İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ YATIRIMLARINDAKİ DEVLET TEŞVİKLERİNİN GERÇEK OPSİYONLAR İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuba KILAVUZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ YATIRIMLARINDAKİ DEVLET TEŞVİKLERİNİN GERÇEK OPSİYONLAR İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuba KILAVUZ
(507101119)

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç.Dr. Sezi ÇEVİK ONAR

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507101119 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Tuba KILAVUZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ YATIRIMLARINDAKİ DEVLET TEŞVİKLERİNİN GERÇEK OPSİYONLAR İLE DEĞERLENDİRİLMESİ "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Sezi ÇEVİK ONAR** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

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

Yrd. Doç. Dr. Çağrı TOLGA .....
Galatasaray Üniversitesi

Teslim Tarihi : **17 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **25 Ocak 2013**

Hayatta en değerli varlığım olan aileme,

ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretmenin öneminin günden güne arttığı şu dönemde, enerji piyasası gibi içerisinde birçok belirsizlik bulunduran bir yapıda yatırım yapmanın yatırımcıya getirdiği zorluklar elbetteki yadsınamaz. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ise, son zamanlarda ülkemizde piyasası devlet teşvikleriyle de genişleyen bir piyasaya sahip olmuştur. Geleneksel değerleme yöntemlerinin gerçekçi sonuçlar vermede yetersiz kaldığı bu gibi değişken ortamlarda, yatırımcıya esnek kararlar verme, projeleri doğru değerleme, piyasanın getirdiği riskleri kompanse eden opsiyonları belirleme oldukça önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasıyla, önemi artan bir trendle devam eden rüzgar enerjisi yatırımlarının içerdiği belirsizlik ve riskler ele alınmış ve böyle bir yatırımı yapabilme özgürlüğünün yatırımcıya sağladığı değerler irdelenmiştir. Bu çalışmanın ilgilenen herkes için faydalı olmasını umut ederim.

Bu tez çalışmasında her aşamada beni bilgi ve deneyimleriyle yönlendiren, sabır ve anlayışla karşılaştığım problemleri çözmemde bana yardımcı olan, destekleyen ve yüreklendiren değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Sezi Çevik Onar'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan değerli aileme, özellikle bana her zaman rahat bir çalışma ortamı sunmak için gayret gösteren ve tezimde bana her aşamada yardımcı olan değerli eşim Kenan Kılavuz'a, desteğiyle yanımda olan sevgili kız kardeşlerim Sevde Nur ve Hale Nur Güngördü'ye ve sevgili dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ocak 2013

Tuba Kılavuz
Endüstri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **xiii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Dünya Genelinde ve Türkiye Özelinde Enerji Sektöründe Yaşananlar 4
1.2 Dünya Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinde Rüzgâr Enerjisinin Durumu 8
1.3 Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Durumu ve Geleceği 15
1.3.1 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Santralleri Hakkındaki Sorunlar 20
1.4 Çalışmanın Amacı 21
1.5 Literatür Taraması 21
2. RÜZGAR ENERJİSİ HAKKINDA BAZI TEMEL VE TEKNİK BİLGİLER **31**
2.1 Rüzgar ve Enerji 31
2.2 Rüzgar Potansiyelinin Belirlenmesi 31
2.3 Weibull Dağılım Fonksiyonu 34
2.4 Weibull Ters Dönüşüm Fonksiyonu 35
2.5 Rüzgar Enerjisini Etkileyen Faktörler 36
2.5.1 Yükseklik 36
2.5.2 Pürüzlülük 36
2.5.3 Türbülans 37
2.5.4 Rüzgar Engelleri 37
2.5.5 İz etkisi 38
2.5.6 Tepe etkisi 39
2.5.7 Tünel etkisi 40
3. RÜZGÂR ENERJİSİ YATIRIMCILARINI İLGİLENDİREN YASAL MEVZUATLAR **41**
3.1 İlgili Kanun ve Yönetmelikler 41
3.1.1 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu 43
3.1.2 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun 43
3.1.3 Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği 43
3.1.4 Rüzgâr Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik 43
3.1.5 Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik 44
3.1.6 Elektrik Enerjisi Üretimine Yönelik Jeotermal Kaynak Alanlarının Kullanımına Dair Yönetmelik 44
3.1.7 Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği Ve Kalitesi Yönetmeliği 44

3.1.8 Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi Verilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik 44
3.2 RES Projelerinin Lisanslandırılması Süreci 45
3.3 RES Projelerine Yönelik Teşvik Mekanizmaları 46
3.3.1 Dünya Bankası Kredileri 48
3.4 Ülkemizde Serbest Elektrik Enerjisi Piyasası İşlem Süreci 49
3.4.1 Dengeleme sistemi 50
3.4.2 Dengeleme faaliyetlerinin uzlaştırılması 51
3.5 Ülkemizdeki Yasal Durum Hakkında Genel Değerlendirme 55
4. GERÇEK OPSİYONLAR 57
4.1 Belirsizlik, Risk ve Esneklik Kavramları 57
4.2 Opsiyon Kavramı 58
4.2.1 Opsiyon işlemlerinde kullanılan temel kavramlar 59
4.2.2 Opsiyon türleri 59
4.3 Gerçek Opsiyonun Tanımı 63
4.4 Geleneksel Yatırım Değerleme Yöntemleri 66
4.4.1 İndirgenmiş nakit akışı yöntemi 67
4.4.2 İç verim oranı yöntemi 67
4.4.3 Geri ödeme süresi yöntemi 67
4.4.4 Geleneksel değerleme metotları ile gerçek opsiyon yönteminin kıyaslanması 68
4.5 Gerçek Opsiyon Türleri 70
4.5.1 Erteleme opsiyonu 71
4.5.2 Kademeli yatırım opsiyonu 71
4.5.3 Mevcut kapasiteyi değiştirme opsiyonu 72
4.5.4 Vazgeçme opsiyonu 73
4.5.5 Kullanımı değiştirme opsiyonu 73
4.5.6 Büyüme opsiyonu 73
4.5.7 Birleşik opsiyonlar 74
4.6 Enerji Yatırımlarında Belirsizlik, Risk ve Gerçek Opsiyon Uygulamaları Üzerine 74
4.7 Gerçek Opsiyon Uygulama Yöntemleri 79
4.7.1 Black-Scholes Yöntemi 79
4.7.2 Binom Modeli Yöntemi 83
4.7.3 Monte Carlo Simülasyonu 88
5. RÜZGAR ENERJİSİ YATIRIMLARINDA DEVLET TEŞVİKLERİNİN OPSİYON MANTIĞIYLA MODELLENMESİ 91
5.1 Modelin Oluşturulması İçin İhtiyaç Duyulan Veriler 91
5.2 Modelin Temel Kurgusu 91
5.3 2 MW'lık Rüzgar Türbininden Elde Edilen Enerjinin Bulunması 92
5.4 Gelecek Yıllara Ait Fiyatların Simüle Edilmesi 98
5.5 Türbinden Elde Edilen Gelirin Bulunması 100
5.6 Türbin Kurulum Maliyeti ve Sürekli Giderlerin Belirlenmesi 106
5.7 Devletin Rüzgar Türbini Yatırımcılarına Sağladığı Teşvikleri Kullanma Opsiyonunun Sağladığı Değerin Bulunması 112
5.8 Duyarlılık Analizi 119
5.8.1 Sabit %3,17 Risksiz-%10-25 Arasında Değişen Riskli Faiz Oranları 119
5.8.2 %1- %10 Arasında Değişen Risksiz-%15 Sabit Riskli Faiz Oranları 123
5.8.3 %5 -%10 Arasında Değişen Risksiz-%15-%25 Riskli Arasında Değişen Riskli Faiz Oranları 127

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 131
KAYNAKLAR 135
ÖZGEÇMİŞ 141

KISALTMALAR

İVO : İç Verim Oranı
İNA : İndirgenmiş Nakit Akışı
kW : Kilowat
kWh : Kilowat Saat
MW : Megawatt
MWh : Megawatt Saat
MYTM : Milli Yük Tevzi Merkezi
NCSS : Number Cruncher Statistical System(İstatistiksel Yazılım Programı)
NBD : Net Bugünkü Değer
PMUM : Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
r : Risk Adjusted Faiz Oranı
rf : Risksiz Faiz Oranı
SMF : Sistem Marjinal Fiyat

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Avrupa'da 2009 Sonu İtibarı ile Kurulu Rüzgar Gücü. 8
Çizelge 1.2 : AB ile erişim Halindeki Diğer Bazı Ülkelerde Rüzgar Enerjisini Durumu. 11
Çizelge 1.3 : Dünya Ülkelerinde Rüzgar Enerjisi Gelişim Durumları. 11
Çizelge 1.4 : Dünyanın En Büyük Rüzgar Enerjisi Pazar Payına Sahip İlk 10 Ülkesindeki Kurulu Güçler. 13
Çizelge 1.5 : Dünyanın Rüzgar Enerjisi Yatırımlarında En Hızlı Büyüyen İlk 10 Ülkesindeki Durum. 13
Çizelge 1.6 : Avrupa Ülkelerinin Teknik Rüzgar Enerjisi Potansiyelleri. 16
Çizelge 1.7 : Türkiye'nin Farklı Bölgelerinde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli. 16
Çizelge 1.8 : Türkiye İyi – Sıradışı Arası Rüzgar Kaynağı. 17
Çizelge 1.9 : Gerçek opsiyon teorisinin uygulandığı enerji alanındaki makaleler 27
Çizelge 1.10 : Gerçek opsiyon teorisinin uygulandığı yenilenebilir enerji alanındaki makaleler 28

Çizelge 2.1 : Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisi. 34

Çizelge 4.1 : Opsiyon yükümlülükleri 62
Çizelge 4.2 : Amerikan tipi bir opsiyonda alıcının ve satıcının olası işlemleri 63
Çizelge 4.3 : Opsiyon değerine etkisi olan faktörler 63
Çizelge 4.4 : Finansal opsiyonlar ile gerçek opsiyonların karşılaştırılması. 64
Çizelge 4.5 : Enerji Üretimindeki Belirsizlikler. 75
Çizelge 4.6 : Gerçek opsiyonların genel ve rüzgar enerjisindeki tanımı. 77

Çizelge 5.1 : Vestas V80'in teknik özellikleri. 94
Çizelge 5.2 : Aylar bazında hesaplanan mevsimsellik katsayıları. 95
Çizelge 5.3 : Rüzgar hızlarından aylık üretilen enerjinin kWh cinsinden bulunması. 97
Çizelge 5.4 : Aylık üretilen enerjiden teşvikli ve teşviksiz fiyatlarla elde edilen gelirin hesaplanması. 107
Çizelge 5.5 : 2 MW'lık bir türbinin kurulumu sırasında oluşabilecek harcamaların oransal dağılım. 108
Çizelge 5.6 : Türbin Kurulum Maliyetleri. 109
Çizelge 5.7 : 2MW'lık bir türbinin lisans maliyetleri. 110
Çizelge 5.8 : Yerli üretim türbin ile elektrik üretme teşviği kullanılarak elde edilen gelir, gider ve opsiyon değerleri simülasyon sonuçları. 115
Çizelge 5.9 : İthal türbin ile elektrik üretme teşviği kullanılarak elde edilen gelir, gider ve opsiyon değerleri simülasyon sonuçları. 116
Çizelge 5.10 : Rüzgar türbini kullanarak elektrik üretmenin sürekli giderler açısından kazandırdığı opsiyon değerleri simülasyon sonuçları 117
Çizelge 5.11 : Teşvikli lisans bedellerinin dağılımı histogramı 118

Çizelge 5.12 : Teşvikli kira bedellerinin dağılımı histogramı 118
Çizelge 5.13 : Müşavirlik masrafları bedellerinin dağılımı histogramı..... 118
Çizelge 5.14 : Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında elde edilebilecek ortalama gelirler. 119
Çizelge 5.15 : Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında tüm nakit akışlarının NBD'si 120
Çizelge 5.16 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında elde edilebilecek ortalama gelirler. 120
Çizelge 5.17 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında tüm nakit akışlarının NBD'si 121
Çizelge 5.18 : Farklı riskli faiz oranlarında teşviksiz elde edilebilecek ortalama gelirler. 121
Çizelge 5.19 : Farklı riskli faiz oranlarında teşviksiz tüm nakit akışlarının NBD'si 122
Çizelge 5.20 : Yerli yatırım türbin teşviği kullanıldığında Farklı faiz oranlarında elde edilen opsiyon değeri. 122
Çizelge 5.21 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı faiz oranlarında elde edilen opsiyon değeri. 123
Çizelge 5.22 : Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında elde edilebilecek ortalama gelirler. 124
Çizelge 5.23 : Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında tüm nakit akışlarının NBD'si 124
Çizelge 5.24 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında elde edilebilecek ortalama gelirler. 125
Çizelge 5.25 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında tüm nakit akışlarının NBD'si..... 125
Çizelge 5.26 : Yerli üretim türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında elde edilen opsiyon değeri..... 126
Çizelge 5.27 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında elde edilen opsiyon değeri. 126
Çizelge 5.28 : Farklı riskli/risksiz faiz oranlarında ithal türbin teşviğiyle yatırım NBD'leri ve opsiyon değerleri simülasyon sonuçları. 129

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 3E İlişkisi. 2
Şekil 1.2 : Dünya Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı. 5
Şekil 1.3 : Dünya Üzerindeki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Güç Üretiminde Payları. 5
Şekil 1.4 : Türkiye'de Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi - Mevcut Durum..... 6
Şekil 1.5 : Türkiye'de Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi - 2023 Projeksiyonu. 6
Şekil 1.6 : Avrupa Birliği Ülkelerinin 2000 – 2010 Yılları Arası Net Elektrik Üretim Kaynakları. 9
Şekil 1.7 : Avrupa'da MW Cinsinden Yıllık Rüzgar Enerjisi Kurulumları 10
Şekil 1.8 : 2010 Yılı Sonu İtibariyle AB Rüzgar Enerjisi Dağılımı. 10
Şekil 1.9 : 1996 - 2011 Yılları Global Ölçekte Rüzgar Kurulumları..... 14
Şekil 1.10 : 1996 - 2010 Yılları Global Ölçekte Yıllık Ortalama Rüzgar Enerjisi Kurulumu. 14
Şekil 1.11 : 2003 – 2011 Yılları Rüzgar Enerjisi Kurulumlarının Kıtalara Göre Dağılımı. 15
Şekil 1.12 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücünün Yıllara Göre Artışı. 17
Şekil 1.13 : 30 m Yükseklikte Rüzgar Hızı Haritası. 18
Şekil 1.14 : 50 m Yükseklikte Rüzgar Hızı Haritası. 18
Şekil 1.15 : 70 m Yükseklikte Rüzgar Hızı Haritası. 19
Şekil 1.16 : 100 m Yükseklikte Rüzgar Hızı Haritası. 19
Şekil 1.17 : 50 m Yükseklikte Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası..... 19
Şekil 1.18 : 100 m Yükseklikte Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası..... 20

Şekil 2.1 : Rotor Etkinliği/Hız grafiği. 32
Şekil 2.2 : Türbinin güç/hız grafiği. 33
Şekil 2.3 : Rüzgar hızının yükseklikle değişimi. 36
Şekil 2.4 : Düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçiş ve rüzgar profilindeki değişim. 37
Şekil 2.5 : Doğal engellerin gösterimi. 38
Şekil 2.6 : İz etkisi ve türbin arkasında oluşan hız eğrileri. 39
Şekil 2.7 : Tepe etkisi. 40
Şekil 2.8 : Tünel etkisi. 40

TÜRKİYE'DE RÜZGÂR ENERJİSİ YATIRIMLARINDAKİ BELİRSİZLİKLERİN GERÇEK OPSİYONLAR İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Sürekli değişen ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artan enerji ihtiyacı insanlığın en büyük problemlerinden biri haline gelmiştir. Geçmişten günümüze yoğun olarak kullanılan fosil enerji kaynaklarının sebep olduğu sera gazlarının zaman geçtikçe dünya doğasına ve atmosferine verdiği zararlardan ötürü Dünya ülkeleri temiz, sağlıklı, sürdürülebilir enerji kaynakları olarak nitelendirilen yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru hızlı bir yönelişe geçmek durumunda kalmştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yerini alan rüzgar enerjisi ise Dünya'da yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişime sahip olan ve en fazla yatırım yapılan enerji türüdür.

