12,29	31.1	11,40	30.11	12,01
9.10	19,64	2.8	18,28	1.6	14,32	30.3	12,19	30.1	11,60	29.11	12,28
8.10	19,83	1.8	17,77	31.5	13,85	29.3	12,30	29.1	11,66	28.11	12,20
5.10	19,68	31.7	17,94	30.5	13,67	28.3	12,56	26.1	11,60	27.11	12,09
4.10	19,60	30.7	17,62	29.5	13,54	27.3	12,49	25.1	11,55	24.11	12,35
3.10	18,56	27.7	17,39	28.5	13,71	26.3	12,57	24.1	11,65	23.11	12,38
2.10	17,71	26.7	17,63	25.5	14,22	23.3	12,45	23.1	11,79	22.11	12,65
1.10	17,18	25.7	17,06	24.5	14,28	22.3	12,21	22.1	11,83	21.11	12,78
28.9	17,31	24.7	17,87	23.5	14,27	21.3	12,23	19.1	11,83	20.11	12,52
27.9	17,31	23.7	16,20	22.5	14,44	20.3	12,28	18.1	11,75	17.11	12,23
26.9	17,79	20.7	16,67	21.5	14,58	19.3	12,53	17.1	11,78	16.11	12,03
25.9	17,88	19.7	17,10	18.5	14,53	16.3	12,41	16.1	11,66	15.11	12,03
24.9	17,89	18.7	17,03	17.5	14,42	15.3	12,44	15.1	11,58	14.11	12,01
21.9	18,12	17.7	17,06	16.5	14,17	14.3	12,28	12.1	11,45	13.11	11,99
20.9	18,29	16.7	17,70	15.5	14,26	13.3	12,23	11.1	11,49	10.11	11,92
19.9	18,05	13.7	17,38	14.5	13,49	12.3	12,26	10.1	11,46	9.11	11,90
18.9	18,18	12.7	17,80	11.5	13,28	9.3	12,03	9.1	11,36	8.11	11,98
17.9	18,30	11.7	17,78	10.5	13,17	8.3	11,99	8.1	11,42	7.11	11,88
14.9	17,91	10.7	16,98	9.5	13,31	7.3	11,85	5.1	11,44	6.11	11,83
13.9	18,19	9.7	16,51	8.5	13,59	6.3	11,72	4.1	11,48	3.11	11,92
12.9	19,37	6.7	16,73	7.5	13,49	5.3	11,81	3.1	11,43	2.11	11,57
11.9	19,58	5.7	16,82	4.5	13,34	2.3	11,62	2.1	11,37	1.11	11,53
10.9	19,04	4.7	16,92	3.5	13,03	1.3	11,57	29.12	11,43	31.10	11,51
7.9	18,71	3.7	16,73	2.5	12,54	28.2	11,58	28.12	11,41	30.10	11,55
6.9	19,24	2.7	16,24	30.4	12,24	27.2	11,52	27.12	11,60	27.10	11,61
5.9	19,78	29.6	16,30	27.4	12,24	26.2	11,54	26.12	11,61	26.10	11,59
4.9	19,98	28.6	15,68	26.4	12,28	23.2	11,58	25.12	11,61	25.10	11,39
3.9	20,37	27.6	15,98	25.4	12,29	22.2	11,59	22.12	11,71	24.10	11,36
31.8	20,70	26.6	16,27	24.4	12,32	21.2	11,56	21.12	11,76	23.10	11,32
29.8	20,69	25.6	16,35	20.4	12,30	20.2	11,60	20.12	11,79	20.10	11,15
28.8	20,86	22.6	15,72	19.4	12,27	19.2	11,57	19.12	11,83	19.10	11,10
27.8	21,03	21.6	16,16	18.4	12,36	16.2	11,63	18.12	11,86	18.10	11,11
20.8	20,90	20.6	16,23	17.4	12,68	15.2	11,70	15.12	12,09	17.10	11,04
17.8	21,07	19.6	16,18	16.4	12,78	14.2	11,85	14.12	11,98		
16.8	20,96	18.6	16,34	13.4	12,72	13.2	11,83	13.12	11,86		
15.8	20,59	14.6	15,69	12.4	12,63	12.2	11,70	12.12	11,75		
14.8	20,46	13.6	15,75	11.4	12,87	9.2	11,72	11.12	11,68		
13.8	21,53	12.6	15,18	10.4	13,01	8.2	11,61	8.12	11,69		
10.8	20,67	11.6	14,77	9.4	12,71	7.2	11,61	7.12	11,70		

Son iki seneye ait günlük BİST-100 verileri:

Çizelge C.2: BİST-100 endeksi günlük verileri.

Tar. 2018	Endeks	Tar. 2018	End.	Tar. 2018	End.	Tar. 2018	End.	Tar. 2018-2017	End.	Tar. 2017	Endeks
17.10	98991	9.8	97185	7.6	98624	4.4	113976	1.2	119044	30.11	103984
16.10	98466	8.8	96974	6.6	96658	3.4	114594	31.1	119529	29.11	102342
15.10	98631	7.8	96161	5.6	97823	2.4	114442	30.1	119303	28.11	102068
12.10	96657	6.8	94174	4.6	99250	30.3	114930	29.1	120845	27.11	104760
11.10	94748	3.8	95610	1.6	99171	29.3	114845	26.1	120702	24.11	104539
10.10	94441	2.8	94543	31.5	100652	28.3	114129	25.1	118604	23.11	105026
9.10	96732	1.8	97211	30.5	103869	27.3	116197	24.1	119648	22.11	105964
8.10	96087	31.7	96952	29.5	105113	26.3	116420	23.1	118400	21.11	105268
5.10	94883	30.7	96158	28.5	106525	23.3	116603	22.1	117235	20.11	103912
4.10	94497	27.7	95585	25.5	103200	22.3	117110	19.1	115147	17.11	106239
3.10	97188	26.7	94817	24.5	101138	21.3	117651	18.1	116856	16.11	106977
2.10	98161	25.7	95369	23.5	101892	20.3	116432	17.1	116593	15.11	107717
1.10	98537	24.7	92134	22.5	103328	19.3	115450	16.1	114418	14.11	110148
28.9	99957	23.7	95305	21.5	102258	16.3	117216	15.1	112159	13.11	108860
27.9	100299	20.7	94082	18.5	102410	15.3	117202	12.1	114645	10.11	108949
26.9	99149	19.7	93003	17.5	101869	14.3	117593	11.1	114719	9.11	110246
25.9	99292	18.7	92322	16.5	102158	13.3	118267	10.1	113589	8.11	111895
24.9	99547	17.7	91630	15.5	101540	12.3	118411	9.1	115023	7.11	112272
21.9	97988	16.7	89744	14.5	103370	9.3	116915	8.1	116305	6.11	114166
20.9	96121	13.7	89898	11.5	101852	8.3	116567	5.1	116638	3.11	111293
19.9	96604	12.7	89571	10.5	102381	7.3	116842	4.1	115491	2.11	112995
18.9	94887	11.7	91289	9.5	100781	6.3	116710	3.1	116052	1.11	113024
17.9	94348	10.7	96275	8.5	99364	5.3	116946	2.1	117524	31.10	110143
14.9	94760	9.7	99253	7.5	100866	2.3	116859	29.12	115333	30.10	108467
13.9	94419	6.7	98734	4.5	102599	1.3	117632	28.12	114480	27.10	107884
12.9	92227	5.7	99097	3.5	102909	28.2	118951	27.12	112150	26.10	107335
11.9	92389	4.7	97230	2.5	104726	27.2	118832	26.12	112007	25.10	108355
10.9	91698	3.7	96588	30.4	104283	26.2	118792	25.12	111765	24.10	107206
7.9	93274	2.7	96773	27.4	107614	23.2	117522	22.12	111099	23.10	107303
6.9	92763	29.6	96520	26.4	107015	22.2	116841	21.12	111272	20.10	108489
5.9	92791	28.6	96227	25.4	107401	21.2	116316	20.12	110455	19.10	108434
4.9	93189	27.6	95955	24.4	110059	20.2	113433	19.12	110177	18.10	106926
3.9	93916	26.6	94408	20.4	110932	19.2	115882	18.12	110248	17.10	106991
31.8	92723	25.6	94008	19.4	112122	16.2	116511	15.12	109330	16.10	106474
29.8	93281	22.6	95852	18.4	112099	15.2	116226	14.12	109666	13.10	106226
28.8	93867	21.6	95057	17.4	108745	14.2	113455	13.12	108153	12.10	105932
27.8	91284	20.6	94552	16.4	110688	13.2	114495	12.12	109050	11.10	103816
20.8	90186	19.6	94437	13.4	109604	12.2	114822	11.12	109156	10.10	103394
17.8	88735	18.6	93043	12.4	110235	9.2	113590	8.12	107921	9.10	101298
16.8	87143	14.6	94541	11.4	109253	8.2	114264	7.12	106448	6.10	104137
15.8	90263	13.6	93505	10.4	110713	7.2	115570	6.12	105304	5.10	104334
14.8	93419	12.6	95307	9.4	113156	6.2	115457	5.12	106260	4.10	104548
13.8	92685	11.6	96661	6.4	114738	5.2	116853	4.12	105215	3.10	103908
10.8	94940	8.6	95876	5.4	114948	2.2	118119	1.12	103559	2.10	103931

Çizelge C.2 devam: BİST-100 endeksi günlük verileri.