Enerji yatırımları ise, petrol ve elektrik fiyatlarının yön verdiği rekabetçi piyasanın barındırdığı belirsizlikler sebebiyle oldukça riskli bir yapıya sahiptir. Proje ve yatırım değerlemeleri, gerek kamu gerekse özel sektör için hayati önem arzetmekte olup, özellikle de enerji yatırımları gibi büyük yatırımlarımların olmazsa olmaz yol haritası elemanlarından biridir. Yatırım değerlemelerinin Net Bugünkü Değer (NBD), İç Verim Oranı (IVO) gibi geleneksel yöntemlerle yapılması, yatırımların yönetimsel esnekliği, belirsizlik ve risk kavramlarının göz ardı edilmesine neden olmakta ve gerçek dünyayı yansıtmayan deterministik bir kısım sonuçlar vermektedir. Ancak gerçek dünyada gerçekleşen olaylar; değişken, stokastik bir yapıya sahip olup bir takım riskler içermektedir. Bu nedenle, yatırımların bu tür riskleri de hesaba katarak stokastik bir yapıyla ele alınması yatırımların daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlayacak ve daha sağlıklı yatırım karalarının alınmasını sağlayacaktır.

Gerçek opsiyonlar yöntemi ise, belirli bir zaman dilimi içerisinde bir projeyi firmanın stratejik kararları doğrultusunda en geniş anlamda şekillendirme olanağını tanımaktadır. Bu yöntem iyi tanımlanmış projelerin doğru şekilde değerlemesini sağlarken, aynı zamanda organizasyonel sürecin bir parçası olarak stratejik opsiyonların saptanması ve uygulanması amacıyla yönetsel bir araç olarak kullanılmaktadır.

Gerçek opsiyonlar temelini finansal opsiyon teorisinden aldığından, bu konuyu iredelerken de karşımıza finansal opsiyonlarda olduğu gibi, opsiyon alıcısına ve satıcısına yüklenen bir takım sorumluluklara göre alma hakkı ve satma hakkı opsiyonları çıkmaktadır.

Tam da bu noktada, devletin rüzgar enerjisi ile elektrik üretmek isteyen yatırımcılara sağladığı alım garantileri yatırımcılar için birer satma hakkı opsiyonu teşkil etmektedir.

Rüzgâr enerjisinden enerji üretmek isteyen bir yatırımcının göz önünde bulundurması gereken iki türlü stokastik değişken bulunmaktadır. Bunlardan ilki, elektrik fiyatları, ikincisi ise türbinin kurulacağı konumdaki rüzgar hızlarıdır. Elektrik fiyatları, petrol fiyatlarına, politik değişimlere, iklim etkilerine vb. değişkenlere bağlı olarak sürekli bir belirsizlik içerisinde gerçekleşmekte iken, aynı şekilde rüzgâr hızları da iklimsel değişikliklerle sürekli bir değişim göstermektedir. Bütün bu belirsizlikler altında yatırım yapak isteyen bir yatırımcı için, en uygun değerleme yöntemi ise, gelecekte yatırımcının karşısına çıkabilecek bütün opsiyonları ortaya koyup, bu opsiyonlarla bu çeşit bir riskli yatırımın risklerini kompanse etmesine yardımcı olacak gerçek opsiyon yöntemidir.

Çalışmada, bütün bu bilgiler ışığında bir rüzgar enerjisi yatırımı gerçek opsiyon yöntemiyle irdelenmiş ve 2MW'lık bir türbin yatırımı üzerinde yasal mevzuatlar, lisans bedelleri ve devletin devletin yenilenebilir enerji yatırımcılarına sağladığı teşvikler gibi bir çok konuyu kapsayacak şekilde ele alınarak modellenmiştir.

Geleneksel yöntemlerle yapılacak olan projenin net bugünkü değeri negatif sonuçlar ile yatırımcıyı bu yatırım kararından vazgeçmesi yönünde yönlendirirken, devletin sağladığı alım garantisi teşviği ile bir satma hakkı opsiyonu kullanıldığında nakit akışlarının pozitif değerlere ulaştığı, yani yatırımın yapılabilir olduğu hatta oldukça yüksek kazanımlar barındırdığı ispatlanmıştır. Ayrıca bu teşviğe sahip olmanın opsiyon değerinin ise oldukça yüksek değerlerde seyrettiği ortaya konmuştur.

Bununla birlikte yapılan duyarlılık analizleri ile farlı riskli ve risksiz faiz oranlarının, teşvik kullanılması durumunda elde edilen gelirler, tüm nakit akışlarının net bugünkü değeri ve opsiyon değeri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

THE EVALUATION OF UNCERTAINITIES IN TURKEY'S WIND ENERGY INVESTMENTS WITH REAL OPTION METHOD

SUMMARY

Energy requirement that has increased according to constant change and development in technological world is one of the most important problem of humanity. Due to the damages of greenhouse gases that are resulted from intensive usage of fossil energy sources from past to present, the world nations have to turn to renewable energy sources that are thought to be clean, healthy and sustainable.

The wind power that is among the renewable energy sources has developed rapidly and people invest in it a lot. Energy investments are under a risky situation due to the uncertainties of competitive markets that have been shaped by petrol and electricity prices.

Project and investment valuation are of vital importance both for public sector and private sector. As the investment valuation is done with traditional ways as if "net present value" or "internal rate of return", administrative flexibilities, uncertainties and risky situations of investments are ignored. But the real world events have variable and stochastic quality and include some risky situations. Thus, investment decisions will be better if the investments are evaluated regarding these risky situations.

The real optional method enables to shape the project in accordance with firm's strategic decisions in a limited time. This method provides to evaluate the projects in a correct way, and besides, it is used as an administrative tool to determine and apply strategic options. So, the alternatives and risky situations that can occur in the future is examined deeply.

A person who wants to produce energy from wind power should consider two changeable stochastic factors. The first one is electricity prices and the second one is the location's wind power. When electricity prices has changed with petrol prices, political changes, climatic influences, etc.. also wind speed has changed with climatic changes continuously. The best valuation method for an investor who wants to make an investment under all these indefinite situations is to reveal all options and the real optional method that will help him to compensate the risky investment ways.

In the light of these information, in this study firstly the traditional methods and anventages and disadventages of these methods were presented. After all, real option method was investigated, examine deeply with its all aspects and applied to the wind turbine investment.

To realize that aim, three different kinds of information was required and model had to built on these three datas. The first one, is wind datas on the planned area to study on, the second one is retrospective unit electricity prices and third one is installation cost of turbine and the continuous costs that will spent over the years.

Using wind datas on the planned area to study on, retrospective unit electricity prices and installation cost of turbine with the continuous costs that will spent over the years the model dynamics built on the 5 main stage. Each step includes several steps in it to cover the stage requirements.

The first stage is to gather wind datas with anemometers placed on the 50 meter hight or converting the wind datas which are represents 10 m. height datas that were received from the Turkish State Meteorological Service to 50 m heigt wind datas. After gathering the useful wind datas somewhere which is trustable, these datas are simulated to generate the possible wind speeds in the future to use in the wind energy formula. Although there is an equation to convert the wind datas at known height to intended height, authorities does not suggest using this formula in case of using the data at very low levels, since lots of factors may be effect the wind energy, so, the results will not bu trustable at intended level.

The second stage is the stage that is used to simulate the future electricity prices. These kinds of estimations are done by classical estimation methods such as time series analysis or Monte Carlo Simulation technique. At that stage, the retrospective recorded unit electricity prices had received from the Turkish Electiricity Transmission Company's web site and these datas had simulated according to the assumption of the electricity prices follow geometric brownian motion as mentioned in the literature. By that way, volatility and drift parameters had calculated initially. Then by using volatility and drift parameter estimated future electricity prices had been simulated. After that simulation, obtained datas had been compared with the incentive prices to determine wheather if the incentive option will be used or not. According to that decision, these data had been organized once again.

At the third stage, some interviews had been arranged with authorized people from the wind turbine companies and investigated the international reports and papers published by the authorities in literature to determine the installation and continuos costs of mentioned 2 MW turbine. The results obtained had batched and simulated according to uniform distribution and installation cost and continuous costs had calculated separately for each simulation that would be made.

At fourth stage, by subtracting net present value of cash flows without incentives from net present value of the cash flows with incentives the option value that is created by the government incentives was calculated.

At the last stage, sensitivity analysis was made to investigate the effects of various risky and riskless interest rates on the income with incentives, total net present value and option value.

As a result, determining the option value of having government incentives that would compensate the risks and uncertainities that has significant effects on the energy investments by using real option method was aimed.

In the light of legal regulations, licence and installation costs had simulated. Under continuously changing market conditions, value of having an incentives and value of generating electricity with wind power had calculated and examined thoroughly.

In this study, with 3,17% risk-free and 13,12% risk-adjusted interest rate, and with 200 simulation, the option value for an investor who uses the government's incentives for a wind energy investment with domestic production turbine parts is founded as 4.104.927,5$ as a result of 200 simulation.

Besides, with 200 simulation, it is also founded that, with same risk-free and risk-adjusted interest rates, the option value for an investor who uses the government's incentives for a wind energy investment with imported turbine parts is founded as 2.640.836,9$.

Moreover, the option value of the incentives from the point of average continuous expenses was foundes as 902.185,9$

On the other hand, different kinds of sensitivity analysis were established to determine the effects of large range of interest rates on the total net present value of whole cash flows, incomes and option values.

It was demonstrated that, at constant 3,17% risk-free interest rate, value of the total net present value of whole cash flows and incomes of wind energy investment in the case of investor uses the incentives (both incentives for domestic production turbine parts and for imported turbine parts) follows decreasing trend while risk-adjusted interest rate change between 10%-25% whereas the option value of having these incentives shows tendancy to scale up.

However, it was also proved that while risk-free interest rate was changed between 1%-10% and risk-adjusted rate keep constant at the rate of 15%, incomes, total net present value of cash flows and option value of both having incentives for domestic production turbine parts and for imported turbine parts follows decreasing trend.

Also, both risk-free and risk adjusted interest rate were increased proportionallay to 3,17% risk-free and 13,12% risk-adjusted interest rate, average option value of having incentives was calculated as 4.330.016,7$.

In the case of the investor does not take the adventage of using government's incentives for wind energy investments, the net present value of the investments ends with negative values which directs the enterpriser not to execute this enterprise. On the other hand, government's incentives brings many adventages in terms of investment value and present value of net cash flows turns to positive. This study reveals that, government's incentives contain significantly high option values.

Since the history of wind energy investment is not very old in Turkey, some kind of controlled test may be applied on the mentioned methodologies with at least 20 years old turbines which is the economic life span of a turbine mentioned in literature. Moreover, executing thousand simulation will be increase the preciseness of the results.

By using the datas obtained as a result of this study, the option value of have a claim on producing electrical energy with wind turbine, the value of the option to growth with new turbine installations, optimum investment time, the minimum trigger price of electricity that makes investment attractive may be calculated. By realizing these studies, researchers will be provide significant contributions to the literature.

Day by day, both the importance of renewable energy and the application of real option analysis is increasing rapidly. Because the the risky and uncertain nature of energy investment, these two issues will be gain more importance, within the next decates.

In the next studies, real option analysis may be applied on solar energy systems, hydroelectric power plants, geothermal energy, biomass to investigate the effects of incentives related fith that fields to illuminate new entrepreneurs' road.

1. GİRİŞ

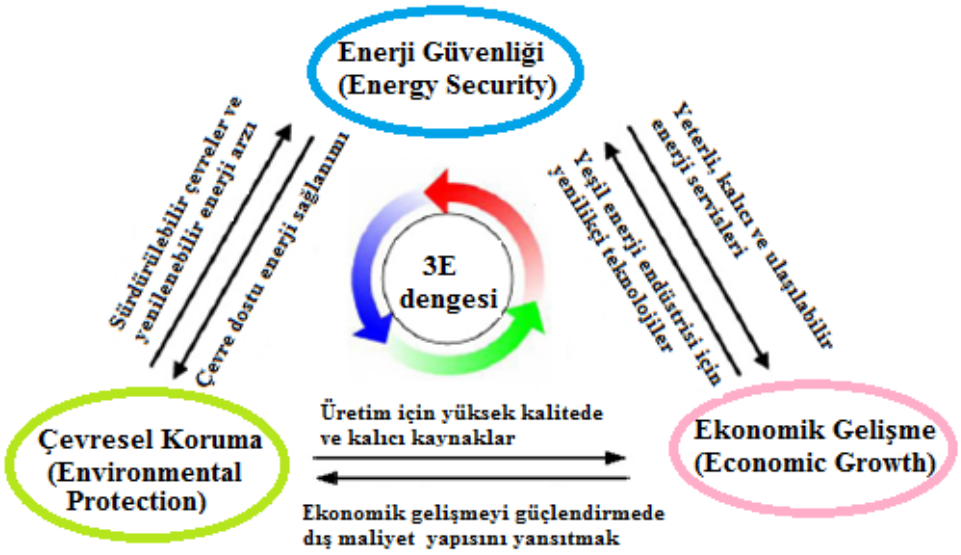
Günümüzde dünya çapında gerçekleşen hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme olguları ile küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları gibi gelişmeler doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek arttırmaktadır (Yıldız, 2011). Bu durum insanlığın en büyük problemlerinden biri haline gelmiştir. Diğer yandan kullanılan fosil kaynaklar, dünya üzerinde küresel ısınmaya neden olmakta ve bunun oluşturduğu sera etkisi alışılmadık iklimsel değişikliklere neden olmaktadır. Enerji kaynaklarının meydana getirdiği çevresel kirlilik de doğaya ve dolaylı olarak insan sağlığına zarar vermeye başlamıştır (Kjaerland, 2007).

Enerji sektörüne ilişkin tartışma gündemlerinin temelini enerji güvenliği sorunları ve bunun neden ve sonuçları oluşturmaktadır. Sürekli artan enerji fiyatları, dünya çapında üzerinde önemle durulmaya başlanan iklim değişikliği konusunda duyarlılık, dünya enerji talebindeki artışa rağmen sürekli azalmakta olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte de devam edecek olması ülkelerin enerji güvenliği konusundaki kaygılarını her geçen gün daha da artırmaktadır. (Yıldız, 2011)

Bütün bu nedenlerden dolayı dünya ülkeleri temiz, sağlıklı, sürdürülebilir enerji kaynakları olarak nitelendirilen yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru hızlı bir yönelişe geçmek durumunda kalmştır. Yenilenebilir enerji kaynakları kalıcı, çevre dostu ve temizdir ve çevreyi korumada büyük rol oynar. Aynı zamanda, ülkelerin ekonomik kalkınmalarına da büyük katkı sağlar. Literatürde 3E olarak geçen Enerji Güvenliği, Ekonomik Gelişme, Çevre Koruması döngüsü Şekil 1.1'de şematize edilmiştir (Lee, 2011).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yerini alan rüzgâr enerjisi ise Dünya'da yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişime sahip olan ve en fazla yatırım yapılan enerji türüdür (Akdağ, 2010). Enerji alanındaki yatırım projeleri geniş çaplı ve oldukça maliyetli projelerdir. Enerji yatırımları petrol ve elektrik fiyatlarının yön verdiği rekabetçi piyasanın barındırdığı belirsizlikler sebebiyle oldukça riskli bir yapıya sahiptir (Venetsanos, 2002). Artan belirsizlikler projelerin uygulanması kararlarından başlayarak planlamadaki bütün aşamaları etkilemektedir.

Tam da bu noktada, devletilerin yatırımcılara sağladığı teşvikler, yenilenebilir enerji yatırımlarının kalkındırılmasında önemli rol oynamaktadır. Devletin yatırımcılara sağladığı alım garantileri, kurulum ve ilk yıllardaki yükümlülüklerin hafifletilmesi şeklinde gerçekleşen desteklerle hem yatırımcıların önü açılmakta hemde yeni canlanmakta ve birçok belirsizlikler içermekte olan böyle bir piyasadaki belirsizliklerden büyük ölçüde korunmalarını sağlanmaktadır. Böylelikle devlet, hem yatırımcıların yatırım yapmalarını sağlamakta hemde ürettiklerini onlardan satın almaktadır. Böylece bir "enerji paradoksu" gerçekleşmektedir.



Şekil 1.1 : 3E İlişkisi.

Proje ve yatırım değerlemeleri, gerek kamu gerekse özel sektör için hayati önem arzetmekte olup, özellikle de enerji yatırımları gibi büyük yatırımların olmazsa olmaz yol haritası elemanlarından biridir.

Yatırım değerlemelerinin Net Bugünkü Değer (NBD), İç Verim Oranı (IVO) gibi geleneksel yöntemlerle yapılması, yatırımların yönetimsel esnekliği, belirsizlik ve risk kavramlarının göz ardı edilmesine neden olmakta ve gerçekçi olmayan deterministik bir kısım sonuçlar vermektedir (Lee,2011).

Ancak gerçekte olaylar; değişken bir yapıya sahip olup bir takım riskler içermektedir. Bu nedenle, yatırımların bu tür riskleri de hesaba katarak stokastik bir yapıyla değerlenmesi, yatırımların daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini ve daha doğru yatırım karalarının alınmasını sağlayacaktır. (Özoğul, 2006). Gerçek opsiyonlar yöntemi, yatırımcılara stratejik kararları doğrultusunda belirli bir zaman dilimi içerisinde bir projeyi en geniş anlamda şekillendirme olanağını tanımaktadır.

Ayrıca, tipolojisi bilinen iyi tanımlanmış projelerin değerlemesinde organizasyonel sürecin bir parçası olarak stratejik opsiyonların saptanması ve uygulanması amacıyla analitik ve yönetsel bir araç olarak kullanılmaktadır. Böylelikle yatırımın gelecekte ortaya çıkarabileceği seçenekler ve riskler ele alınarak irdelenme imkânı sağlamaktadır.

Bu bağlamda, yapılan bu tez çalışmasında, ilk olarak Dünya'da ve Türkiye'de enerji sektöründeki gelişmeler, ardından Dünya'da yenilenebilir enerjinin durumu ve ülkemizde yenilenebilir enerjinin durumu ele alınmış ve bunların önemi üzerinde durulmuştur. Geniş bir literatür taraması ile enerji sektöründe ve yenilenebilir enerji yatırımlarında yapılan gerçek opsiyon çalışmaları özetlenmiştir.

Daha sonra, tezin uygulama kısmında girdi teşkil edecek olan rüzgar verilerinin analizinde ihtiyaç duyulacak, rüzgar enerjisine dair teknik verilerden müteşekkil bir anlatıma yer verilmiştir.

Bundan sonraki bölümü ise, enerji yatırımlarında, elektrik alım-satım işlemlerinde uygulamaları yönlendiren yürülükteki kanun, yönetmelik ve mevzuatın anlatımı teşkil etmektedir. Devletin yenilenebilir enerji yatırımları için yatırımcılara sağladığı teşviklere de bu bölümde değinilmiştir.

Sonraki bölümde ise, çalışmanın ana konusu olan gerçek opsiyonlar konusuna giriş yapılarak, konunun ana dayanak noktası olan belirsizlik, risk ve esneklik kavramları açığa kavuşturulmuş, gerçek opsiyonlar kısmının baz aldığı finansal opsiyonlar konusu genel hatlarıyla irdelenmiş, daha sonra geleneksel yatırım yöntemleri ele alınarak bunların avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuş ve bu yöntemler gerçek opsiyon yöntemiyle kıyaslanmıştır. Daha sonra gerçek opsiyon türleri sınıflandırılarak tanıtılmış, enerji yatırımlarındaki belirsizlik, risk ve gerçek opsiyon uygulamaları üzerinde tartışılarak, gerçek opsiyon uygulama yöntemleri irdelenmiştir.

Uygulama bölümünde 2 MW'lık bir rüzgar türbininin kurulumu gerçek opsiyonlar yöntemiyle incelenmiş ve bu yatırımın içerdiği opsiyonlar ele alınmış ve değerlendirilmiştir.

Son bölümde çalışmanın sonuçları özetlenmiş ve gelecek çalışmalara ışık tutacak önerilerde bulunulmuştur.

1.1 Dünya Genelinde ve Türkiye Özelinde Enerji Sektöründe Yaşananlar

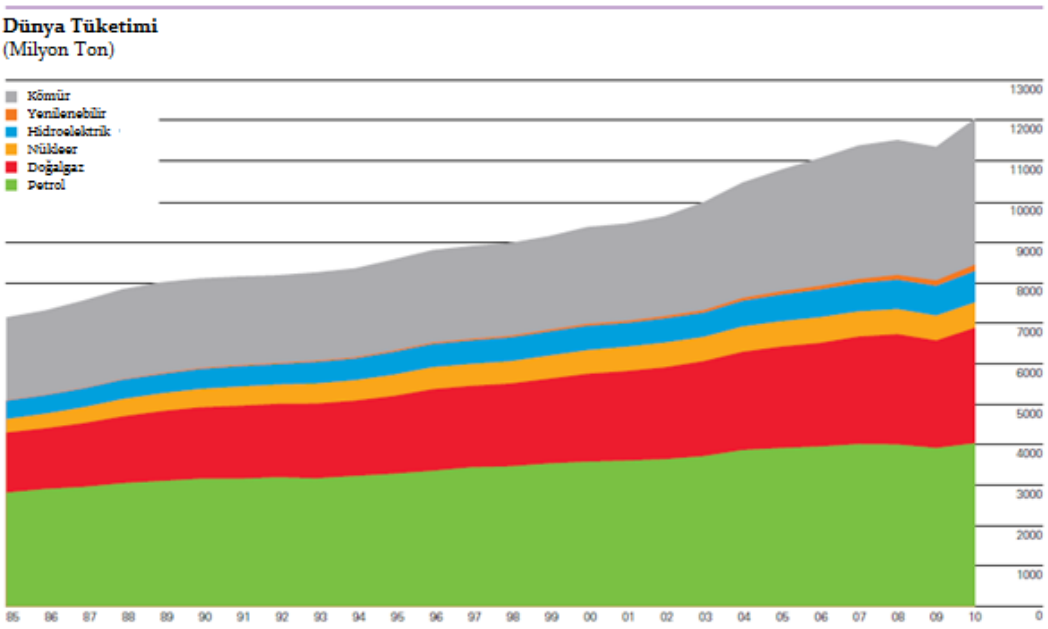
Uluslararası Enerji Ajansı (UEA), mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerin günümüzde gerçekleşen şekilde devam ettiği takdirde, dünya birincil enerji talebinin 2008 - 2035 arasındaki dönemde yüzde 36 oranında artacağını öngörmektedir. "Mevcut Politikalarla Devam Senaryosu" olarak adlandırılan ve yıllık ortalama yüzde 1,2 düzeyinde talep artışına karşılık gelen bu durumda dünya birincil enerji talebi 2008-2035 yılları arasında 12,3 milyar ton petrol eşdeğeri (tep) seviyesinden 16,7 milyar tep seviyesine ulaşacaktır. Bu senaryoya göre, fosil yakıtlar, 2008 ve 2035 arasındaki dönemde birincil enerji talebinde en çok kullanılan enerji kaynakları olmaya devam edecektir (Yıldız, 2011).

Yine aynı dönemde, global talep artışının yaklaşık yüzde 93'lük bölümü OECD üyesi olmayan gelişmekte olan ülkeler gerçekleştirecek ve Çin ve Hindistan ise enerji tüketimindeki paylarını oldukça yüksek miktarda artıracaklardır (Yıldız, 2011).

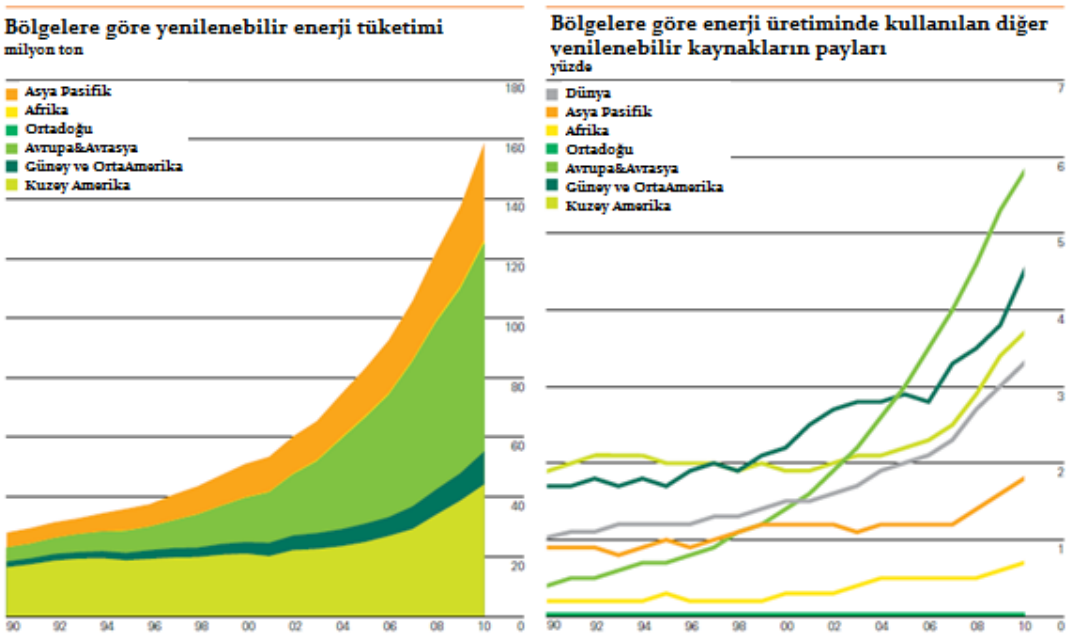
Bahsedilen talep artışının zamanında ve güvenli bir şekilde karşılayabilmek için, 2030 yılına kadar global anlamda enerji sektörü arz altyapısına 26 trilyon dolar tutarında yatırım gerçekleştirilmesinin gereği üzerinde durlmaktadır. Bu tutar içerisinde, elektrik sektörüne üretim, iletim ve dağıtım için 13,7 trilyon dolar ayrılmıştır. (Yıldız, 2011).

2011 yılı enerji ile ilgili şaşırtıcı gelişmelerin yaşandığı bir yıl olarak geride kalmıştır. Bu yılda, dünya enerji tüketimi % 5,6 artmış ve bu oran 1976'dan bu yana en büyük artış oranı olmuştur. Dünya genelindeki petrol tüketimi ise % 3,6 artmıştır. Petrol, diğer fosil yakıtlara oranla tüketimdeki artış payı en az olan enerji kaynağı olmuştur. Öte yandan, dünya genelindeki doğalgaz tüketimi % 7,4 artmıştır. Bu oran 1984'ten bu yana en büyük artış oranıdır. 2011 yılında dünya enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı % 1,8'dir. Dünya enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.2'de gösterilmiştir (Url-4).

Benzer şekilde dünya üzerindeki enerji kıtlığı, küresel ısınma, iklim değişiklikleri, kullanılan kaynakların gittikçe azalması ve pahalılaşmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep de gittikçe artmaktadır. Dünya üzerindeki bölgelere göre yenilenebilir enerji kaynaklarının güç üretimindeki payları Şekil 1.3'de gösterilmiştir (Url-4).

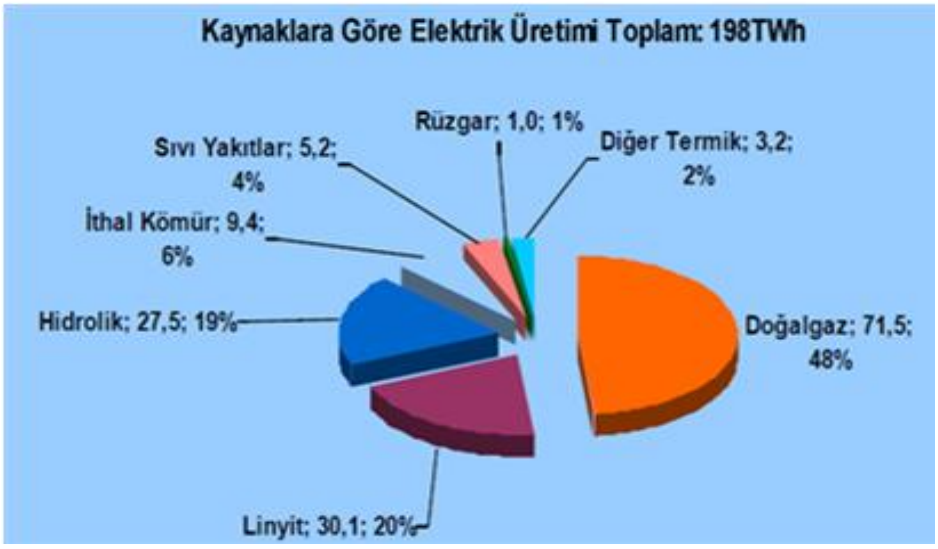


Şekil 1.2 : Dünya Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.

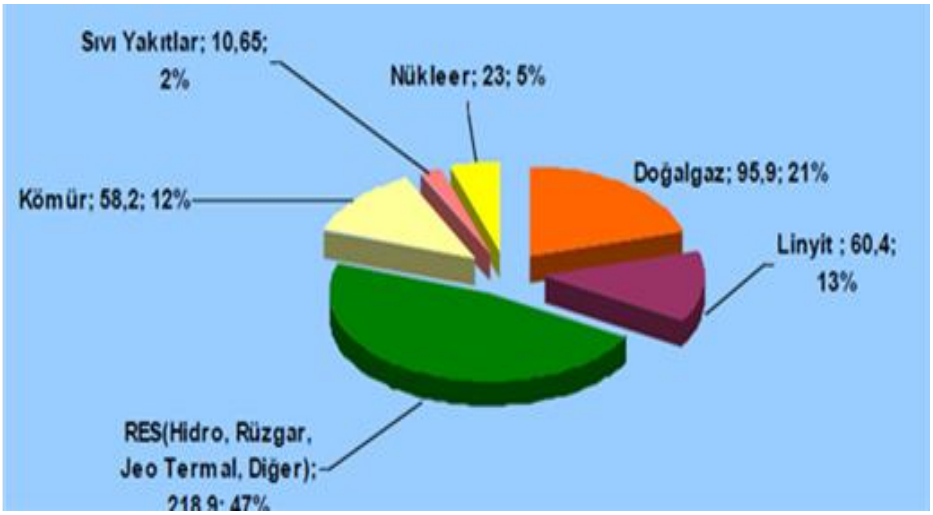


Şekil 1.3 : Dünya Üzerindeki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Güç Üretiminde Payları.

Türkiye, dünya üzerinde hızla büyüyen ülkeler arasında Çin'den sonra ikinci sırayı almaktadır (Url-1). Ülkedeki refah seviyesi arttıkça enerji talebi de artmaktadır ve zaman geçtikçe daha da artacaktır. Türkiye geneli kaynaklara göre elektrik üretiminin mevcut durumu ve 2023 yılındaki hedefleri Şekil 1.4 ve Şekil 1.5'de verilmiştir (Url-4).



Şekil 1.4 : Türkiye'de Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi - Mevcut Durum.



Şekil 1.5 : Türkiye'de Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi - 2023 Projeksiyonu.

BP'nin 2011 yılında yayınladığı "Statistical Review Report" isimli bu istatistik çalışmasında Türkiye mevcut doğalgaz tüketiminin 2023 yılına kadar % 48'den % 21'lere düşeceğini ve ülkenin % 5 nükleer kullanımına başlayacağını öngörmektedir. Aynı çalışmada rüzgâr, jeotermal ve hidroelektrik kaynaklı üretimin toplam üretimdeki payının % 47 olacağı da ifade edilmektedir.