Tar. 2017	Endeks	Tar. 2017	End.	Tar. 2017	End.	Tar. 2018	End.	Tar. 2017-2016	End.	Tar. 2016	Endeks
29.9	102908	31.7	107531	31.5	97542	31.3	88947	2.2	87394	7.12	76031
28.9	102651	28.7	107700	30.5	97348	30.3	89282	1.2	86848	6.12	75433
27.9	101218	27.7	108392	29.5	97726	29.3	89270	31.1	86296	5.12	73600
26.9	103929	26.7	107206	26.5	97533	28.3	90182	30.1	86238	2.12	73391
25.9	102270	25.7	107041	25.5	97713	27.3	89695	27.1	83827	1.12	72520
22.9	104123	24.7	106711	24.5	98314	24.3	90383	26.1	83827	30.11	73995
21.9	104001	21.7	106843	23.5	97717	23.3	89764	25.1	83128	29.11	74205
20.9	105324	20.7	106736	22.5	96400	22.3	89809	24.1	84208	28.11	74990
19.9	104918	19.7	107418	18.5	95147	21.3	90606	23.1	83048	25.11	74363
18.9	106535	18.7	105718	17.5	95725	20.3	90902	20.1	83067	24.11	74193
15.9	107742	17.7	106217	16.5	96162	17.3	90491	19.1	82300	23.11	75037
14.9	108244	14.7	105176	15.5	95588	16.3	90268	18.1	82779	22.11	75812
13.9	108156	13.7	104210	12.5	94996	15.3	89446	17.1	82363	21.11	75544
12.9	109130	12.7	103810	11.5	95114	14.3	89137	16.1	81712	18.11	75639
11.9	109458	11.7	103183	10.5	96194	13.3	89430	13.1	81524	17.11	75136
8.9	108452	10.7	101097	9.5	95323	10.3	89611	12.1	80891	16.11	74759
7.9	109743	7.7	100084	8.5	93833	9.3	89003	11.1	77667	15.11	75151
6.9	109612	6.7	100627	5.5	93928	8.3	89485	10.1	77394	14.11	74419
5.9	108873	5.7	100744	4.5	93038	7.3	90814	9.1	77394	11.11	75174
31.8	110010	4.7	101208	3.5	93863	6.3	91045	6.1	77107	10.11	76360
29.8	110423	3.7	100522	2.5	94356	3.3	89722	5.1	76386	9.11	76209
28.8	110340	30.6	100440	28.4	94655	2.3	89934	4.1	76144	8.11	76368
25.8	109755	29.6	100190	27.4	94282	1.3	89320	3.1	76618	7.11	75682
24.8	109154	28.6	100618	26.4	94522	28.2	87478	2.1	77754	4.11	74267
23.8	108953	23.6	99639	25.4	94635	27.2	87765	30.12	78139	3.11	76681
22.8	108594	22.6	100072	24.4	93803	24.2	88258	29.12	77836	2.11	77172
21.8	108615	21.6	99390	21.4	92424	23.2	89138	28.12	77548	1.11	77429
18.8	107202	20.6	99269	20.4	92039	22.2	88531	27.12	76699	31.10	78536
17.8	106825	19.6	99332	19.4	90804	21.2	88965	26.12	77028	28.10	78333
16.8	106862	16.6	98193	18.4	91374	20.2	88588	23.12	76972	27.10	78739
15.8	106913	15.6	98737	17.4	90654	17.2	88830	22.12	77405	26.10	79398
14.8	109537	14.6	99636	14.4	90064	16.2	88187	21.12	77619	25.10	79433
11.8	106963	13.6	99300	13.4	89871	15.2	87882	20.12	77808	24.10	79933
10.8	107800	12.6	99442	12.4	90952	14.2	88082	19.12	77158	21.10	78844
9.8	108715	9.6	98943	11.4	90904	13.2	88578	16.12	77590	20.10	79252
8.8	109639	8.6	97978	10.4	91240	10.2	87473	15.12	77679	19.10	79210
7.8	109781	7.6	97617	7.4	88497	9.2	88830	14.12	76881	18.10	78340
4.8	108545	6.6	98332	6.4	88679	8.2	88249	13.12	76995		
3.8	107154	5.6	98192	5.4	89037	7.2	87477	12.12	76240		
2.8	106525	2.6	98868	4.4	88613	6.2	87358	9.12	75727		
1.8	106147	1.6	97366	3.4	88669	3.2	88390	8.12	75929		

Not: Günlük kârlılık için söz gelimi 17 Ekim 2018/16 Ekim 2018 verisi için hesaplanır: (98991/98466)-1=0,005328
Daha sonra bütün günler bu şekilde hesaplanarak ortalaması alınır. Bütün günlerin ortalaması olan 0,000555 artma üzerinden senelik ortalama 208 iş günü için endeks yıllık ortalama getirisi %15,07 hesaplanır.

Çeşitli vadelerdeki Eurobond verileri:

Çizelge C.3: Farklı vadeli Eurobond alış yönlü faiz oranları.

Tarih	18.05.2020	12.11.2021	11.04.2023	14.06.2025
16.10	3,478	4,065	4,557	5,121
15.10	3,451	3,994	4,501	5,082
12.10	3,542	4,030	4,617	5,149
11.10	3,745	4,233	4,789	5,343
10.10	3,742	4,237	4,742	5,331
9.10	3,713	4,277	4,804	5,340
8.10	3,744	4,258	4,851	5,330
5.10	3,619	4,247	4,822	5,241
4.10	3,594	4,169	4,820	5,221
3.10	3,767	4,096	4,642	5,106
2.10	3,494	3,923	4,484	4,873
1.10	3,515	3,880	4,366	4,806
28.9	3,520	3,901	4,373	4,829
27.9	3,379	3,942	4,432	4,845
26.9	3,577	4,067	4,485	4,938
25.9	3,822	4,181	4,555	4,987
24.9	3,684	4,353	4,417	5,050
21.9	4,407	4,369	4,706	5,183
20.9	4,196	4,680	4,966	5,227
19.9	5,494	5,089	5,255	5,408
18.9	5,338	5,173	5,450	5,558
17.9	5,462	5,120	5,297	5,488
14.9	5,278	5,026	5,260	5,340
13.9	5,745	5,425	5,595	5,597
12.9	6,271	6,022	6,153	6,239
11.9	6,377	6,116	6,218	6,263
10.9	6,404	6,090	6,356	6,361
7.9	5,851	6,031	6,366	6,326
6.9	5,705	6,219	6,524	6,399
5.9	6,776	6,623	6,664	6,701
4.9	6,992	6,790	6,788	6,923
3.9	7,037	6,560	6,523	6,706
31.8	5,810	6,511	6,607	6,609
30.8	6,639	6,216	6,234	6,502
29.8	5,237	5,849	5,896	6,218
28.8	5,253	5,559	5,605	6,032
27.8	5,829	5,447	5,718	6,001
24.8	5,193	5,533	5,603	5,990
23.8	5,019	5,534	5,602	5,989
22.8	4,809	5,551	5,867	5,946
21.8	6,220	6,000	6,182	6,281
20.8	6,071	6,243	6,261	6,583
17.8	7,186	6,003	6,252	6,341

BİST-100’de yer alan enerji şirketi betaları:

Çizelge C.4: BİST-100 enerji şirketi beta değerleri.

Şirketler	Beta değerleri
Işıklar Enerji ve Yapı Holding A.Ş.	0,77
ODAS Elektrik Üretim Sanayi Ticaret A.Ş.	1,35
İpek Doğal Enerji Kaynakları Araştırma ve Üretim A.Ş.	1,21
Aksa Enerji Üretim A.Ş.	0,92
Zorlu Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	1,21
Ortalama	1,092

EK D: Hesaplanan genişletilmiş net bugünkü değerler, opsiyon değerleri, nakit akışları, maliyetler ve bazı ara değişkenler

Model içindeki ara hesaplanan değerler hariç tüm nakit akışı ve maliyet değişkenlerinin birimleri Avro'dur.

Sezgisel bulanık nakit akışlarının bugünkü değeri ve farklı modellere göre sezgisel bulanık net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.1: Nakit akışlarının sezgisel bulanık ve normal bulanık bugünkü değerleri.

Yıl	Nakit akışlarının sezgisel bulanık bugünkü değeri	Nakit akışlarının bulanık bugünkü değeri
0	(5.880.521: 7.155.689: 8.479.526: 9.855.741; 4.650.672: 7.155.689: 8.479.526: 11.288.454)	(5.465.657: 7.155.689: 8.479.526: 10.326.865)
1	(5.502.193: 6.899.957: 8.344.391: 9.839.037; 4.147.901: 6.899.957: 8.344.391: 11.387.820)	(5.046.033: 6.899.957: 8.344.391: 10.349.139)
2	(3.707.266: 4.985.633: 6.231.602: 7.490.696; 2.420.840: 4.985.633: 6.231.602: 8.785.611)	(3.279.356: 4.985.633: 6.231.602: 7.918.280)
3	(3.551.640: 4.930.530: 6.283.858: 7.664.728; 2.137.790: 4.930.530: 6.283.858: 9.076.350)	(3.084.306: 4.930.530: 6.283.858: 8.131.801)
4	(3.371.208: 4.830.359: 6.290.408: 7.771.913; 1.854.354: 4.830.359: 6.290.408: 9.278.410)	(2.872.168: 4.830.359: 6.290.408: 8.271.271)
5	(3.166.636: 4.706.723: 6.256.235: 7.820.236; 1.567.109: 4.706.723: 6.256.235: 9.402.813)	(2.640.232: 4.706.723: 6.256.235: 8.345.682)
6	(2.817.792: 4.442.886: 6.069.708: 7.702.973; 1.132.454: 4.442.886: 6.069.708: 9.347.562)	(2.262.870: 4.442.886: 6.069.708: 8.249.905)
7	(2.471.299: 4.173.231: 5.866.685: 7.557.581; 706.092,9: 4.173.231: 5.866.685: 9.251.894)	(1.890.099: 4.173.231: 5.866.685: 8.121.972)
8	(2.126.485: 3.897.838: 5.649.090: 7.387.764; 284.478,4: 3.897.838: 5.649.090: 9.121.271)	(1.520.539: 3.897.838: 5.649.090: 7.966.172)
9	(1.781.521: 3.616.714: 5.418.628: 7.196.840; -136.190,9: 3.616.714: 5.418.628: 8.960.583)	(1.151.723: 3.616.714: 5.418.628: 7.786.353)
10	(1.434.617: 3.329.801: 5.176.800: 6.987.774; -559.617,5: 3.329.801: 5.176.800: 8.774.210)	(781.254: 3.329.801: 5.176.800: 7.585.954)
11	(1.066.784: 3.000.343: 4.869.627: 6.689.787; -991.745,2: 3.000.343: 4.869.627: 8.474.853)	(395.079: 3.000.343: 4.869.627: 7.288.658)
12	(693.727: 2.668.930: 4.561.641: 6.390.657; -1.436.917: 2.668.930: 4.561.641: 8.173.059)	(1666: 2.668.930: 4.561.641: 6.989.881)
13	(313.877: 2.334.961: 4.252.949: 6.091.042; -1.898.281: 2.334.961: 4.252.949: 7.869.950)	(-400.982: 2.334.961: 4.252.949: 6.690.444)
14	(-74.383: 1.997.796: 3.943.598: 5.791.511; -2.381.607: 1.997.796: 3.943.598: 7.566.521)	(-815.439: 1.997.796: 3.943.598: 6.391.065)
15	(-472.724: 1.656.753: 3.633.584: 5.492.549; -2.887.656: 1.656.753: 3.633.584: 7.263.650)	(-1.243.271: 1.656.753: 3.633.584: 6.092.367)

Sezgisel bulanık ve normal bulanık yatırım maliyetinin %30'u gösterilmiştir (bu değerle reel opsiyon değerlemesinde "K" değişkeni olarak kullanılacaktır. Ayrıca bu maliyet öz sermayeden harcanan tutardır.):

Çizelge D.2: Yatırım maliyetinin sezgisel bulanık ve normal bulanık değerleri.

Yıl	Yatırım maliyeti sezgisel bulanık değeri	Yatırım maliyeti bulanık değeri
0	(8.961.274: 9.126.703: 9.292.132: 9.457.560; 8.795.846: 9.126.703: 9.292.132: 9.622.989)	(8.906.132: 9.126.703: 9.292.132: 9.512.703)
1	(8.729.617: 8.928.132: 9.126.647: 9.325.161; 8.531.103: 8.928.132: 9.126.647: 9.523.676)	(8.663.446: 8.928.132: 9.126.647: 9.391.333)
2	(6.907.667: 7.037.607: 7.171.205: 7.308.459; 6.781.386: 7.037.607: 7.171.205: 7.449.367)	(6.865.174: 7.037.607: 7.171.205: 7.355.015)
3	(6.745.147: 6.918.521: 7.098.330: 7.284.704; 6.578.074: 6.918.521: 7.098.330: 7.477.777)	(6.688.773: 6.918.521: 7.098.330: 7.348.300)
4	(6.595.305: 6.812.467: 7.039.761: 7.277.563; 6.387.903: 6.812.467: 7.039.761: 7.526.256)	(6.525.119: 6.812.467: 7.039.761: 7.359.214)
5	(6.458.370: 6.720.091: 6.996.675: 7.288.899; 6.210.762: 6.720.091: 6.996.675: 7.597.565)	(6.374.323: 6.720.091: 6.996.675: 7.389.893)
6	(6.380.757: 6.689.468: 7.018.974: 7.370.663; 6.091.525: 6.689.468: 7.018.974: 7.745.987)	(6.282.275: 6.689.468: 7.018.974: 7.493.030)
7	(6.313.840: 6.671.659: 7.057.580: 7.473.872; 5.981.995: 6.671.659: 7.057.580: 7.922.953)	(6.200.482: 6.671.659: 7.057.580: 7.619.736)
8	(6.258.164: 6.667.719: 7.114.268: 7.601.324; 5.882.357: 6.667.719: 7.114.268: 8.132.683)	(6.129.357: 6.667.719: 7.114.268: 7.773.232)
9	(6.214.341: 6.678.824: 7.191.037: 7.756.198; 5.792.831: 6.678.824: 7.191.037: 8.380.025)	(6.069.367: 6.678.824: 7.191.037: 7.957.186)
10	(6.183.054: 6.706.289: 7.290.136: 7.942.108; 5.713.675: 6.706.289: 7.290.136: 8.670.552)	(6.021.035: 6.706.289: 7.290.136: 8.175.786)
11	(6.229.393: 6.810.919: 7.467.692: 8.210.207; 5.713.812: 6.810.919: 7.467.692: 9.050.287)	(6.050.781: 6.810.919: 7.467.692: 8.478.483)
12	(6.287.297: 6.933.125: 7.671.696: 8.517.409; 5.721.633: 6.933.125: 7.671.696: 9486707)	(6.090.604: 6.933.125: 7.671.696: 8.825.501)
13	(6.357.786: 7.074.770: 7.905.365: 8.869.025; 5.737.649: 7.074.770: 7.905.365: 9.988.274)	(6.141.327: 7.074.770: 7.905.365: 9.223.055)
14	(6.441.977: 7.237.927: 8.172.315: 9.271.091; 5.762.413: 7.237.927: 8.172.315: 10.564.712)	(6.203.850: 7.237.927: 8.172.315: 9.678.232)
15	(6.541.100: 7.424.892: 8.476.601: 9.730.463; 5.796.529: 7.424.892: 8.476.601: 11.227.198)	(6.279.155: 7.424.892: 8.476.601: 10.199.115)

Sezgisel bulanık net bugünkü değer ve normal bulanık net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.3: Sezgisel bulanık ve normal bulanık net bugünkü değerler.