Türkiye 2023 enerji projeksiyonu hedeflerine ulaşmak için bakanlığın hedefleri arasında yer alan temel politikalar, maliyet, zaman ve miktar yönlerinden enerjinin tüketiciler için erişilebilir olması,s erbest piyasa uygulamaları içinde kamu ve özel kesim imkânlarının harekete geçirilmesi, dışa bağımlılığın azaltılması, enerji alanında ülkemizin bölgesel ve küresel etkinliğinin arttırılması, kaynak, güzergâh ve teknoloji çesitliliğinin sağlanması, yenilenebilir kaynakların azami oranda

kullanılmasının sağlanması, enerji verimliliğinin arttırılması, enerji ve tabii kaynakların üretiminde ve kullanımında çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Yıldız, 2011)

Son dönemlerde gerçekleşen ekonomik gelişme trendindeki artış ve artan refah seviyesinin sonucunda Türkiye'deki enerjiye karşı hızlı bir talep artışı gerçekleşmektedir. Buna paralel olarak, Türkiye, OECD ülkeleri içerisinde geride bırakılan 10 yıllık periyotta enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke konumundadır. Aynı şekilde ülkemiz, dünya çapında 2000 yılından bu yana elektrik ve doğalgazda Çin'den sonra en fazla talep artışına sahip ikinci büyük ekonomi olmuştur (Yıldız, 2011).

Enerji Bakanlığı'nca, yapılan öngörülere göre, bu eğilimin orta vadede de devam edeceği vurgulanmaktadır. Bakanlık verilerine göre, ülkemizde, 2009 yılında birincil enerji arzı 105 milyon tep olarak gerçekleşmekte olup, bunun 30,3 milyon tep'lik kısmı yerli üretimle karşılanmıştır. 2009 yılı sonu itibarıyla ise net ithalat bağımlılığının yüzde 72 olarak gerçekleşirken, doğalgazın yaklaşık yüzde 98'i petrolün ise yaklaşık yüzde 91'i ithal edilmekte olduğu ortaya konmuştur. Bu bağlamda, ülkemizde enerji arzında kaynak, teknoloji ve altyapı bazında çesitlendirmenin arttırılmasına büyük önem verildiği belirtilmektedir. Ülkemizde son yıllarda petrol ve doğalgaz kaynaklarına yönelik olarak yurtiçi ve yurtdışı arama faaliyetleri de bu çerçevede yoğunluk kazanmıştır (Yıldız, 2011)

Son yıllarda, anlık talep edilen en yüksek elektrik enerjisi talebi yani puant talebin 2008 yılında 30.517 MW, 2009 yılında 29.870 MW olarak gerçekleştiği, 2010 yılı için ise 5 Agustos günü 14.30'da 33.392 MW olarak gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, yüksek büyüme oranlarının sonucu olarak yıllık elektrik enerjisi tüketim artışı ortalama yüzde 7-8 seviyelerinde gerçekleşmekte olduğu istatistiksel olarak ortaya konmuştur (Yıldız,2011).

18 Mayıs 2009 tarihinde Yüksek Planlama Kurulu tarafından kabul edilen, Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenligi Strateji Belgesi öngörüleri çerçevesinde 2023 yılına kadar;

- Tüm yerli kömür ve hidrolik potansiyelimizin ekonomimize kazandırılması,
- Rüzgâr kurulu gücümüzün 20.000 MW mertebesine ulaşması,
- Jeotermal kurulu gücümüzün 600 MWe mertebesine ulaşması,

• 2020 yılında elektrik üretimimizin yüzde 5'inin nükleer enerjiden sağlanması planlanmaktadır.

Diğer taraftan, Strateji Belgesi'nde enerji verimliliği projeleri desteklenmiş, santral bakımlarının yapılmasının önemi vurgulanmış, tam rekabetçi piyasa koşullarına geçiş hakkında yönlendirmelerde bulunulmuş, toptan satış piyasasının gelişimi, özelleştirme uygulamaları ve elektrik bağlantıları konularında temel stratejiler ortaya konulmuştur. Bu belgede belirtilen tüm hedefler çerçevesinde, oldukça yüksek bir finansman ihtiyacı ve kamu ve özel sektör kaynaklarının bu konuda daha fazla bilinçlendirilerek sürecin hızlandırılması gerekmektedir (Yıldız,2011).

1.2 Dünya Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinde Rüzgâr Enerjisinin Durumu

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemin ciddi oranda artması, fosil kaynaklar bakımından dışa bağımlı olduğu için özellikle sürdülebilir ağır sanayi hedeflerini korumak isteyen ülkeleri bu sektöre yöneltmiştir. Bu durum son yıllarda rüzgâr enerjisi yatırımlarında da ciddi bir artış trendinin oluşmasında büyük etken olmuştur.

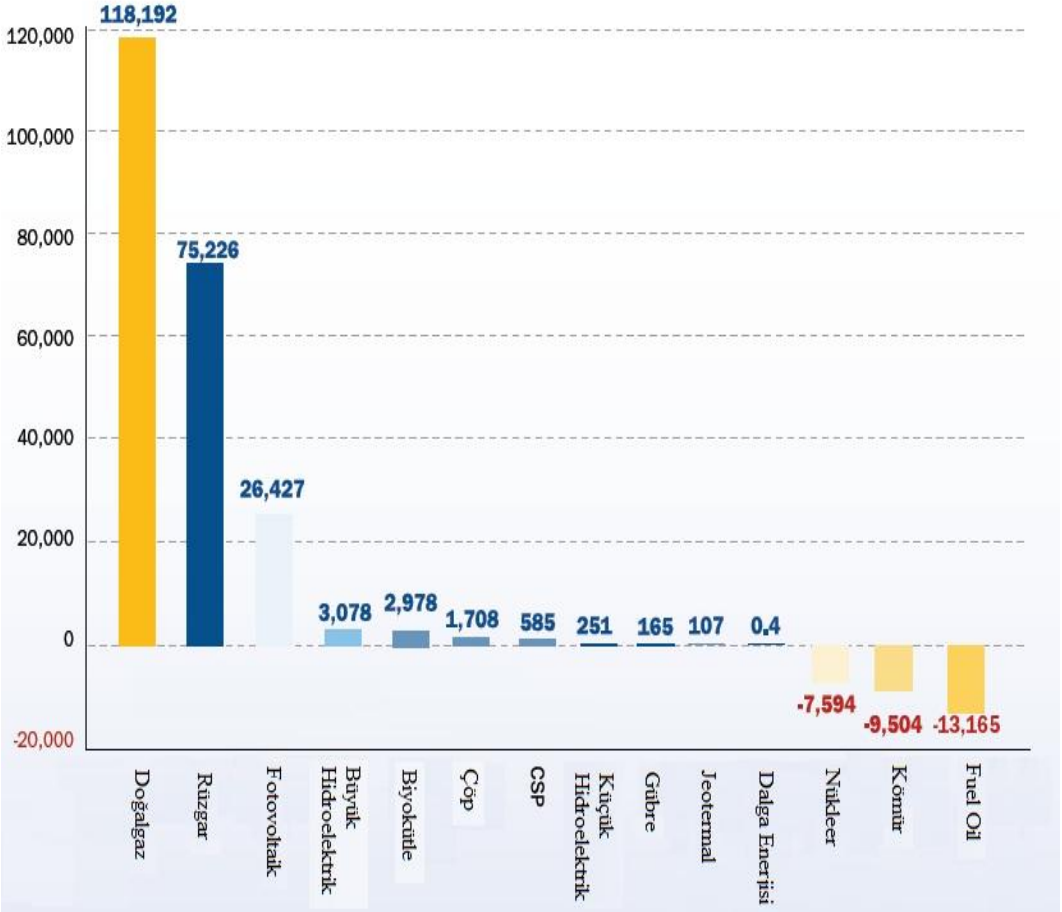
Avrupa'daki bazı ülkelerin rüzgar enerjisi yatırımlarındaki gelişmeler kurulu güçleri üzerinden Çizelge 1.1'de gösterilmektedir (Durak,2010).

Çizelge 1.1 : Avrupa'da 2009 Sonu İtibarı ile Kurulu Rüzgar Gücü.

ÜLKELER	2008 Sonu Kurulu Güç (MW)	2009 Yılı Eklenen Güç (MW)	2009 Sonu Kurulu Güç (MW)
Almanya	23903	1917	25777
İspanya	16689	2459	19149
Danimarka	3163	334	3465
Hollanda	2225	4	2229
İtalya	3736	1114	4850
İngiltere	2974	1077	4051
Avusturya	995	0	995
İsveç	1048	512	1560
Yunanistan	985	102	1087
Portekiz	2862	673	3535
Fransa	3404	1088	4492
İrlanda	1027	233	1260

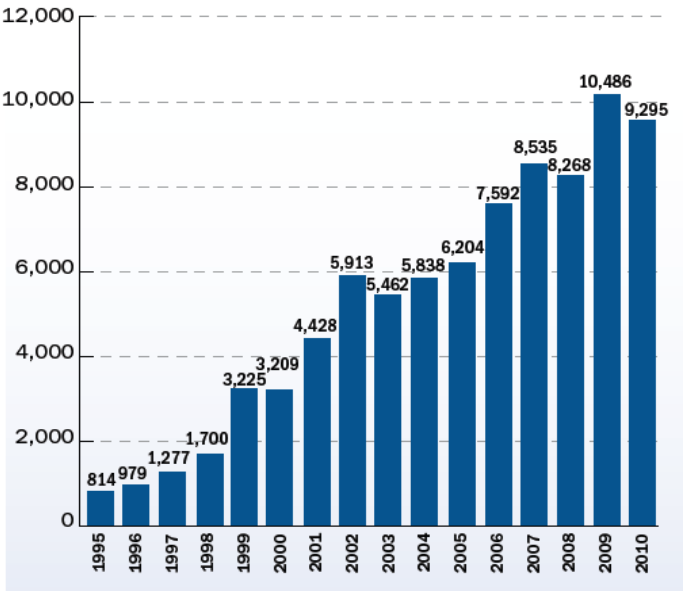
Çizelge 1.1'deki verilere bakıldığında sanayi ve üretim ekonomisine sahip gelişmiş bir ülke olan Almanya'nın büyük ölçüde dışarıdan ithal etmek zorunda olduğu fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmak amacıyla rüzgar enerjisine büyük yatırım yaptığı görülebilmektedir. Kömür, fuel oil ve uranyum gibi kaynaklara dayalı elektrik üretimini azaltma çabasının Avrupa Birliği ülkeleri genelinde de benzer şekilde olduğu söylenebilir.

Şekil 1.6'da Avrupa Birliği ülkelerinin 2000 – 2010 yılları arası net elektrik üretimlerini hangi birincil kaynaktan gerçekleştirdikleri kurulu güçler (MW) üzerinden gösterilmektedir (EWEA, 2011).



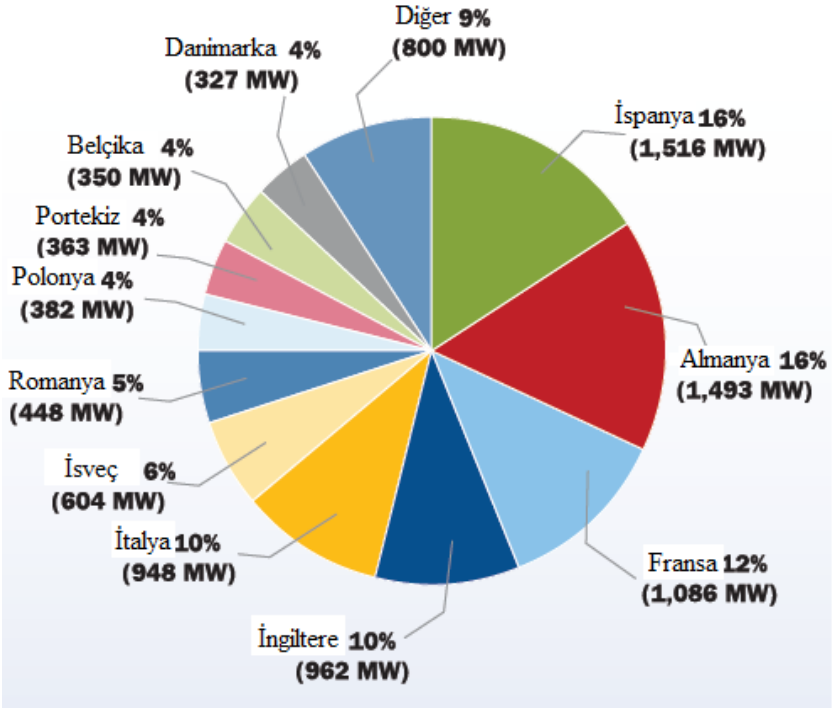
Şekil 1.6 : Avrupa Birliği Ülkelerinin 2000 – 2010 Yılları Arası Net Elektrik Üretim Kaynakları.

Avrupa genelinde etkisini gösteren dönemsel ekonomik krizler nedeniyle zaman zaman rüzgâr enerjisi kurulumlarında bir önceki yıla oranla azalmalar görüldüyse de, 1995 – 2010 yılları arasında rüzgar yatırımlarının düzenli bir artış gösterdiği ve 15 yıllık zaman dilimi boyunca 10 katın üzerinde arttığı Şekil 1.7'de görülebilmektedir (EWEA,2011).



Şekil 1.7 : Avrupa'da MW Cinsinden Yıllık Rüzgar Enerjisi Kurulumları

2010 yılı sonu itibariyle Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin toplam rüzgar enerjisi kurulu gücü 9.295 MW'a ulaşmıştır ve bu gücün üye ülkelere göre dağılımları Şekil 1.8'de gösterilmektedir (EWEA, 2011).



Şekil 1.8 : 2010 Yılı Sonu İtibariyle AB Rüzgar Enerjisi Dağılımı.

AB ile erişim halindeki diğer bazı dünya ülkelerinde rüzgar enerjisinin mevcut gelişimleri Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3'de sunulmaktadır (Durak,2010).

Çizelge 1.2 : AB ile erişim Halindeki Diğer Bazı Ülkelerde Rüzgar Enerjisini Durumu.

ÜLKELER	2008 Sonu Kurulu Güç (MW)	2009 Yılı Eklenen Güç (MW)	2009 Sonu Kurulu Güç (MW)
Hırvatistan	18	10	28
Türkiye	**458**	**345**	**803**
İzlanda	0	0	0
Liechtenstein	0	0	0
Norveç	429	2	431
İsviçre	14	4	18
Faroe Adaları	4	0	4
Ukrayna	90	4	94
Rusya	9	0	9

Çizelge 1.3 : Dünya Ülkelerinde Rüzgar Enerjisi Gelişim Durumları.

ÜLKELER	2010 Sonu Kurulu Güç (MW)	2010 Yılı Eklenen Güç (MW)	2010 Sonu Kurulu Güç (MW)
Kuzey Amerika			
ABD	40,298	6,81	46,919
Kanada	4,008	1,267	5,265
Toplam:	**44,306**	**8,077**	**52,184**
Latin Amerika			
Brezilya	927	583	1,509
Meksika	519	354	873
Şili	172	33	205
Kosta Rika	119	13	132
Karayipler	91	0	91
Arjantin	50	79	130
Honduras	-	102	102
Dominik Cumhuriyeti	0	33	33
Diğer (5 Ülke)	118	10	128
Toplam:	**1,996**	**1,207**	**3,203**
Avrupa			
Almanya	27,191	2,086	29,06
İspanya	20,623	1,05	21,674
Fransa	5,97	830	6,8
İtalya	5,797	950	6,747
İngiltere	5,248	1,293	6,54
Portekiz	3,706	377	4,083
Danimarka	3,749	178	3,871
İsveç	2,163	763	2,97

Çizelge 1.3 (devam) : Dünya Ülkelerinde Rüzgar Enerjisi Gelişim Durumları

ÜLKELER	2010 Sonu Kurulu Güç (MW)	2010 Yılı Eklenen Güç (MW)	2010 Sonu Kurulu Güç (MW)
Avrupa (devam)			
Hollanda	2,269	68	2,328
Türkiye	1,329	470	1,799
İrlanda	1,392	239	1,631
Yunanistan	1,323	311	1,629
Polonya	1,18	436	1,616
Avusturya	1,014	73	1,084
Belçika	886	192	1,078
Diğer Avrupa Ülkeleri	2,807	966	3,708
Toplam:	**971,761**	**5857,429**	**96,618**
Asya Ülkeleri			
Çin	12104	13000	25104
Hindistan	9655	1271	10926
Japonya	1880	178	2058
Tayvan	358	30	388
Güney Kore	236	112	348
Filipinler	33	0	33
Toplam:	**24266**	**14591**	**38857**
Afrika ve Ortadoğu Ülkeleri			
Mısır	365	65	430
Fas	134	119	253
İran	85	6	91
Tunus	20	34	54
Güney Afrika	8	0	8
Diğer	12	5	17
Toplam:	**636**	**229**	**865**

Bu verilere göre dünya rüzgâr enerjisi pazarının % 54,5'ini ABD, Almanya ve Çin olmak üzere yalnızca 3 ülkenin oluşturması dikkat çekici bir husustur. Rüzgar enerjisi pazarında en büyük ilk 10 ülkenin toplam payı % 86,5 'dir. Türkiye, her ne kadar global pazar payı içerisinde küçük bir yere sahip olsa da, Çin'den sonra yıllık % 75'lik kapasite artışı ile dünya çapında rüzgar enerjisi kurulumu ve dolayısıyla bu alandaki yatırım artış hızında ikinci sırada yer almaktadır. Bu durum ülkemiz açısından umut vericidir ve aynı zamanda bu alanda yapılması gereken çalışmaların yatırımcılar açısından taşıdığı önemi vurgulaması bakımından önem taşımaktadır.