Yıl	Sezgisel bulanık net bugünkü değer	Bulanık net bugünkü değer
0	(-3.577.039: -2.136.008: -647.177: 894.466; -4.972.317: -2.136.008: -647.177: 1.708.451)	(-4.047.061: -2.136.008: -647.177: 1.420.751)
1	(-3.324.273: -1.738.611: -106.278: 1.576.266; -4.866.463: -1.738.611: -106.278: 3.312.948)	(-3.843.066: -1.738.611: -106.278: 2.149.001)
2	(-2.840.405: -1.439.071: -73.411: 1.302.097; -4.253.071: -1.439.071: -73.411: 2.710.147)	(-3.310.024: -1.439.071: -73.411: 1.767.750)
3	(-2.625.728: -1.088.793: 417.011: 1.944.901; -4.203.301: -1.088.793: 417.011: 3.498.199)	(-3.146.990: -1.088.793: 417.011: 2.459.779)
4	(-2.470.072: -820.051: 822.434: 2.478.243; -4.186.537: -820.051: 822.434: 4.151.209)	(-3.034.648: -820.051: 822.434: 3.033.935)
5	(-2.370.873: -608.777: 1.150.860: 2.913.696; -4.204.899: -608.777: 1.150.860: 4.684.385)	(-2.974.004: -608.777: 1.150.860: 3.502.993)
6	(-2.482.375: -604.385: 1.259.382: 3.114.637; -4.437.604: -604.385: 1.259.382: 4.967.209)	(-3.125.290: -604.385: 1.259.382: 3.732.387)
7	(-2.615.671: -630.396: 1.325.729: 3.260.168; -4.686.537: -630.396: 1.325.729: 5.180.346)	(-3.296.151: -630.396: 1.325.729: 3.901.714)
8	(-2.770.550: -685.419: 1.353.516: 3.356.038; -4.954.877: -685.419: 1.353.516: 5.331.653)	(-3.487.245: -685.419: 1.353.516: 4.017.429)
9	(-2.948.068: -768.249: 1.346.002: 3.407.447; -5.246.178: -768.249: 1.346.002: 5.428.220)	(-3.700.425: -768.249: 1.346.002: 4.085.363)
10	(-3.149.343: -877.859: 1.306.120: 3.419.090; -5.564.014: -877.859: 1.306.120: 5.476.439)	(-3.937.577: -877.859: 1.306.120: 4.110.783)
11	(-3.418.496: -1.079.297: 1.148.785: 3.286.636; -5.935.966: -1.079.297: 1.148.785: 5.353.367)	(-4.236.762: -1.079.297: 1.148.785: 3.983.084)
12	(-3.710.538: -1.298.025: 976.593: 3.139.559; -6.342.396: -1.298.025: 976.593: 5.214.460)	(-4.561.910: -1.298.025: 976.593: 3.840.492)
13	(-4.026.949: -1.534.214: 790.297: 2.979.308; -6.786.908: -1.534.214: 790.297: 5.061.734)	(-4.915.083: -1.534.214: 790.297: 3.684.654)
14	(-4.369.330: -1.788.129: 590.539: 2.807.185; -7.275.840: -1.788.129: 590.539: 4.897.012)	(-5.298.999: -1.788.129: 590.539: 3.517.056)
15	(-4.739.413: -2.060.133: 377.860: 2.624.357; -7.810.645: -2.060.133: 377.860: 4.721.943)	(-5.715.458: -2.060.133: 377.860: 3.339.034)

Black & Scholes'dan türetilen sezgisel bulanık reel opsiyon modelinin ara değerleri gösterilmiştir:

Çizelge D.4: Sezgisel bulanık reel opsiyon modeli hesaplanan ara değerler.

Yıl	Risk-seven yatırımcılı model					Tarihsel volatiliteli model				
	$E(\tilde{S}^i)$	d_1	d_2	$N(d_1)$	$N(d_2)$	$E(\tilde{S}^i)$	d_1	d_2	$N(d_1)$	$N(d_2)$
1	7.670.706	-0,247	-0,530	0,4024	0,2980	7.670.706	0,051	-0,460	0,5204	0,3227
2	5.604.860	-0,035	-0,515	0,4861	0,3033	5.604.860	0,186	-0,538	0,5736	0,2954
3	5.607.410	0,218	-0,423	0,5862	0,3363	5.607.410	0,376	-0,510	0,6466	0,3052
4	5.564.677	0,387	-0,410	0,6507	0,3408	5.564.677	0,510	-0,512	0,6951	0,3043
5	5.485.339	0,518	-0,437	0,6977	0,3309	5.485.339	0,614	-0,529	0,7304	0,2983
6	5.253.246	0,616	-0,531	0,7306	0,2976	5.253.246	0,674	-0,579	0,7498	0,2814
7	5.008.337	0,713	-0,638	0,7619	0,2616	5.008.337	0,724	-0,629	0,7654	0,2647
8	4.751.732	0,816	-0,759	0,7927	0,2241	4.751.732	0,766	-0,681	0,7780	0,2480
9	4.484.180	0,928	-0,893	0,8234	0,1859	4.484.180	0,800	-0,734	0,7881	0,2315
10	4.206.273	1,055	-1,045	0,8542	0,1479	4.206.273	0,827	-0,790	0,7960	0,2149
11	3.872.452	1,195	-1,230	0,8840	0,1093	3.872.452	0,837	-0,859	0,7986	0,1951
12	3.535.209	1,371	-1,445	0,9147	0,0742	3.535.209	0,840	-0,931	0,7996	0,1760
13	3.194.051	1,593	-1,703	0,9444	0,0443	3.194.051	0,838	-1,006	0,7989	0,1573
14	2.848.104	1,882	-2,023	0,9701	0,0215	2.848.104	0,828	-1,085	0,7962	0,1390
15	2.497.062	2,268	-2,434	0,9883	0,0075	2.497.062	0,810	-1,170	0,7911	0,1210
Yıl	Riskten kaçan yatırımcılı model					Carlsson ve Fuller'e çevrilen model				
	$E(\tilde{S}^i)$	d_1	d_2	$N(d_1)$	$N(d_2)$	$E(\tilde{S}^i)$	d_1	d_2	$N(d_1)$	$N(d_2)$
1	7.654.529	-0,321	-0,559	0,3740	0,2879	7.647.311	-0,357	-0,582	0,3607	0,2803
2	5.606.113	-0,110	-0,513	0,4561	0,3041	5.605.351	-0,142	-0,521	0,4434	0,3013
3	5.607.338	0,163	-0,374	0,5646	0,3543	5.607.481	0,140	-0,364	0,5555	0,3579
4	5.563.246	0,337	-0,331	0,6321	0,3703	5.564.162	0,318	-0,311	0,6249	0,3781
5	5.484.052	0,466	-0,335	0,6794	0,3687	5.485.305	0,448	-0,307	0,6728	0,3793
6	5.254.263	0,548	-0,413	0,7082	0,3399	5.256.327	0,526	-0,380	0,7004	0,3519
7	5.012.211	0,629	-0,503	0,7353	0,3074	5.015.317	0,602	-0,466	0,7263	0,3206
8	4.758.976	0,712	-0,606	0,7619	0,2723	4.763.428	0,679	-0,563	0,7515	0,2866
9	4.495.344	0,802	-0,721	0,7888	0,2353	4.501.460	0,762	-0,673	0,7771	0,2505
10	4.221.949	0,903	-0,852	0,8166	0,1972	4.230.068	0,855	-0,797	0,8036	0,2129
11	3.893.297	1,010	-1,013	0,8438	0,1556	3.903.946	0,951	-0,949	0,8292	0,1714
12	3.561.901	1,146	-1,197	0,8742	0,1156	3.575.448	1,073	-1,122	0,8584	0,1309
13	3.227.352	1,320	-1,415	0,9066	0,0786	3.244.214	1,230	-1,325	0,8906	0,0926
14	2.888.968	1,547	-1,680	0,9391	0,0465	2.909.736	1,433	-1,569	0,9240	0,0584
15	2.546.431	1,850	-2,014	0,9678	0,0220	2.571.628	1,703	-1,873	0,9557	0,0305

Risk seven yatırımcılı sezgisel reel opsiyon modelinde yıllara göre sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.5: Risk seven yatırımcılı model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.

Yıl	Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri	Sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değer
1	(-421.596: 196.943: 834.261: 1.491.783; -1.022.643: 196.943: 834.261: 2.171.090)	(-3.745.869: -1.541.668: 727.984: 3.068.049; -5.889.106: -1.541.668: 727.984: 5.484.038)
2	(-192.330: 466.528: 1.108.640: 1.756.133; -856.102: 466.528: 1.108.640: 2.420.039)	(-3.032.735: -972.543: 1.035.228: 3.058.230; -5.109.172: -972.543: 1.035.228: 5.130.186)
3	(-9.356: 852.401: 1.697.289: 2.556.474; -893.527: 852.401: 1.697.289: 3.431.876)	(-2.635.083: -236.392: 2.114.300: 4.501.375; -5.096.827: -236.392: 2.114.300: 6.930.075)
4	(185.344: 1.200.429: 2.213.199: 3.237.135; -870.293: 1.200.429: 2.213.199: 4.274.639)	(-2.284.728: 380.378: 3.035.634: 5.715.378; -5.056.830: 380.378: 3.035.634: 8.425.848)
5	(357.098: 1.505.879: 2.657.260: 3.814.975; -837.333: 1.505.879: 2.657.260: 4.982.063)	(-2.013.776: 897.101: 3.808.120: 6.728.671; -5.042.232: 897.101: 3.808.120: 9.666.448)
6	(460.900: 1.724.400: 2.984.355: 4.244.508; -851.737: 1.724.400: 2.984.355: 5.508.712)	(-2.021.475: 1.120.015: 4.243.736: 7.359.146; -5.289.341: 1.120.015: 4.243.736: 10.475.922)
7	(531.944: 1.903.961: 3.264.028: 4.617.067; -894.211: 1.903.961: 3.264.028: 5.968.014)	(-2.083.728: 1.273.565: 4.589.757: 7.877.235; -5.580.748: 1.273.565: 4.589.757: 11.148.360)
8	(569.194: 2.044.854: 3.498.632: 4.937.005; -968.980: 2.044.854: 3.498.632: 6.366.325)	(-2.201.356: 1.359.435: 4.852.147: 8.293.043; -5.923.857: 1.359.435: 4.852.147: 11.697.978)
9	(570.463: 2.146.813: 3.689.642: 5.207.440; -1.080.610: 2.146.813: 3.689.642: 6.708.359)	(-2.377.605: 1.378.564: 5.035.644: 8.614.888; -6.326.788: 1.378.564: 5.035.644: 12.136.578)
10	(532.531: 2.208.284: 3.836.933: 5.429.522; -1.234.502: 2.208.284: 3.836.933: 6.996.451)	(-2.616.812: 1.330.425: 5.143.053: 8.848.612; -6.798.516: 1.330.425: 5.143.053: 12.472.889)
11	(440.931: 2.195.662: 3.888.328: 5.532.965; -1.430.245: 2.195.662: 3.888.328: 7.142.545)	(-2.977.565: 1.116.364: 5.037.113: 8.819.601; -7.366.210: 1.116.364: 5.037.113: 12.495.912)
12	(299.337: 2.139.414: 3.899.814: 5.598.300; -1.687.790: 2.139.414: 3.899.814: 7.250.991)	(-3.411.201: 841.388: 4.876.407: 8.737.859; -8.030.187: 841.388: 4.876.407: 12.465.451)
13	(98.840: 2.028.987: 3.858.806: 5.610.644; -2.015.220: 2.028.987: 3.858.806: 7.304.430)	(-3.928.110: 494.773: 4.649.103: 8.589.952; -8.802.128: 494.773: 4.649.103: 12.366.164)
14	(-167.535: 1.853.903: 3.751.057: 5.551.827; -2.418.985: 1.853.903: 3.751.057: 7.280.682)	(-4.536.865: 65.774: 4.341.596: 8.359.013; -9.694.825: 65.774: 4.341.596: 12.177.694)
15	(-500.160: 1.608.716: 3.566.042: 5.406.310; -2.891.983: 1.608.716: 3.566.042: 7.159.266)	(-5.239.573: -451.417: 3.943.902: 8.030.667; -10.702.628: -451.417: 3.943.902: 11.881.210)

Riskten kaçan yatırımcılı sezgisel reel opsiyon modelinde yıllara göre sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.6: Riskten kaçan yatırımcılı model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.

Yıl	Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri	Sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değer
1	(-489.508: 87.401: 681.763: 1.294.901; -1.050.161: 87.401: 681.763: 1.928.284)	(-3.813.781: -1.651.210: 575.486: 2.871.167; -5.916.624: -1.651.210: 575.486: 5.241.232)
2	(-309.023: 311.547: 916.340: 1.526.119; -9.34267: 311.547: 916.340: 2.151.232)	(-3.149.427: -1.127.525: 842.929: 2.828.216; -5.187.338: -1.127.525: 842.929: 4.861.379)
3	(-197.408: 637.433: 1.455.857: 2.287.884; -1.054.011: 637.433: 1.455.857: 3.135.368)	(-2.823.136: -451.360: 1.872.867: 4.232.785; -5.257.311: -451.360: 1.872.867: 6.633.567)
4	(-50.600: 943.004: 1.934.026: 2.935.573; -1.083.943: 943.004: 1.934.026: 3.949.992)	(-2.520.672: 122.953: 2.756.461: 5.413.816; -5.270.479: 122.953: 2.756.461: 8.101.201)
5	(87.245: 1.216.318: 2.347.365: 3.484.047; -1.086.867: 1.216.318: 2.347.365: 4.629.353)	(-2.283.628: 607.541: 3.498.225: 6.397.743; -5.291.766: 607.541: 3.498.225: 9.313.738)
6	(170.448: 1.408.377: 2.642.038: 3.875.112; -1.115.996: 1.408.377: 2.642.038: 5.111.382)	(-2.311.927: 803.992: 3.901.419: 6.989.749; -5.553.601: 803.992: 3.901.419: 10.078.591)
7	(229.411: 1.569.227: 2.896.357: 4.215.637; -1.163.893: 1.569.227: 2.896.357: 5.531.912)	(-2.386.260: 938.831: 4.222.086: 7.475.805; -5.850.430: 938.831: 4.222.086: 10.712.258)
8	(263.280: 1.699.770: 3.113.716: 4.511.475; -1.234.949: 1.699.770: 3.113.716: 5.899.274)	(-2.507.271: 1.014.351: 4.467.232: 7.867.514; -6.189.826: 1.014.351: 4.467.232: 11.230.927)
9	(270.329: 1.800.633: 3.296.938: 4.767.563; -1.333.650: 1.800.633: 3.296.938: 6.220.486)	(-2.677.739: 1.032.384: 4.642.940: 8.175.010; -6.579.828: 1.032.384: 4.642.940: 11.648.706)
10	(248.031: 1.871.502: 3.447.702: 4.987.435; -1.465.220: 1.871.502: 3.447.702: 6.500.868)	(-2.901.312: 993.643: 4.753.822: 8.406.526; -7.029.234: 993.643: 4.753.822: 11.977.306)
11	(185.291: 1.881.565: 3.516.136: 5.102.701; -1.624.934: 1.881.565: 3.516.136: 6.653.910)	(-3.233.205: 802.268: 4.664.921: 8.389.337; -7.560.899: 802.268: 4.664.921: 12.007.277)
12	(83.704: 1.862.253: 3.562.115: 5.200.605; -1.838.309: 1.862.253: 3.562.115: 6.793.427)	(-3.626.834: 564.228: 4.538.708: 8.340.164; -8.180.705: 564.228: 4.538.708: 12.007.887)
13	(-66.285: 1.804.160: 3.575.871: 5.270.657; -2.116.111: 1.804.160: 3.575.871: 6.907.953)	(-4.093.234: 269.946: 4.366.168: 8.249.965; -8.903.019: 269.946: 4.366.168: 11.969.687)
14	(-275.692: 1.694.636: 3.542.637: 5.295.639; -2.471.071: 1.694.636: 3.542.637: 6.977.596)	(-4.645.022: -93.493: 4.133.176: 8.102.824; -9.746.912: -93.493: 4.133.176: 11.874.608)
15	(-554.402: 1.519.086: 3.442.823: 5.250.812; -2.906.583: 1.519.086: 3.442.823: 6.972.376)	(-5.293.815: -541.047: 3.820.682: 7.875.169; -10.717.228: -541.047: 3.820.682: 11.694.319)

Tarihsel volatiliteli sezgisel reel opsiyon modelinde yıllara göre sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.7: Tarihsel volatiliteli model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.