Dünya üzerindeki en büyük pazar payı sahibi ülkeler Çizelge 1.4'de ve en yüksek artış hızına sahip ülkeler Çizelge 1.5'de belirtilmiştir (Durak, 2010).

Çizelge 1.4 : Dünyanın En Büyük Rüzgar Enerjisi Pazar Payına Sahip İlk 10 Ülkesindeki Kurulu Güçler.

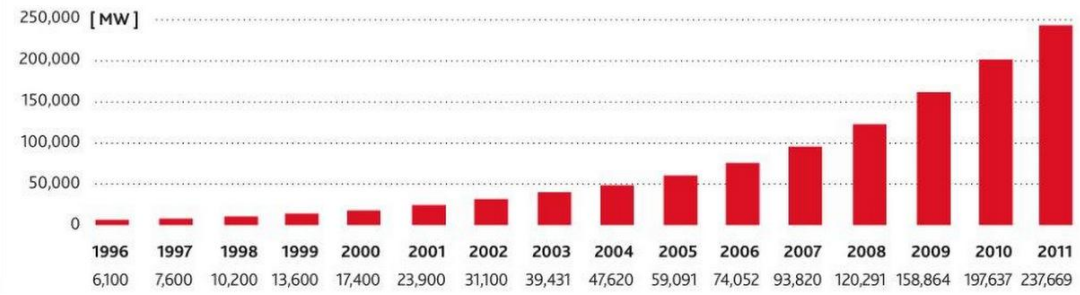
Ülkeler	**Kurulu Güç (MW)**	**Pazar Payı (%)**
ABD	35.159	22,3
Almanya	25.777	16,3
Çin	25.104	15,9
İspanya	19.149	12,1
Hindistan	10.926	6,9
İtalya	4.850	3,1
Fransa	4.492	2,8
İngiltere	4.051	2,6
Portekiz	3.535	2,2
Danimarka	3.465	2,2
Hollanda	1.746	2,3
En Büyük 10 Pazar	**136.508**	**86,5**
Dünyanın Geri Kalanı	**21.391**	**13,5**
Dünya Toplam	**157.899**	

Çizelge 1.5 : Dünyanın Rüzgar Enerjisi Yatırımlarında En Hızlı Büyüyen İlk 10 Ülkesindeki Durum.

Ülkeler	**Kurulu Güç (MW)**	**Artış Yüzdesi (%)**
Çin	13.000	107
Türkiye	**345**	**75**
ABD	9.922	26,5
İspanya	2.459	6,6
Almanya	1.917	5,1
Hindistan	1.271	3,4
İtalya	1.114	3
Fransa	1.088	2,9
İngiltere	1.077	2,9
Kanada	950	2,5
Portekiz	673	1,8
En Büyük 10 Ülke	**33.471**	**89,3**
Dünyanın Geri Kalanı	**3.994**	**10,7**
Dünya Toplam	**37.466**	

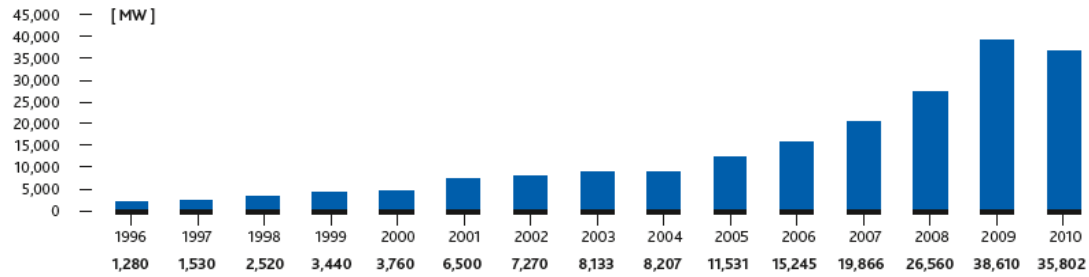
Dünya üzerindeki 2008 yılı sonunda toplam 120.550 MW olan rüzgar enerjisi kurulu gücü 2009 yılı boyunca 37.466 MW artışla 157.899 MW seviyesine ulaşırken 2011

sonunda 41,236MW dolaylarına ulaşmıştır. 1996-2011 yılları global ölçekte rüzgar kurulumları Şekil 1.9'da gösterilmiştir. Global ölçekte kurulu rüzgar kapasitesi kümülatif olarak Şekil 1.9'da görüldüğü şekilde sürekli bir artış trendine sahiptir (GWEC, 2012).



Şekil 1.9 : 1996 - 2011 Yılları Global Ölçekte Rüzgar Kurulumları.

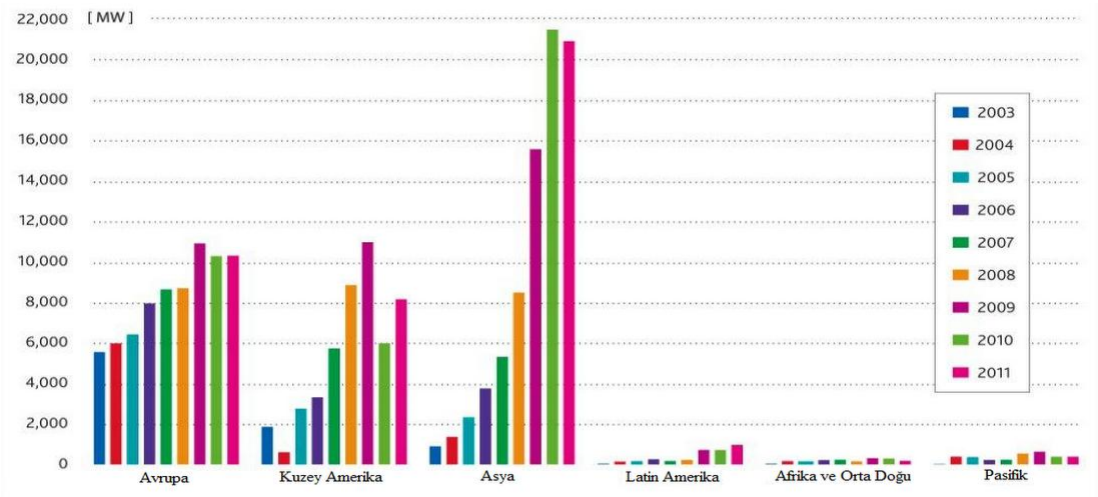
1996 - 2010 Yılları Global Ölçekte Yıllık Ortalama Rüzgar Enerjisi Kurulumu Şekil 1.10'da sunulmuştur. Bu şekilde, 2010 yılı boyunca gerçekleşen rüzgar enerjisi kurulumlarının 2009 yılı ortalamasının altında kaldığı görülmektedir (GWEC, 2011). Bunun nedeni AB ve ABD genelinde etkisi hissedilen ekonomik problemlere bağlanmaktadır ve durağan bir sürecin ardından önümüzdeki yıllarda rüzgar yatırımlarının yeniden hızlı bir artış eğilimine girmesi beklenmektedir.



Şekil 1.10 : 1996 - 2010 Yılları Global Ölçekte Yıllık Ortalama Rüzgar Enerjisi Kurulumu.

Rüzgar enerjisi sektöründeki gelişimin dünya üzerindeki bölgelere göre dağılımına baktığımızda başlangıçta Avrupa genelinde kendisini gösteren yatırımların, Çin'in etkisiyle Asya kıtasının gerisinde kaldığı görülmektedir. Petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklar bakımından zengin Orta Doğu ülkeleri ve ekonomik gelişmişlik düzeyi düşük Afrika ülkelerinde ise rüzgar enerjisi yatırımları yok denecek kadar az seviyededir. 2003 – 2011 yılları arasında MW olarak rüzgar enerjisi kurulumlarının

kıtalara göre dağılımları Şekil 1.11'de görüldüğü gibi gerçekleşmiştir (GWEC, 2011).



Şekil 1.11 : 2003 – 2011 Yılları Rüzgar Enerjisi Kurulumlarının Kıtalara Göre Dağılımı.

1.3 Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Durumu ve Geleceği

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payının arttırılmasına yönelik olarak hem yasal altyapı çalışmalarını hem de sektörü harekete geçirecek kapsamlı çalışmaları hayata geçirmek için yoğun bir çaba göstermektedir. 2005 yılında yürürlüğe giren "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanılmasına İlişkin Kanun" ile özel sektörün yenilenebilir kaynaklarından elektrik enerjisi üretmesi önündeki engeller kaldırılmıştır. Sözkonusu kanunu müteakiben, 3.488,9 MW kurulu gücünde 92 adet yeni rüzgar projesine lisans verilmiştir (Alboyacı ve Dursun, 2008).

2002 yılında neredeyse yok sayılacak düzeyde olan rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2010 yılı Aralık ayı itibariyle 1.265,6 MW seviyelerine erişmiştir. 2010 yılı içinde işletmeye alınan toplam kurulu gücü 3.674,5 MW olan santrallarin 1.324,6 MW'lık kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapan santrallar olup bunların; 474 MW'ı rüzgâr, 816,6 MW'ı hidrolik, 17 MW'ı jeotermal, 17 MW'ı ise çöp gazı ve biyogaz kaynaklı elektrik üretim santrallaridir. Teorik olarak Türkiye yıllık 160 TWh'lik rüzgâr potansiyeline sahiptir ki bu rakam ülkenin şu anki elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık 2 katıdır. Çizelge 1.6'da Avrupa ülkeleri ile kıyaslandığında teknik açıdan en büyük rüzgâr potansiyeline sahip ülkenin Türkiye olduğu görülmektedir (Alboyacı ve Dursun, 2008).

Çizelge 1.6 : Avrupa Ülkelerinin Teknik Rüzgar Enerjisi Potansiyelleri.

Ülkeler	Toplam Yüzölçümü (1000 km2)	Teknik Potansiyel	
		GW	TWh / year
Avusturya	84	2	3
Belçika	31	2	5
Danimarka	43	14	29
Finlandiya	337	4	7
Fransa	547	42	85
Almanya	357	12	24
İngiltere (UK)	244	57	114
Yunanistan	132	22	44
İrlanda	70	22	44
İtalya	301	335	69
Lüksemburg	3	0	0
Norveç	324	38	76
Portekiz	92	7	15
İspanya	505	43	86
Türkiye	**781**	**83**	**166**

Türkiye'nin farklı bölgelerinde rüzgar enerjisi potansiyeli Çizelge 1.7'de sunulmuştur. Çizelge 1.7'ye göre ülke içerisinde en elverişli rüzgar yoğunluğu potansiyeli Marmara bölgesinde yer almaktadır (Alboyacı ve Dursun, 2008).

Literatürde araştırmacılar Türkiye'deki farklı beldelerdeki yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu ve yıllık ortalama rüzgar hızlarını araştırmışlardır. Çizelge 1.8'de Türkiye'nin farklı beldelerinde yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu ve yıllık ortalama rüzgar hızları sunulmuştur.

Çizelge 1.7 : Türkiye'nin Farklı Bölgelerinde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.

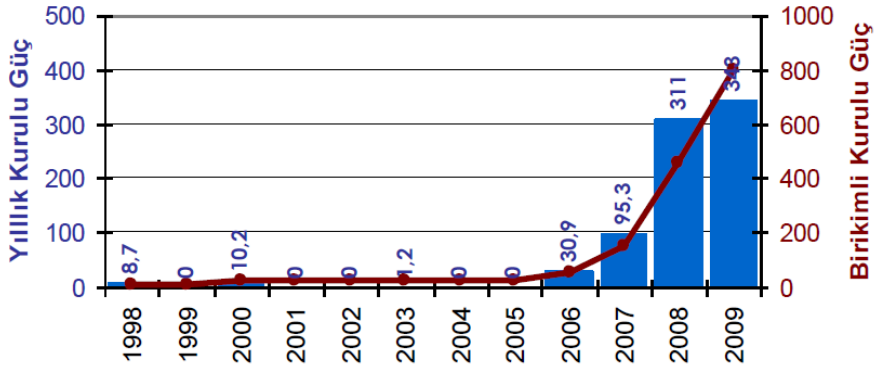
Bölgeler	Yıllık Ortalama Rüzgar Yoğunluğu (W / m2)	Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı (m / s)
Marmara	51,9	3,3
Güneydoğu Anadolu	29,3	2,7
Ege	23,5	2,6
Akdeniz	21,4	2,5
Karadeniz	21,3	2,4
İç Anadolu	20,1	2,5
Doğu Anadolu	24	2,5

Türkiye rüzgâr enerji potansiyeli, belirlenmiş kriterlerin ışığında rüzgâr sınıfı iyi ile sıra dışı arasında 47.849,44 MW olarak belirlenmiştir. Bu araziler Türkiye toplamının % 1,30'una denk gelmektedir. Orta ile sırta dışı arası rüzgâr sınıfına ait rüzgârlı arazilere bakıldığında ise 131.756,40 MW'lık rüzgar enerjisi potansiyeli bulunduğu ve toplam rüzgarlı arazinin alanının ise Türkiye'nin % 3,57'si olduğu görülmüştür. Türkiyede iyi-sıradışı arası rüzgar kaynakları Çizelge 1.8'de sunulmuştur (Malkoç, 2007).

Çizelge 1.8 : Türkiye İyi – Sıradışı Arası Rüzgar Kaynağı.