Yıl	Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri	Sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değer
1	(8786: 796.968: 1.609.439: 2.448.039; -756.772: 796.968: 1.609.439: 3.314.814)	(-3.315.487: -941.642: 1.503.161: 4.024.305; -5.623.235: -941.642: 1.503.161: 6.627.762)
2	(183.643: 953.384: 1.703.569: 2.460.310; -591.691: 953.384: 1.703.569: 3.236.625)	(-2.656.761: -485.688: 1.630.158: 3.762.408; -4.844.761: -485.688: 1.630.158: 5.946.771)
3	(398.858: 1.338.934: 2.260.771: 3.198.741; -565.565: 1.338.934: 2.260.771: 4.154.952)	(-2.226.870: 250.141: 2.677.782: 5.143.641; -4.768.866: 250.141: 2.677.782: 7.653.150)
4	(550.703: 1.623.555: 2.694.444: 3.777.751; -564.942: 1.623.555: 2.694.444: 4.876.026)	(-1.919.369: 803.505: 3.516.879: 6.255.994; -4.751.479: 803.505: 3.516.879: 9.027.236)
5	(643.048: 1.834.900: 3.030.052: 4.232.383; -595.987: 1.834.900: 3.030.052: 5.445.048)	(-1.727.825: 1.226.123: 4.180.912: 7.146.079; -4.800.886: 1.226.123: 4.180.912: 10.129.433)
6	(601.601: 1.892.213: 3.179.573: 4.467.501; -739.029: 1.892.213: 3.179.573: 5.759.925)	(-1.880.774: 1.287.828: 4.438.955: 7.582.138; -5.176.633: 1.287.828: 4.438.955: 10.727.134)
7	(524.566: 1.903.385: 3.270.159: 4.629.835; -908.679: 1.903.385: 3.270.159: 5.987.376)	(-2.091.105: 1.272.989: 4.595.888: 7.890.003; -5.595.216: 1.272.989: 4.595.888: 11.167.722)
8	(418.605: 1.875.919: 3.311.009: 4.730.298; -1.100.882: 1.875.919: 3.311.009: 6.140.081)	(-2.351.946: 1.190.500: 4.664.525: 8.086.337; -6.055.759: 1.190.500: 4.664.525: 11.471.734)
9	(287.825: 1.815.465: 3.309.257: 4.777.501; -1.313.289: 1.815.465: 3.309.257: 6.228.158)	(-2.660.243: 1.047.216: 4.655.259: 8.184.949; -6.559.468: 1.047.216: 4.655.259: 11.656.378)
10	(135.270: 1.726.451: 3.270.642: 4.778.475; -1.544.447: 1.726.451: 3.270.642: 6.259.950)	(-3.014.073: 848.592: 4.576.762: 8.197.566; -7.108.461: 848.592: 4.576.762: 11.736.389)
11	(-44.277: 1.580.888: 3.145.366: 4.662.399; -1.779.892: 1.580.888: 3.145.366: 6.144.209)	(-3.462.773: 501.591: 4.294.151: 7.949.036; -7.715.858: 501.591: 4.294.151: 11.497.576)
12	(-240.586: 1.417.813: 3.000.245: 4.523.084; -2.034.820: 1.417.813: 3.000.245: 6.001.164)	(-3.951.125: 119.788: 3.976.838: 7.662.643; -8.377.216: 119.788: 3.976.838: 11.215.624)
13	(-451.459: 1.239.579: 2.837.712: 4.363.019; -2.307.473: 1.239.579: 2.837.712: 5.833.371)	(-4.478.408: -294.635: 3.628.009: 7.342.327; -9.094.381: -294.635: 3.628.009: 10.895.105)
14	(-674.538: 1.048.333: 2.659.668: 4.183.873; -2.597.494: 1.048.333: 2.659.668: 5.642.305)	(-5.043.869: -739.796: 3.250.208: 6.991.058; -9.873.334: -739.796: 3.250.208: 10.539.317)
15	(-907.102: 846.143: 2.467.558: 3.986.535; -2.899.465: 846.143: 2.467.558: 5.428.377)	(-5.646.515: -1.213.990: 2.845.418: 6.610.892; -10.710.110: -1.213.990: 2.845.418: 10.150.320)

Carlsson ve Fuller'e çevrilen sezgisel reel opsiyon modelinde yıllara göre bulanık reel opsiyon değerleri ve bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.8: Carlsson ve Fuller'e çevrilen model için bulanık reel opsiyon değerleri ve bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.

Yıl	Bulanık reel opsiyon değeri	Bulanık genişletilmiş net bugünkü değer
1	(-676.920: 62.171: 635.964: 1.434.519)	(-4.519.986: -1.676.440: 529.686: 3.583.520)
2	(-540.045: 266.402: 855.121: 1.657.965)	(-3.850.070: -1.172.670: 781.710: 3425.715)
3	(-531.535: 570.410: 1.377.116: 2.487.281)	(-3.678.525: -518.383: 1.794.127: 4947.059)
4	(-457.811: 863.645: 1.845.603: 3.188.899)	(-3.492.459: 43.594: 2.668.038: 6222.834)
5	(-376.259: 1.128.606: 2.251.676: 3.778.477)	(-3.350.263: 519.829: 3.402.536: 7281.470)
6	(-335.852: 1.312.621: 2.536.565: 4.189.143)	(-3.461.141: 708.236: 3.795947: 7921.530)
7	(-315.636: 1.467.049: 2.782.430: 4.545.729)	(-3.611.786: 836.653: 4.108.159: 8447.443)
8	(-317.599: 1.592.750: 2.992.717: 4.855.245)	(-3.804.844: 907.331: 4.346.233: 8872.674)
9	(-344.250: 1.690.528: 3.170.503: 5.123.828)	(-4.044.675: 922.279: 4.516.506: 9209.191)
10	(-398.710: 1.760.429: 3.317.932: 5.356.349)	(-4.336.288: 882.570: 4.624.052: 9467.133)
11	(-485.265: 1.772.034: 3.385.088: 5.477.794)	(-4.722.028: 692.737: 4.533.873: 9460.878)
12	(-611.673: 1.758.166: 3.434.253: 5.588.303)	(-5.173.583: 460.141: 4.410.846: 9.428.795)
13	(-787.209: 1.710.779: 3.457.608: 5.679.965)	(-5.702.292: 176.565: 4.247.905: 9.364.619)
14	(-1.023.236: 1.618.244: 3.442.263: 5.737.857)	(-6.322.235: -169.885: 4.032.802: 9.254.913)
15	(-1.329.295: 1.466.033: 3.369.803: 5.738.285)	(-7.044.754: -594.100: 3.747.662: 9.077.319)

Sezgisel bulanık sayılarla oluşturulan trinomial reel opsiyon modelinin yıllara göre hesaplanan ara girdileri:

Çizelge D.9: Sezgisel bulanık sayılarla oluşturulan trinomial reel opsiyon modelinin yıllara göre hesaplanan ara girdileri.

Risk-seven yatırımcılı model						Tarihsel volatiliteli model				
Yıl	u	d	p_u	p_m	p_d	u	d	p_u	p_m	p_d
1	1,6329	0,6124	0,1800	0,6660	0,1540	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
2	1,8004	0,5554	0,1626	0,6666	0,1708	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
3	1,8968	0,5272	0,1549	0,6661	0,1791	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
4	1,9948	0,5013	0,1481	0,6652	0,1867	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
5	2,0958	0,4772	0,1420	0,6640	0,1940	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
6	2,2487	0,4447	0,1342	0,6618	0,2041	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
7	2,4216	0,4130	0,1267	0,6590	0,2144	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
8	2,6223	0,3813	0,1193	0,6555	0,2252	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
9	2,8623	0,3494	0,1120	0,6510	0,2370	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
10	3,1588	0,3166	0,1044	0,6454	0,2502	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
11	3,5490	0,2818	0,0963	0,6380	0,2657	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
12	4,0877	0,2446	0,0875	0,6278	0,2847	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
13	4,8712	0,2053	0,0780	0,6135	0,3085	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
14	6,0947	0,1641	0,0677	0,5927	0,3397	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
15	8,1868	0,1221	0,0569	0,5608	0,3822	2,4232	0,4127	0,1266	0,6589	0,2145
Riskten kaçan yatırımcılı model						Carlsson ve Fuller'e çevrilen model				
Yıl	u	d	p_u	p_m	p_d	u	d	p_u	p_m	p_d
1	1,5101	0,6622	0,1981	0,6631	0,1387	1,4775	0,6768	0,2042	0,6617	0,1340
2	1,6367	0,6110	0,1795	0,6660	0,1545	1,5893	0,6292	0,1857	0,6653	0,1490
3	1,7099	0,5848	0,1712	0,6666	0,1622	1,6546	0,6044	0,1773	0,6662	0,1564
4	1,7843	0,5604	0,1640	0,6666	0,1693	1,7240	0,5800	0,1698	0,6666	0,1636
5	1,8600	0,5376	0,1577	0,6663	0,1760	1,7946	0,5572	0,1631	0,6666	0,1703
6	1,9727	0,5069	0,1495	0,6654	0,1851	1,8975	0,5270	0,1548	0,6661	0,1791
7	2,0982	0,4766	0,1419	0,6639	0,1942	2,0113	0,4972	0,1471	0,6650	0,1880
8	2,2416	0,4461	0,1345	0,6619	0,2036	2,1402	0,4672	0,1396	0,6634	0,1970
9	2,4101	0,4149	0,1271	0,6592	0,2137	2,2903	0,4366	0,1322	0,6611	0,2066
10	2,6141	0,3825	0,1196	0,6556	0,2248	2,4701	0,4048	0,1248	0,6581	0,2171
11	2,8761	0,3477	0,1116	0,6508	0,2377	2,6972	0,3708	0,1169	0,6541	0,2290
12	3,2273	0,3099	0,1028	0,6441	0,2531	2,9973	0,3336	0,1083	0,6485	0,2432
13	3,7201	0,2688	0,0933	0,6347	0,2720	3,4110	0,2932	0,0990	0,6406	0,2604
14	4,4538	0,2245	0,0827	0,6210	0,2963	4,0122	0,2492	0,0886	0,6292	0,2822
15	5,6308	0,1776	0,0711	0,6004	0,3286	4,9479	0,2021	0,0772	0,6122	0,3107

Risk seven yatırımcılı trinomial sezgisel reel opsiyon modelinde yıllara göre sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.10: Risk seven yatırımcılı trinomial model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.

Yıl	Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri	Sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değer
1	(-58.165: 365.385: 801.944: 1.252.501; -469.595: 365.385: 801.944: 1.718.151)	(-3.382.438: -1.373.226: 695.567: 2.828.767; -5.336.058: -1.373.226: 695.567: 5.031.099)
2	(-11.629: 565.901: 1.128.756: 1.696.432; -593.411: 565.901: 1.128.756: 2.266.109)	(-2.852.034: -873.170: 1.055.345: 2.998.529; -4.846.481: -873.170: 1.055.345: 4.976.256)
3	(175.976: 940.589: 1.690.309: 2.452.956; -608.478: 940.589: 1.690.309: 3.230.239)	(-2.449.752: -148.204: 2.107.320: 4.397.856; -4.811.779: -148.204: 2.107.320: 6.728.438)
4	(362.955: 1.267.601: 2.172.239: 3.087.188; -581.453: 1.267.601: 2.172.239: 4.014.600)	(-2.107.116: 447.550: 2.994.674: 5.565.431; -4.767.990: 447.550: 2.994.674: 8.165.809)
5	(522.006: 1.553.612: 2.591.033: 3.634.598; -556.657: 1.553.612: 2.591.033: 4.695.366)	(-1.848.868: 944.835: 3.741.892: 6.548.293; -4.761.556: 944.835: 3.741.892: 9.379.751)
6	(596.067: 1.757.323: 2.917.541: 4.078.415; -613.680: 1.757.323: 2.917.541: 5.243.484)	(-1.886.308: 1.152.938: 4.176.922: 7.193.052; -5.051.284: 1.152.938: 4.176.922: 10.210.693)
7	(639.428: 1.925.931: 3.201.022: 4.470.007; -696.089: 1.925.931: 3.201.022: 5.737.503)	(-1.976.243: 1.295.535: 4.526.751: 7.730.175; -5.382.626: 1.295.535: 4.526.751: 10.917.849)
8	(651.218: 2.059.011: 3.442.895: 4.812.583; -808.578: 2.059.011: 3.442.895: 6.174.104)	(-2.119.333: 1.373.592: 4.796.411: 8.168.621; -5.763.455: 1.373.592: 4.796.411: 11.505.757)
9	(629.898: 2.155.981: 3.643.905: 5.108.115; -955.314: 2.155.981: 3.643.905: 6.556.451)	(-2.318.170: 1.387.732: 4.989.907: 8.515.563; -6.201.492: 1.387.732: 4.989.907: 11.984.671)
10	(573.152: 2.215.897: 3.804.654: 5.358.597; -1.141.443: 2.215.897: 3.804.654: 6.887.850)	(-2.576.190: 1.338.038: 5.110.773: 8.777.687; -6.705.457: 1.338.038: 5.110.773: 12.364.288)
11	(462.622: 2.206.417: 3.879.138: 5.504.645; -1.375.991: 2.206.417: 3.879.138: 7.095.739)	(-2.955.874: 1.127.119: 5.027.923: 8.791.281; -7.311.956: 1.127.119: 5.027.923: 12.449.106)
12	(310.590: 2.164.642: 3.928.775: 5.631.023; -1.670.171: 2.164.642: 3.928.775: 7.287.527)	(-3.399.949: 866.617: 4.905.368: 8.770.582; -8.012.567: 866.617: 4.905.368: 12.501.987)
13	(105.054: 2.094.428: 3.971.864: 5.769.400; -2.054.663: 2.094.428: 3.971.864: 7.507.475)	(-3.921.896: 560.214: 4.762.160: 8.748.708; -8.841.571: 560.214: 4.762.160: -12.569.209)
14	(-179.164: 2.028.164: 4.093.443: 6.053.898; -2.623.071: 2.028.164: 4.093.443: 7.936.152)	(-4.548.494: 240.035: 4.683.982: 8.861.084; -9.898.911: 240.035: 4.683.982: 12.833.165)
15	(-652.023: 2.123.947: 4.696.731: 7.115.754; -3.791.609: 2.123.947: 4.696.731: 9.420.105)	(-5.391.436: 63.814: 5.074.591: 9.740.111; -11.602.254: 63.814: 5.074.591: 14.142.049)

Riskten kaçan yatırımcılı trinomial sezgisel reel opsiyon modelinde yıllara göre sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.11: Riskten kaçan yatırımcılı trinomial model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.

Yıl	Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri	Sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değer
1	(-190.976: 243.034: 690.291: 1.151.797; -612.648: 243.034: 690.291: 1.628.668)	(-3.515.249: -1.495.576: 584.013: 2.728.063; -5.479.111: -1.495.576: 584.013: 4.941.617)
2	(-190.889: 392.079: 960.228: 1.533.126; -778.212: 392.079: 960.228: 2.105.245)	(-3.031.294: -1.046.993: 886.817: 2.835.223; -5.031.282: -1.046.993: 886.817: 4.815.392)
3	(-50.827: 717.126: 1.470.030: 2.235.619; -838.766: 717.126: 1.470.030: 3.015.603)	(-2.676.555: -371.666: 1.887.041: 4.180.520; -5.042.067: -371.666: 188.7041: 6.513.802)
4	(102.010: 1.009.527: 1.913.878: 2.828.092; -839.707: 1.009.527: 1.913.878: 3.754.312)	(-2.368.062: 189.476: 2.736.313: 5.306.335; -5.026.244: 189.476: 2.736.313: 7.905.521)
5	(235.563: 1.268.701: 2.301.612: 3.340.021; -833.831: 1.268.701: 2.301.612: 4.394.473)	(-2.135.310: 659.924: 3.452.472: 6.253.717; -5.038.731: 659.924: 3.452.472: 9.078.858)
6	(288.222: 1.446.141: 2.594.893: 3.743.475; -903.529: 1.446.141: 2.594.893: 4.895.403)	(-2.194.153: 841.756: 3.854.275: 6.858.113; -5.341.133: 841.756: 3.854.275: 9.862.613)
7	(318.412: 1.595.339: 2.851.433: 4.100.475; -990.454: 1.595.339: 2.851.433: 5.347.041)	(-2.297.259: 964.943: 4.177.162: 7.360.644; -5.676.991: 964.943: 4.177.162: 10.527.388)
8	(325.449: 1.716.452: 3.073.461: 4.415.290; -1.099.071: 1.716.452: 3.073.461: 5.747.899)	(-2.445.101: 1.031.033: 4.426.977: 7.771.328; -6.053.948: 1.031.033: 4.426.977: 11.079.552)
9	(308.273: 1.809.665: 3.262.626: 4.690.956; -1.232.916: 1.809.665: 3.262.626: 6.102.386)	(-2.639.795: 1.041.416: 4.608.628: 8.098.403; -6.479.094: 1.041.416: 4.608.628: 11.530.606)
10	(265.292: 1.874.750: 3.420.174: 4.930.078; -1.396.099: 1.874.750: 3.420.174: 6.414.414)	(-2.884.051: 996.892: 4.726.294: 8.349.168; -6.960.113: 996.892: 4.726.294: 11.890.852)
11	(178.473: 1.879.319: 3.499.631: 5.072.453; -1.596.294: 1.879.319: 3.499.631: 6.610.317)	(-3.240.023: 800.022: 4.648.416: 8.359.089; -7.532.260: 800.022: 4.648.416: 11.963.684)
12	(62.897: 1.859.565: 3.558.137: 5.195.375; -1.838.222: 1.859.565: 3.558.137: 6.786.970)	(-3.647.642: 561.540: 4.534.731: 8.334.934; -8.180.618: 561.540: 4.534.731: 12.001.430)
13	(-91.610: 1.809.875: 3.594.103: 5.300.798; -2.138.286: 1.809.875: 3.594.103: 6.949.542)	(-4.118.559: 275.661: 4.384.400: 8.280.106; -8.925.194: 275.661: 4.384.400: 12.011.276)
14	(-301.436: 1.727.134: 3.616.181: 5.408.068; -2.531.263: 1.727.134: 3.616.181: 7.127.286)	(-4.670.766: -60.995: 4.206.721: 8.215.253; -9.807.103: -60.995: 4.206.721: 12.024.299)
15	(-602.793: 1.626.287: 3.685.200: 5.620.239; -3.110.349: 1.626.287: 3.685.200: 7.462.783)	(-5.342.206: -433.846: 4.063.060: 8.244.596; -10.920.994: -433.846: 4.063.060: 12.184.726)

Tarihsel volatiliteli trinomial sezgisel reel opsiyon modelinde yıllara göre sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.12: Tarihsel volatiliteli yatırımcılı trinomial model için sezgisel bulanık reel opsiyon değerleri ve sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.