Rüzgar Kaynak Derecesi	Rüzgar Sınıfı	50 m'de Rüzgar Gücü Yoğ. (W/m2)	50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km2)	Rüzgarlı Arazi Yüzdesi (%)	Toplam Kurulu Güç (MW)
Orta	3	300 - 400	6.5 - 7.0	16.781,39	2,27	83.906,00
İyi	4	400 - 500	7.0 - 7.5	5.851,87	0,79	29.259,36
Harika	5	500 - 600	7.5 - 8.0	2.598,86	0,35	12.994,32
Mükemmel	6	600 - 800	8.0 - 9.0	1.079,98	0,15	5.399,92
Sıradışı	7	> 800	> 9.0	39,17	0,01	195,84
Toplam				**26.351,28**	**3,57**	**131.756,40**

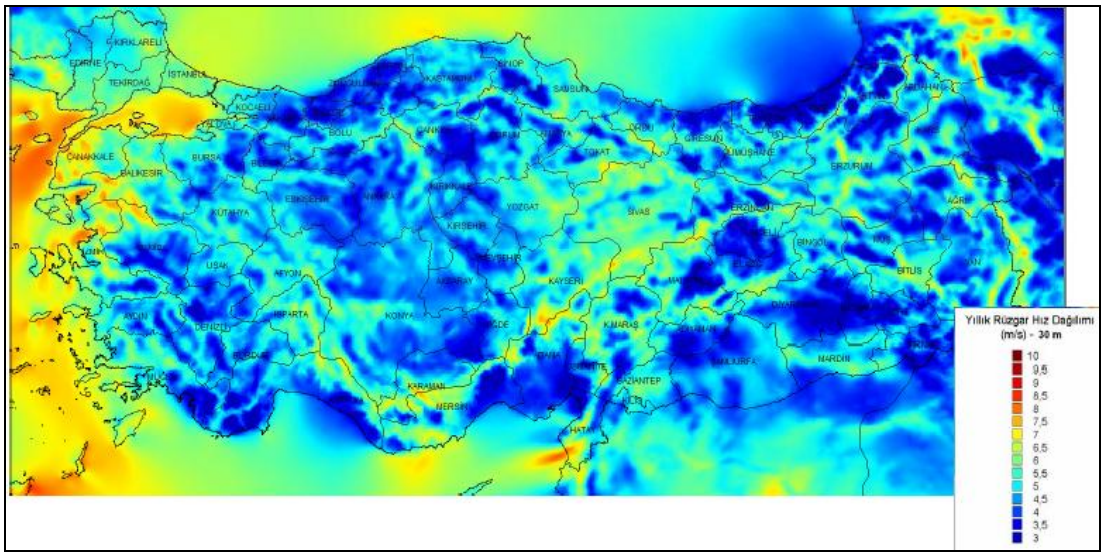
2005 yılında oluşturaln yasal alt yapı sonrasında Türkiye'de rüzgar enerjisi yatırımlarında küçük çaplı hareketlenmeler olsa da, 2008 ve 2009 yıllarında 3 katın üzerinde bir artış görülmüştür. Şekil 1.12'de Türkiye'deki rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yıllara göre artışı görülmektedir (Durak, 2010).



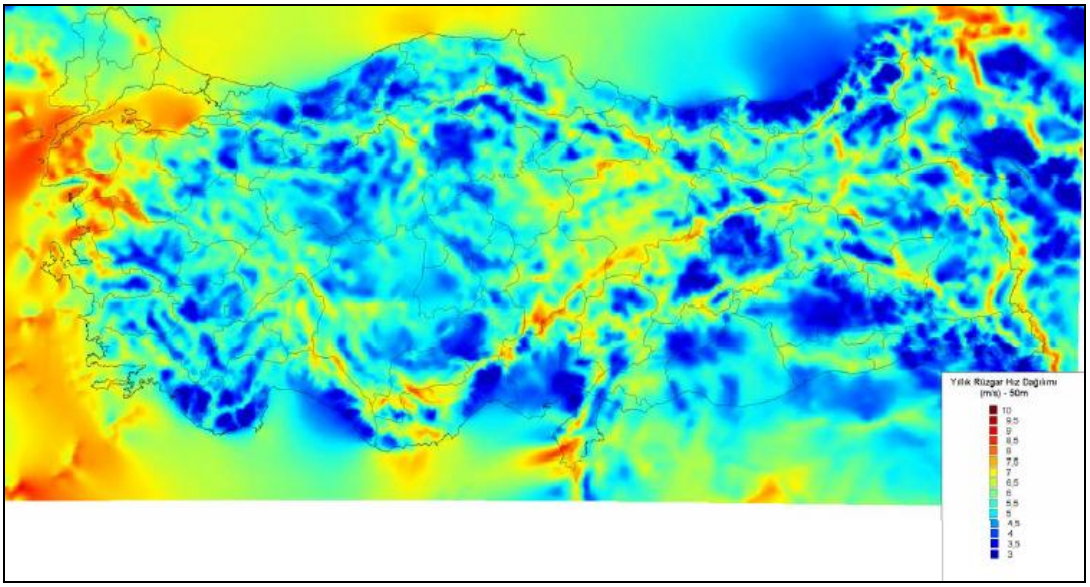
Şekil 1.12 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücünün Yıllara Göre Artışı.

NREPA; büyük, orta ve mikro-ölçekli hava tahmin modelleri kullanılarak üretilen rüzgâr kaynak bilgilerinin üretildiği bir Nümerik Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası'dır. Bir rüzgar enerjisi atlası, atlas alanındaki rüzgar enerjisi kaynağını ve yüksek rüzgar potansiyel bölgelerini belirlemede yardımcı olur. Yüksek

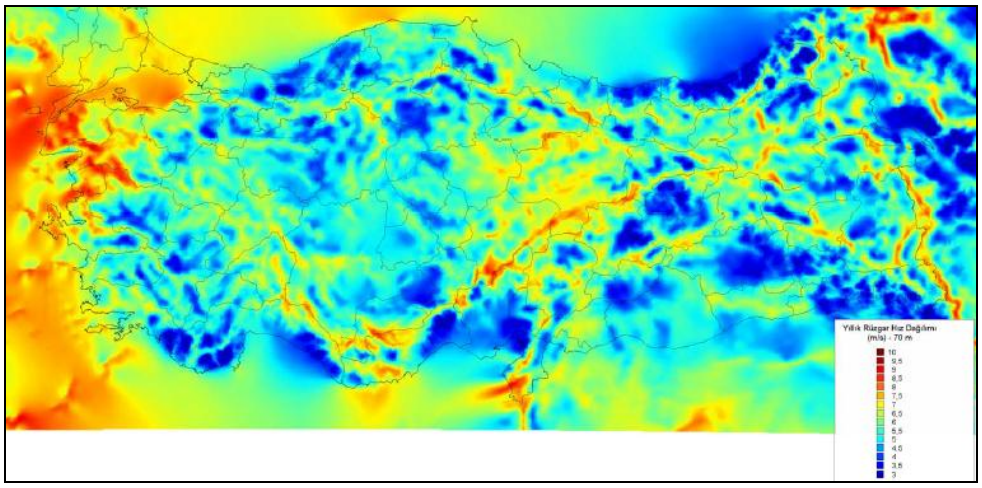
çözünürlüklü rüzgar kaynağı haritaları ve bu haritalardan alınan bilgiler hükümet planlamacıları, enerji servis şirketleri, özel girişimciler, iş dünyası ve arazi / konut sahipleri gibi bir geniş kullanıcı bandına hizmet sunmada etkilidir. Rüzgar kaynağı hakkında en güncel ve tam bilgilere doğrudan erişim ile bu ürünler kullanıcıların veriye dayalı kararlar almalarını sağlayabilmektedir. Türkiye geneli rüzgar hızı haritaları 30 m, 50 m, 70 m ve 100 m için Şekil 1.13, Şekil 1.14, Şekil 1.15 ve Şekil 1.16'de sırasıyla belirtilmiştir. Şekil 1.17 ve Şekil 1.18'da ise sırasıyla 50 m ve 100 m yükseklikler için rüzgâr güç yoğunluğu haritaları gösterilmektedir (Malkoç, 2007).



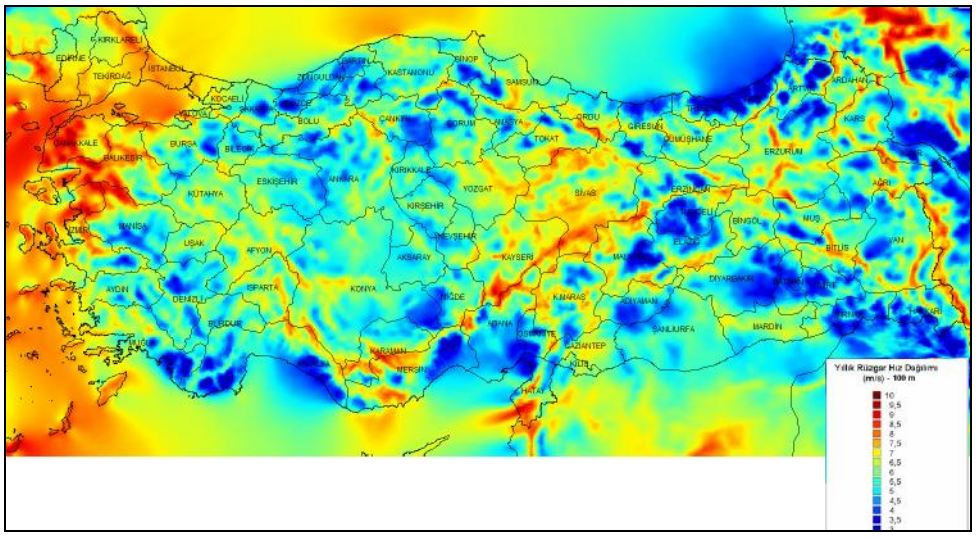
Şekil 1.13 : 30 m Yükseklikte Rüzgar Hızı Haritası.



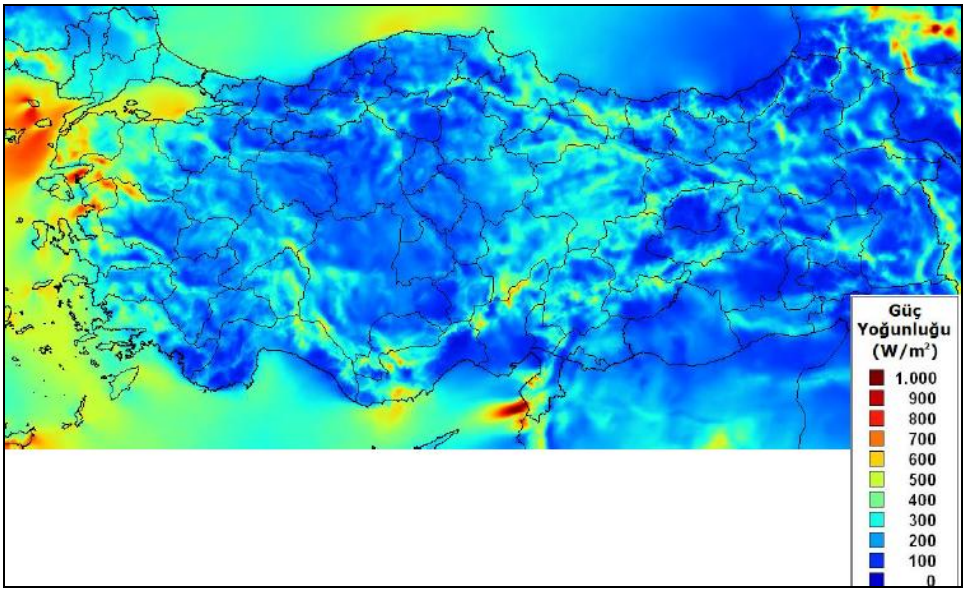
Şekil 1.14 : 50 m Yükseklikte Rüzgar Hızı Haritası.



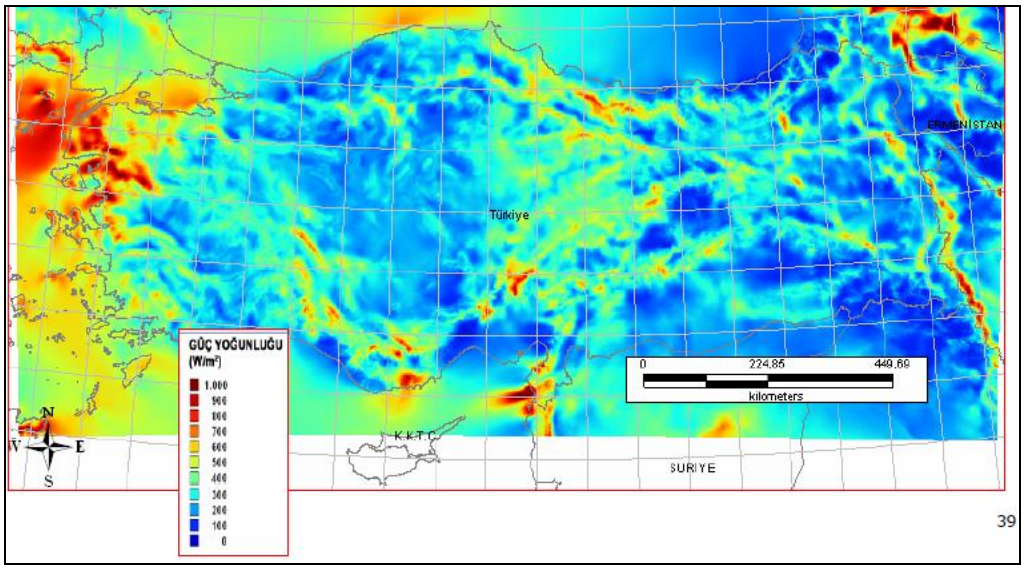
Şekil 1.15 : 70 m Yükseklikte Rüzgar Hızı Haritası.



Şekil 1.16 : 100 m Yükseklikte Rüzgar Hızı Haritası.



Şekil 1.17 : 50 m Yükseklikte Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası.



Şekil 1.18 : 100 m Yükseklikte Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası.

1.3.1 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Santralleri Hakkındaki Sorunlar

Türkiye, mevcut rüzgar potansiyelini en verimli şekilde değerlendirebilmek, enerji arzında dışa bağımlılığı azaltmaya yönelik rüzgar sektöründeki yatırımların önünü daha açık hale getirebilmek için devam eden birtakım sorunlarını çözüme kavuşturmalıdır. Bu sorunları en temel haliyle şöyle sıralayabiliriz (Durak, 2010):

- Yenilenebilir enerji projelerini ilgilendiren idari ve teknik mevzuatların sürekli değişmesi yatırımcılar için güvensiz bir yatırım ortamı ortaya çıkarmaktadır. Bu alandaki işleyişin daha sağlam bir zemine oturtulması yatırımcıların uzun vadeli planlar yapabilmesine olanak sağlayacak ve risklerini azaltacaktır.

- Rüzgar Enerjisi Santralleri (RES) projelerinde lisans alma süreçlerinde yatırımcıların karşısına çıkan bir takım problemler çözüme kavuşturulmalıdır.

- RES başvuruları otoproduktör başvurularına her zaman açık olmalıdır.

- RES'lerde kurulu güç üzerinden alınan sistem iletim bedeli, gerçekleşen üretim üzerinden alınmalıdır.

- Ülke genelinde iletim alt yapısı artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek adına güçlendirilmelidir. İletim alt yapısını iyileştirmek için daha hızlı çözüm mekanizmaları geliştirmelidir.

- İşletmedeki RES'lerde Dengeleme Uzlaştırma Yönetmeliği (DUY) kaynaklı sorunlar bulunmaktadır. Sistem

1.4 Çalışmanın Amacı

Dünya çapında, yenilenebilir enerji yatırımlarının ve bunlar içerisinde özellikle rüzgar enerjisi yatırımlarının geleneksel yöntemlerle ve/veya gerçek opsiyonlarla incelenmesi üzerinde yayınlanmış bir takım çalışmalar olmasına karşılık, ülkemizde genel anlamda yenilenebilir enerji yatırımlarının gerçek opsiyon yöntemiyle yüzeysel olarak yorumlandığı makaleler bulunmakla birlikte, rüzgar enerjisi yatırımlarında yatırımcının karşılaştığı belirsizlikleri ve yatırım risklerini, lisans bedelleri ve gün öncesi piyasalarda gerçekleşen fiyatları da içerecek şekilde gerçek opsiyon yöntemiyle inceleyip ele alan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu projenin amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr türbinlerinin ortaya koyduğu değerin ölçülmesi için bütünsel bir model önermektir. Bu model hem gerçek opsiyon değerlemesini hem de problemden kaynaklanan pek çok belirsizliğin nasıl çözüleceğine dair önermeler içermektedir. Esnek bir yapıya sahip olan bu model, rüzgar verileri elde edildiği takdirde farklı kapasitelerdeki yatırımlara uygulanabilecektir. Bu kapsamda, önerilen model, çalışmada Terkos bölgesinde kurulan 2 MW'lık bir türbin üzerinde uygulanmıştır. Terkos bölgesinden elde edilen rüzgar verileri kullanılarak, 2 MW'lık bir türbin bu bölgede kurulduğunda, literatürde türbinin ekonomik ömrü olarak geçen 20 yıllık süre içerisinde, türbin sahibinin devlet teşvikleriyle elektrik enerjisi üretme opsiyonuna sahip olmasının değerinin de yatırımın değerlenmesi hesabına dahil ederek, projenin gerçek değerinin belirlenmesi ve elde edilen bulguların modellenerek farklı türbin kurulumlarında da kullanılabilir hale getirilmesinin yanında duyarlılık analizleriyle faiz oranlarındaki değişimlerin yatırımı ve opsiyon değerini ne şekilde etkilediğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

1.5 Literatür Taraması

Gerçek opsiyon teorisinin gelişen literatürüyle çok farklı alanlarda gerçek opsiyon yöntemi uygulanmaya başlamıştır. Teori enerji alanında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında konuyla ilgili olarak yapılan kaynak araştırmasında incelenen makalelerin özeti aşağıda verilmiştir.