Yıl	Sezgisel bulanık reel opsiyon değeri	Sezgisel bulanık genişletilmiş net bugünkü değer
1	(481.260: 911.834: 1.355.990: 1.814.757; 63.335: 911.834: 1.355.990: 2.289.277)	(-2.843.014: -826.776: 1.249.713: 3.391.023; -4.803.128: -826.776: 1.249.713: 5.602.225)
2	(459.959: 1.055.823: 1.636.557: 2.222.576; -140.121: 1.055.823: 1.636.557: 2.816.454)	(-2.380.446: -383.248: 1.563.146: 3.524.673; -4.393.192: -383.248: 1.563.146: 5.526.601)
3	(639.481: 1.425.334: 2.196.064: 2.980.680; -166.648: 1.425.334: 2.196.064: 3.780.957)	(-1.986.247: 336.541: 2.613.075: 4.925.580; -4.369.949: 336.541: 2.613.075: 7.279.156)
4	(763.807: 1.684.946: 2.610.815: 3.547.907; -206.348: 1.684.946: 2.610.815: 4.498.432)	(-1.706.264: 864.895: 3.433.249: 6.026.150; -4.392.885: 864.895: 3.433.249: 8.649.641)
5	(832.792: 1.876.794: 2.933.065: 3.996.250; -270.299: 1.876.794: 2.933.065: 5.078.010)	(-1.538.081: 1.268.016: 4.083.925: 6.909.945; -4.475.198: 1.268.016: 4.083.925: 9.762.395)
6	(755.723: 1.924.345: 3.096.045: 4.268.826; -469.056: 1.924.345: 3.096.045: 5.446.255)	(-1.726.652: 1.319.960: 4.355.427: 7.383.463; -4.906.661: 1.319.960: 4.355.427: 10.413.464)
7	(640.798: 1.927.376: 3.202.582: 4.471.686; -694.868: 1.927.376: 3.202.582: 5.739.304)	(-1.974.873: 1.296.980: 4.528.311: 7.731.854; -5.381.404: 1.296.980: 4.528.311: 10.919.650)
8	(494.156: 1.891.638: 3.260.425: 4.614.568; -946.404: 1.891.638: 3.260.425: 5.960.053)	(-2.276.394: 1.206.220: 4.613.941: 7.970.606; -5.901.281: 1.206.220: 4.613.941: 11.291.706)
9	(319.415: 1.821.340: 3.275.202: 4.704.471; -1.222.973: 1.821.340: 3.275.202: 6.116.880)	(-2.628.653: 1.053.091: 4.621.204: 8.111.918; -6.469.151: 1.053.091: 4.621.204: 11.545.099)
10	(119.026: 1.719.964: 3.251.780: 4.747.574; -1.524.589: 1.719.964: 3.251.780: 6.217.261)	(-3.030.317: 842.105: 4.557.900: 8.166.664; -7.088.603: 842.105: 4.557.900: 11.693.699)
11	(-125.403: 1.554.483: 3.142.635: 4.682.283; -1.858.218: 1.554.483: 3.142.635: 6.185.857)	(-3.543.899: 475.186: 4.291.420: 7.968.919; -7.794.183: 475.186: 4.291.420: 11.539.224)
12	(-392.421: 1.366.318: 3.008.998: 4.588.994; -2.220.344: 1.366.318: 3.008.998: 6.121.777)	(-4.102.959: 68.292: 3.985.591: 7.728.553; -8.562.741: 68.292: 3.985.591: 11.336.237)
13	(-681.370: 1.157.429: 2.853.874: 4.471.610; -2.612.264: 1.157.429: 2.853.874: 6.029.745)	(-4.708.319: -376.786: 3.644.171: 7.450.918; -9.399.172: -376.786: 3.644.171: 11.091.479)
14	(-992.035: 929.361: 2.679.804: 4.333.497; -3.037.852: 929.361: 2.679.804: 5.913.873)	(-5.361.365: -858.769: 3.270.343: 7.140.682; -10.313.693: -858.769: 3.270.343: 10.810.885)
15	(-1.324.568: 683.304: 2.488.931: 4.177.569; -3.497.058: 683.304: 2.488.931: 5.777.750)	(-6.063.981: -1.376.828: 2.866.791: 6.801.926; -11.307.704: -1.376.828: 2.866.791: 10.499.693)

Carlsson ve Fuller'e çevrilen trinomial sezgisel reel opsiyon modelinde yıllara göre bulanık reel opsiyon değerleri ve bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler gösterilmiştir:

Çizelge D.13: Carlsson ve Fuller'e çevrilen trinomial model için bulanık reel opsiyon değerleri ve bulanık genişletilmiş net bugünkü değerler.

Yıl	Bulanık reel opsiyon değeri	Bulanık genişletilmiş net bugünkü değer
1	(-375.064: 206.877: 658.788: 1.283.901)	(-4.218.129: -1.531.733: 552.510: 3.432.902)
2	(-447.714: 335.596: 907.432: 1.679.396)	(-3.757.738: -1.103.476: 834.020: 3.447.146)
3	(-390.434: 642.911: 1.399.444: 2.428.175)	(-3.537.424: -445.882: 1.816.455: 4.887.954)
4	(-299.504: 926.330: 1.833.426: 3.058.494)	(-3.334.152: 106.279: 2.655.861: 6.092.428)
5	(-217.550: 1.179.239: 2.213.741: 3.601.910)	(-3.191.554: 570.462: 3.364.601: 7.104.903)
6	(-215.047: 1.348.697: 2.497.023: 4.028.197)	(-3.340.336: 744.312: 3.756.405: 7.760.584)
7	(-230.489: 1.491.306: 2.744.737: 4.405.483)	(-3.526.640: 860.910: 4.070.466: 8.307.198)
8	(-265.635: 1.607.210: 2.959.136: 4.738.799)	(-3.752.880: 921.791: 4.312.652: 8.756.228)
9	(-322.201: 1.696.791: 3.142.080: 5.031.882)	(-4.022.626: 928.541: 4.488.082: 9.117.246)
10	(-402.193: 1.760.148: 3.295.135: 5.288.102)	(-4.339.770: 882.289: 4.601.254: 9.398.885)
11	(-519.953: 1.764.499: 3.371.352: 5.442.190)	(-4.756.715: 685.202: 4.520.137: 9.425.274)
12	(-664.824: 1.747.775: 3.429.225: 5.578.917)	(-5.226.734: 449.750: 4.405.819: 9.419.409)
13	(-846.913: 1.704.387: 3.465.978: 5.698.686)	(-5.761.996: 170.173: 4.256.274: 9.383.339)
14	(-1.083.812: 1.628.007: 3.482.073: 5.809.891)	(-6.382.811: -160.123: 4.072.612: 9.326.947)
15	(-1.411.835: 1.519.054: 3.501.930: 5.965.753)	(-7.127.293: -541.079: 3.879.790: 9.304.787)



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Hüseyin Yiğit Ersen
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.01.1988 – Şarköy/Tekirdağ
E-posta : ersenh@itu.edu.tr, huseyinyigitersen@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi , İşletme Fakültesi, İşletme Mühendisliği Bölümü.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Prof. Dr. Oktay TAŞ, **Hüseyin Yiğit Ersen**, Fuzzy Real Option Valuation in a Solar Energy Investment Project, The 4th International Fuzzy Systems Symposium, 6 Kasım 2015.
- **Ersen, H. Y.**, Taş, O., Trinomial Kafes Yaklaşımı Kullanarak Bulanık Reel Opsiyon Değerlemesi ve Gayrimenkul Yatırımı Uygulaması, İstanbul Finans Kongresi – 2-3 Kasım 2017.
- **Ersen, H. Y.**, Taş, O. (2017). Trinomial Kafes Yaklaşımı Kullanarak Bulanık Reel Opsiyon Değerlemesi ve Gayrimenkul Yatırımı Uygulaması, *Press Academia Procedia*, 6 (1), 19-23.
- **Ersen, H. Y.**, Tas, O., Kahraman, C. (2018). Intuitionistic Fuzzy Real Options And its Application to Solar Energy Investment Project, *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 29 (2), 140-150.