Fan ve Zhu 2010 yılında yayınladıkları makalelerinde petrol fiyatları, yatırım çevresi ve döviz kurundaki değişimleri göz önünde bulundurarak, gerçek opsiyon

yöntemiyle, ülkeler için birer petrol yatırım risk indeksi belirleyerek, yatırıma en uygun ülkeleri bu indekse göre sıralamışlardır.

Lin ve Huang (2010), yatırımlar kârsız olmaya başladığında, yatırımı sonlandırarak enerji tasarrufu yapacak yatırımın zamanını belirlemeye çalıştıkları makalelerinde istenmeyen olayların olma olasılığının, yüksek giriş eşiği ve düşük çıkış eşiğini sonuç verdiğine değinmişlerdir. Araştırmacılara göre, istenmeyen olayların getirdiği yüksek kayıp olasılıklarının üstesinden gelmek için yatırımcılar yüksek fayda eşiğine yönlendirilmelidir.

Takizawa ve diğerleri (2001), geçtiğimiz birkaç on yıl içerisinde araştırılmış ve geniş ölçekli projelerde uygulanmış olan NPV (Net Present Value) yaklaşımının bazı kısıtlamalarını bertaraf etmek için çalışmalarında gerçek opsiyon yöntemini kullanmışlardır. Böylelikle nükleer santral yapımını geçerli kılacak kritik elektrik fiyatını belirlemeyi hedeflemişlerdir.

Prelipcean ve Boscoianu 2008 yılında yayınladıkları çalışmalarında, optimal yatırım stratejisine karar vermede kullanılan gerçek opsiyonlar ile yapay sinir ağlarının birlikte kullanımını öngörmektedirler. Bu yolla farklı politik krizlerin etkisi ile, enerji sektöründeki yüksek değişkenlik ve belirsizlikteki fiyatlarda meydana gelebilecek değişimlerin ölçülebilmesi amaçlanmaktadır.

Siddiqui ve Fleten (2008), fosil yakıt tüketiminin kademeli olarak durdurulması durumunda, elektrik talebini karşılayabilmek için, hükümetin uygulayacağı iki alternatif yol olan toryum ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin değerlendirilmesi üzerine çalışmıştır.

Benhani ve diğerleri (2007), bulanık risk analizi ve gerçek opsiyon yöntemini temel alarak nükleer enerji istasyonlarında bilgi teknolojisi yatırımlarını değerlemek için bir metodoloji geliştirmiştir. Araştırmacılara göre bu yöntem, beklenen karşılıkların değişkenliği ile risk faktörlerinin spesifik kaynaklarının ilişkilendirilmesi sayesinde, karar vericilerin pek çok farklı risk altındaki hedef yatırımın daha güvenilir bir değerlendirmesini yapabilmesini sağlamakta ve aynı zamanda karar vericileri kompleks kestirimlerde bulunmak zahmetinden de kurtarmaktadır.

Rasmussen ve diğerleri 2009'da yayınladıkları çalışmalarında doğalgaz depolama tesislerinde optimal işletim stratejilerinin belirlenmesi üzerine değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Alım ve satın alma opsiyonları arasında finansal dengeyi sağlayan, çift opsiyonlu, bir depolama tesisinin nümerik örneği ile model tanımlanmıştır.

Lin ve Huang 2011'de enerji tasarrufu sağlayacak bir yatırım için optimal yatırım zamanını ve yatırımın kârsız hale geçmesi durumundaki optimal yatırımdan çekilme zamanının belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışmada Tobin's q gelişim metodunun bir uyarlaması tasarlanmıştır.

Lub ve Keppoa (2003) Büyük ölçekli elektrik üreticilerinin geri dönülemeyen yatırım karalarında optimal yatırım kararının bulunması üzerine çalışmıştır. Hazırladıkları modele göre yatırıma başlama zamanı ve üretim süreçleri firmanın değerini maksimize edecek şekilde seçilir ve portfolyo süreçleri elektrik üretiminin maliyetlerini finanse etmiş olur. Böylelikle üretim kaynaklı nakit akışlarındaki belirsizliği bir çeşit finansal riskten korunma stratejisiyle elimine etmiş olmaktadır.

Siddiqui ve Fleten 2010 yılında, yönetimsel çıkarım yapabilmek ve firmaya yararlı olmak üzere, gerçek opsiyon analizini kullanarak, firmanın yeni bir teknolojiyi uygulamaya geçmesi yada mevcut kapasiteyi değiştirmesi arasında yapacağı seçimin değerlendirilmesi üzerine bir makale yayınlamıştır.

Dünya üzerinde yenilenebilir enerji yatırımlarının değerlenmesi üzerine de çalışmalar mevcuttur. Lee ve Shih (2010), yenilenebilir enerji ile güç üretim teknolojilerinin maliyeti ile Tayvan'ın mevcut rüzgar enerjisi gelişim politikalarının barındırdığı opsiyon değeri deneysel bir analizle incelenirken etkinlik eğrisini gerçek opsiyon analizi ile birleştiren bir model ortaya koymuştur. Bu modelde, binomial stokastik süreçler temel alınarak yenilenemeyen enerji kaynaklarının maliyetlerinin değişkenliği ve yenilenebilir enerji ile elektrik üretme maliyetinin azaltılmasının ölçüsü üretilen gücün maliyet etkinlik eğrisi ile simule edilmiş, binomial gerçek opsiyon değerleme yöntemiyle faydalı politika değerleme yöntemi modellenmiştir. İçe dönük dış maliyetlerin ve değişen vergi oranlarının politika değerleri de kıyaslanmakta olduğu bu çalışmada, içselleşmiş CO_2 emisyon maliyetleri ile alakalı olan yenilenebilir enerji politikalarının politika planlamasında sürdürülebilirlik açısından uygun olduğunu yapılan simülasyonlar sonucunda ortaya konulurken, gerçek opsiyon analizlerin politika planlamasında, değişkenliği, belirsizliği, ve yönetimsel esnekliği ölçmeye izin verdiği belirtilmiş, buna karşılık literatürdeki diğer bir çok çalışmada olduğu gibi geleneksel modellerin söz konusu durumlarda eksik kaldığı belirtilmiştir.

Yapılan çalışmalardan bazıları, özellikle enerji yatırımlarının arge yatırımı projelerinin değerlenmesi üzerinedir. Dawis ve Owens (2003), değişken petrol fiyatlarına maruz kalan, yenilenebilir enerjiyle elektrik üreten teknolojilerin

değerinin tahmin edilmesini gerçek opsiyon analizi çerçevesinde ele almıştır. Bu araştırmacılar, yenilenebilir enerji teknolojilerini hem stratejik bir değeri ve optimal yatırım zamanı verisini içermeyen indirgenmiş nakit akışı (DCF) perspektifinden değerlendirmiş, hem de gerçek opsiyon yöntemiyle ele almıştır. Çalışmanın temel bulgularını, yenilenebilir enerji teknolojilerinin geleneksel değerleme teknikleri kullanılarak elde edilemeyecek anlamlı bir değer barındırması, bu teknolojileri uygun bir şekilde değerlemek ve devam eden ar-ge harcamalarının yararına kullanabilmek için, gerçek opsiyonlar gibi üst düzey bir değerleme yöntemin kullanılması gerekliliği oluşturmaktadır.

Siddiqui ve diğerleri (2007), çalışmalarında U.S. Federal Araştırma, Geliştirme, Kanıt ve Yayılma Programının, yenilenebilir enerji teknoloji gelişmelerinin yararına olmak üzere birleşik gerçek opsiyonlarda binom örgüsü modelini önermiştir. Araştırmacılar, bu çalışmalarıyla Davis ve Owens (2003) çalışmasında geliştirilen düşünceyi doğrulamışlar, deterministik DCF analizlerinin yenilenebilir olmayan enerji maliyetlerindeki belirsizlikleri, ar-ge süreçlerinin altında yatan teknik riskleri, dünyanın değişen durumuyla orantılı olarak yapılması gereken düzenleme ihtimallerini göz ardı ettiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar, nümerik bir örneğe uyarladıkları gerçek opsiyon yöntemiyle, varolan yenilenebilir enerji teknolojileirnin opsiyon değerinin oldukça büyük olduğunu ve 20 yıllık bir ar-ge çalışmasıyla bu değerin anlamlı bir artış göstereceğini ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte, ar-ge çalışmalarını bırakmanın opsiyon değerinin, göreceli olarak daha az olacağını göstermişlerdir.

Sıddıqui ve diğerlerinin (2007) amacına paralel olarak, Bednyagin ve Gnansounou (2011) da füzyon enerjisi teknoloji ve arge çalışmalarının stratejik değerini gerçek opsiyon yöntemiyle incelemiştir. Opsiyon değeri öncelikle Black-Scholes yöntemiyle belirlendikten sonra, bulanık mantıkla işleyen bileşik gerçek opsiyon yöntemiyle ele alınan iki yöntem karşılaştırılmış sonuç olarak ise çok kademeli bileşik opsiyon mantığıyla çalıştırılan model ile opsiyon değerlemesinin daha kesin bir şekilde yapılabileceği ortaya konmuştur.

Kumbaroğlu ve diğerleri (2008) çalışmalarında, öğrenme eğrisi ile yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinin bir araya getiren piyasa planlaması üzerine gerçek opsiyon dinamik programlama modelini sunmuştur. Bu model, yatırım alternatiflerini yıllık bazda inceleyerek, geri dönüşü olmayan bir yatırım harcamasını

ertelemenin içerdiği esnekliğin yenilenebilir enerji yatırımlarının genişleme sürecini ciddi şekilde etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Rüzgâr enerjisi yatırımlarının gerçek opsiyonlar yöntemiyle incelendiği bir diğer makale de Venetsanos ve diğerlerinin (2002) hazırlamış olduğu çalışmadır. Bu çalışmada Yunanistan'da hükümet denetimi kaldırılarak rekabetçi hale getirilen enerji pazarındaki, özellikle de yenilenebilir enerji alanındaki belirsizlikleri göz önüne alınmış, bu belirsizlikler Yunanistan'da rüzgar enerjisinden elektrik üretme uygulaması üzerinden, GO yöntemiyle incelenerek diğer yöntemlerle kıyaslanmıştır.

Menaegaki (2008), çalışmasında literatürdeki yenilenebilir enerji kaynaklarını değerleme yöntemlerini incelemiş ve bunları kategorize ederek sunmuştur. Çalışmaya göre literatürde makaleler ekonomik analizler ve çevresel refah odaklı ve bu değerleri kapsayan çalışmalar, finansal arka plana sahip finansal opsiyon düzeyinde incelenen çalışmalar, ekonomik yönleri bulunan ekolojik kavramları temel alan çalışmalar ve ekonomik analizler içerirken ülke refahını dikkate almayan makaleler olarak kategorize edilmiş ve bunlar içerisinde ilk kategoride yapılan çalışmaların uygun ve geçerli değerleme yöntemleri sunduğu, diğer çalışmaların ise kendi içlerinde çevresel yada ekonomik bazı boşluklar içerdiğini ortaya koymuştur.

Kjærland, 2007'de hidroelektrik enerji üzerine yayınladığı makalesinde, elektrik fiyatları ile optimal yatırım kararı arasındaki ilişkiyi belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma sonucunda hidroelektrik enerji yatırımlarında maliyetin geri dönüşünün, birim ücretlerin oldukça yüksek olması koşuluna bağlı olduğunu ve bunun 2005 yılı sonlarına kadar gerçekleşmediğini ortaya koymuştur. Kjærland'a göre hidroelektrik enerji yatırımlarının sayıca yetersiz kalışı da bundandır.

Mutale ve Martinez (2011) yenilenebilir enerji üretimi projelerinin planlanmasında ileri düzeyde gerçek opsiyon kullanımına dair bir öneri geliştirmiş, hidroelektrik enerji özelinde de bu yöntemin kullanım çeşitliliğini tariflemişlerdir. Araştırmada yatırım kararlarındaki esneklikten ziyade yatırım dizaynındaki esnekliğe dikkat çekilmiştir. İleri gerçek opsiyon yöntemi kullanılarak planlanan projelerde, beklenen kârın daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Cheng ve diğerleri 2011 yılında yayınladıkları çalışmaları sonucunda, enerji endüstrisinde kullanılmak üzere, n yıllık hazırlık zamanında belirlenen stratejilerin uygulanmasında kullanılacak binomial bir model geliştirmişlerdir. Önerilen bu modelden yola çıkarak organizasyonların daha uzun süreli stratejik kararlarını alabilmesi beklenmektedir. Elektrik üretim tesislerinin hazırlık zamanının

karakteristikleri ve gelecekteki enerji talebinin belirsizliğini göz önünde bulundurarak opsiyonların değerlendirilmesi ve temiz enerji politikasının stratejik değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Szolgayova ve Fuss (2010) teknik değişimler ve fosil yakıtların stokastik değişimlerinin elektrik sektöründeki yatırım kararlarını değiştirmesine etkisini araştırmıştır. Araştırmacılara göre yenilenebilir enerji teknolojisindeki gelişimden doğan belirsizlik, bu alandaki yatırımların ertelenmesine neden olmaktadır. Modelde kullanılan verilere, stokastik fosil yakıt fiyatlarının eş zamanlı olarak dâhil edilmesi bile, kısa dönemde yenilenebilir enerjiyi fosil yakıt kaynaklı teknolojilerden üstün kılmamaktadır.

Lee (2011), çalışmasında genel anlamda yatırım imkânlarını değerlendirirken yenilenebilir enerjinin gelişimi ve dayanak varlıkları ile diğer parametrelerin karşılaştırılmasının yapıldığı bir duyarlılık analizi ortaya koymuştur.

Nathwani ve Ng (2011) iç enerji politikaları ve teknolojik gelişmelerle değer kazanan değer zinciri ile tetiklenen dinamik gelişim stratejileri gösteren Çin'de, son zamanlarda ivme kazanan yenilenebilir enerji sektöründeki girişimler için ilerleyen zamanlardaki stratejik gelişme ve finansal yöntemler gerçek opsiyon yöntemiyle değerlendirilerek açıklanmıştır.

Fernandes ve arkadaşlarının (2011) çalışması, gerçek opsiyon yaklaşımının enerji alanında uygulanmasını ele almıştır ve gerçek opsiyonların tanıtılmasını amaçlayan teorik bir çalışmadır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminden bahsedilerek neden yenilenebilir kaynaklara yönelindiği ele alınmış ve yapılmakta olan bu yatırımların değerlendirilmesinde gerçek opsiyon analizlerinin kullanılmasının avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Gerçek opsiyon teorisinin temel prensipleri verilerek bu analizde kullanılan kavramlar açıklanırken, gerçek opsiyonlar kullanılarak çözülmek istenen bir problemin çözüm sürecinde kullanılacak adımlar ele alınmıştır. Literatür araştırmasında gerçek opsiyon analizinin genel anlamda enerji alanındaki uygulamaları ve özelde yenilenebilir enerji alanındaki uygulamaları olarak 2 ayrı tabloda kategorize edilirken, makaleler yazar adı, yayın yılı, yayınlandığı ülke, çalışma alanı, çalışmanın teorik verilerle mi uygulama üzerinden mi yapıldığı, çalışmada ele alınan opsiyon türü, modelleme tarzı ve çalışmada kullanılan hesaplama yöntemleri, Çizelge 1.9 ve Çizelge 1.10'da sunulmuştur.

Çizelge 1.9 : Gerçek opsiyon teorisinin uygulandığı enerji alanındaki makaleler

Yazar Adı	Yayın Yılı	Ülke	Çalışma Konusu	Uygulama/ Teorik	Kullanılan Opsiyon Türü	Modelleme Tarzı	Kullanılan Hesaplama Yöntemi
Bednyagin, D., Gnansounou	2011	İsviçre	Nükleer	Teorik	Alım	Ran, L., Li, J., Zhao, Z./ Wang ve Hwang	Black-Scholes, D.D, Binom Modeli
Lin, T. T., Huang, S.L.	2011	Tayvan	Enerji piyasası	Teorik	Alım	Tobin's q	K.D.D
Fan, Y., Zhu, L	2010	Çin	Petrol	Uygulama	Alım	Dixit ve Pindyck	K.D.D
Lin, T. T., Huang, S. L	2010	Tayvan	Enerji piyasası	Teorik	Alım	Dixit ve Pindyck	K.D.D
Rasmussen, H., Davidson, M., Thompson, M.	2009	Kanada	Doğalgaz	Teorik	Alım ve Satın Alma	-	K.D.D
Prelipcean, G., Boscoianu, M.	2008	Romanya	Enerji piyasası	Teorik	Alım	Dixit ve Pindyck	Monte Carlo Simülasyonu
Siddiqui, A., Fleten, S.E.	2008	İngiltere	Nükleer	Teorik	Alım	Dixit ve Pindyck	K.D.D
Benhani, Y., Shan, L., Jinlong, Z., Tao, C.	2007	Çin	Nükleer	-	-	-	Bulanık Mantık, Black-Scholes
Reedman, L., Graham, P., Coombes, P.	2006	Avusturalya	Elektrik	Teorik	Alım	Graham ve Williams/ Reedman ve Graham	Simülasyon
Lub. H., Keppoa, J.	2003	A.B.D	Elektrik	Teorik	Alım	Dixit ve Pindyck	K.D.D
Takizawa, S., Omori, R., Suzuki, A., Ono, K.	2001	Japonya	Nükleer	Teorik	Alım	-	K.D.D

Çizelge 1.10 : Gerçek opsiyon teorisinin uygulandığı yenilenebilir enerji alanındaki makaleler

Yazar Adı	Yayın Yılı	Ülke	Çalışma Konusu	Uygulama/ Teorik	Kullanılan Opsiyon Türü	Modelleme Tarzı	Kullanılan Hesaplama Yöntemi
Cheng, C. T., Lo, S. L., Lin, T. T.	2011	Tayvan	Yenilenebilir enerji	Teorik	Alım	-	D.P; Binom
Mutale., J., Martinez, E. A.	2011	İngiltere	Hidroelektrik	Uygulama	Alım	Dixit ve Pindyck	K.D.D, Monte Carlo Simülasyon
Nathwani, J.,Ng, A. W.	2011	Çin	Güneş	Teorik	Alım	Hackkett ve Dilts	-
Fernandes, B., Cunha, J., Ferreira, P.	2011	Portekiz	Enerji piyasası	Teorik	-	-	-
Lee, S.C.	2011	Tayvan	Rüzgâr	Teorik	-	-	K. D. D., Black-Scholes
Szolgayova, J., Fuss, S.	2010	Avusturya	Yenilenebilir enerji	Uygulama	Alım	-	K.D.D
Siddiqui, A., Fleten, S.E.	2010	İngiltere	Yenilenebilir enerji	Teorik	Alım	Dixit ve Pindyck	K.D.D
Lee, S. C., Shih, L. H.	2010	Tayvan	Rüzgâr	Uygulama	Alım	Kerstin ve Joachim	Binom Metodu
Kumbaroğlu, G., Madlener, R., Demirel, M.	2008	Türkiye	Yenilenebilir enerji	Uygulama	Alım		D.P
Menegaki, A.	2008	Yunanistan	Yenilenebilir enerji	Teorik	-	-	-
Siddiqui, A. S., Marnay, C, Wiser, R. H.	2007	A.B.D.	Yenilenebilir enerji	Teorik	Alım	Brennan ve Schwartz	Binom Metodu

Çizelge 1.10 (devam) : Gerçek opsiyon teorisinin uygulandığı yenilenebilir enerji alanındaki makaleler

Kjerland, F.	2007	Norveç	Hidroelektrik	Uygulama	Alım	Dixit ve Pindyck	K.D.D.
Owens, B., Davis, G. A.	2003	A.B.D.	Elektrik	Uygulama	Alım	Dixit ve Pindyck/ Ott ve Thompson/ Schwarts ve Moon	K.D.D.
Venetsanos, K., Angelopoulou, P.,Tsoutsos, T.	2002	Yunanistan	Rüzgâr	Uygulama	Alım	Brennan ve Schwartz	K.D.D.

(K.D.D; kısmi diferansiyel denklem, D.D; Diferansiyel denklem, D.P. ; dinamik programlama)

2. RÜZGAR ENERJİSİ HAKKINDA BAZI TEMEL VE TEKNİK BİLGİLER

2.1 Rüzgar ve Enerji

Rüzgar, genel olarak hareket halindeki hava olarak tanımlanmaktadır. Atmosferdeki mevcut toplam enerji, potansiyel ve kinetik enerji olarak bölünür. Rüzgarlar basınç kuvvetlerinin bir ürünü olarak atmosferdeki potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümünün sonuçlarıdır.

Ana enerji kaynağı güneş olan rüzgar, dünyanın eğriliği, dönme ekseninin eğimi ve dünya yüzeyinin homojen olmayan yapısı nedeniyle, yer yüzeyinin homojen olarak ısınamaması ve soğuyamamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan basınç farklılıkları ile havanın hareket etmesi sonucu oluşur.

Dünyada yatay bir yüzeye ulaşan enerji miktarı, küresellik dolayısıyla, kutuplara doğru azalır. Yeryüzü tarafından emilen enerjiyi etkileyen diğer önemli faktörler bulutluluk ve yüzeyin elektromanyetik ışınımı yansıtma oranıdır (Menteş, 2008). Rüzgâr enerjisi, ısıları farklı olan hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle oluşur. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir (Url-3).

2.2 Rüzgar Potansiyelinin Belirlenmesi

Bir noktadaki rüzgar potansiyelinin belirlenebilmesi için değişik yöntemler kullanılır.

Herhangi bir nokta için rüzgar gücü matematiksel olarak aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmaktadır (Çelik, 2007).

$$P = \frac{1}{2}\rho\upsilon^3 \qquad \textbf{(2.1)}$$

Denklemde, P rüzgar potansiyelini (W/m^2), ρ havanın yoğunluğunu (kg/m^3), υ rüzgar hızını (m/s) temsil etmektedir.

Bilindiği gibi katı bir maddenin sahip olduğu kinetik enerji, m; kütle ve υ; hızı temsil etmek üzere; formül (2.2)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Ancak,

akışkanlar söz konusu olduğunda ise burada m ile ifade edilen katı kütlenin, kütlenin birinci türevi olan kütlesel debi ile ifade edilmesi gerekmektedir.

$$E = \frac{1}{2} m\upsilon^2 \tag{2.2}$$

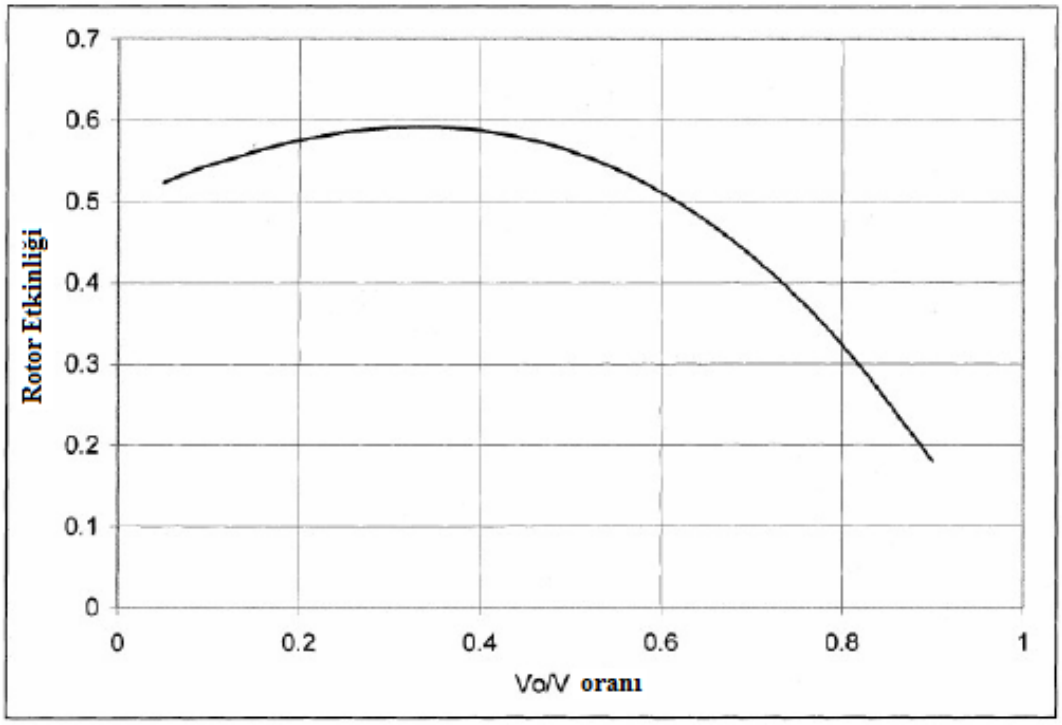
Bu durumda; $\dot{m}$; kütlesel debi, ρ; yoğunluk, A; kesit alanı, υ; hızı temsil etmek üzere, A kesit alanından υ hızıyla geçen ve ρ yoğunluğuna sahip olan havanın hütlesel debisi;

$$\dot{m} = \rho A\upsilon \tag{2.3}$$

formülü ile ifade edilecektir. Böylelikle, akışkanlar için güç formülü teorik olarak

$$P = \frac{1}{2}(\rho A\upsilon)\upsilon^2 = \frac{1}{2}\rho A\upsilon^3 \tag{2.4}$$

haline gelecektir. Ancak pratikte üretilen bütün enerji rotor etkinliği ya da türbinde gerçekleşen bazı kayıplardan ötürü kullanılamamaktadır. C_p olarak ifade edilen rotor güç katsayısı, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi maksimum değeri 0,59 olan bir fonksiyondur. Bu maksimum değer "Betz Limiti" olarak adlandırılmaktadır (Barutçu, B., 2010).



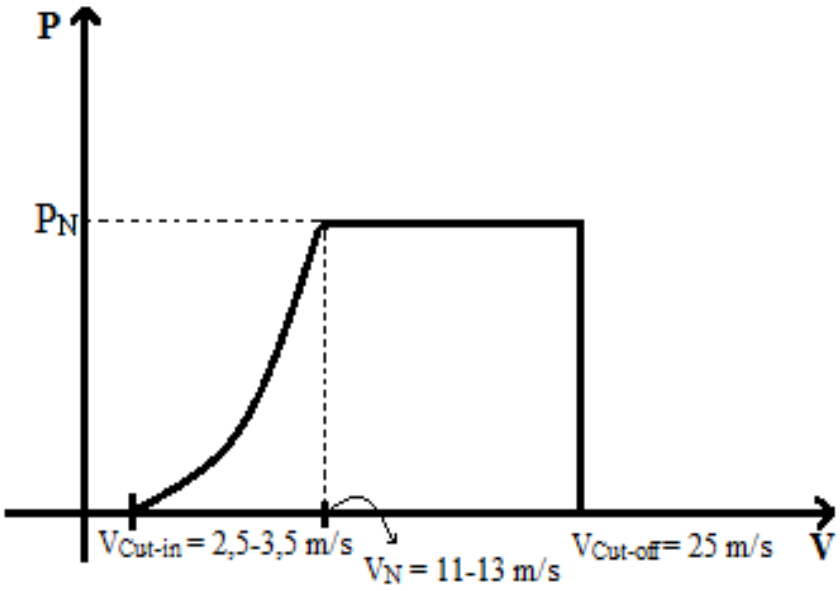
Şekil 2.1 : Rotor Etkinliği/Hız grafiği.

Ancak, belirtildiği gibi 0,59 bir limit değeridir ve etkinlik sonsuza ulaştığında erişilebilecek değerdir ve pratikte asla mümkün değildir. Pratik hayatta üretilen enerjinin ancak %40-45'lik kısmı kullanılabilmektedir. Dolayısıyla, türbinin ürettiği güç;

$$P = \frac{1}{2}\rho A \upsilon^3 C_p t \qquad \textbf{(2.5)}$$

ile ifade edilmektedir (Barutçu, B., 2010).

Türbinin ürettiği güç rüzgar hızının küpüyle orantılı olmasına rağmen, türbinin ürettiği güç sonsuza kadar bu şekilde artmaz. Türbinler $V_{Cut\text{-}in}$ adı verilen ve türbinin devreye girme hızı olan 2,5-3,5 m/s hızları dolaylarında çalışmaya başlar. Türbinin ürettiği güç, V_N ile sembolize edilen 11-13 m/s dolaylarındaki anma hızına kadar formül (2.4)'de ifade edilen fonksiyona bağlı olarak parabolik bir artış gösterir. Anma hızından $V_{Cut\text{-}off}$ ile sembolize edilen 25 m/s'deki çalışmayı durdurma hızına kadar ise, en fazla kendi kapasitesi kadar güç üretebilecek şekilde tasarlanmışlardır. 25 m/s'den sonra ise türbin sistemi, kendisini aşırı çalışma sonucunda oluşabilecek aşınmalar, burulma etkisi vb. nedenlerden dolayı kapatır. Türbinin güç/hız grafiği Şekil 2.2'de gösterildiği gibidir (Barutçu, B., 2010).



Şekil 2.2 : Türbinin güç/hız grafiği.

Ayrıca, herhangi bir yükseklikte ölçülen rüzgar hızı kullanılarak istenen başka bir yükseklikteki rüzgar hızı formül (2.6)'da sunulduğu şekilde hesaplanabilmektedir (Çelik, 2007).

$$\frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{\alpha} \quad \textbf{(2.6)}$$

Denklemde, H_1 rüzgar hızının ölçüldüğü yüksekliği (m), H_2 rüzgar hızının hesaplanmak istediği yüksekliği (m), U_1 H_1 yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızını (m/s), U_2 H_2 yüksekliği için hesaplanacak rüzgar hızını (m/s), α ise yeryüzü pürüzlülüğüne bağlı katsayıyı (Hellman katsayısı) ifade etmektedir.

Çizelge 2.1'de pürüzlülük sınıflarına göre değişen Hellman katsayıları verilmiştir (Şimşek, 2007)

Çizelge 2.1 : Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisi.

Durum	α (Hellman Katsayısı)
Açık deniz, Kıyı şeridi	0,10-0,13
Yeşil ve ekili alan	0,13-0,20
Ağaçlı alan	0,20-0,27
Yüksek bina ve kentsel alan	0,27-0,40

2.3 Weibull Dağılım Fonksiyonu

Rüzgar potansiyel analizlerinde kullanılan diğer bir yöntem de, rüzgar hızlarının göstermiş olduğu istatistiksel dağılımların analizi sonucu yapılan hesaplamalardır (Yalçın, 2010). Yapılan araştırmalar rüzgar hız değerlerinin en başarılı olarak 2 parametreli Weibull dağılımı ile modellenebildiğini göstermiştir (Barutçu, 2010). Weibull dağılımı"nın karakterize edildiği 2 parametre boyutsuz şekil ve rüzgar şiddeti ile aynı birime sahip ölçek parametreleridir. Aşağıdaki Denklem 2.7'de Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu görülmektedir (Güler, 2008).

$$f(\upsilon) = \frac{k}{c}\left(\frac{\upsilon}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{\upsilon}{c}\right)^{k}} \quad \textbf{(2.7)}$$

Burada *f (v)* rüzgar şiddetinin olasılık yoğunluğunu, k ve c sırasıyla boyutsuz şekil ve rüzgar şiddeti ile aynı birime sahip ölçek parametreleridir.

Weibull dağılım fonksiyonunun c ölçek parametresi rüzgar ortalaması ile doğru orantılıdır. Bu durum bir rüzgar istasyonunun rüzgar karakteristiğinin belirlenmesinde ölçek parametresinin önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Weibull dağılım fonksiyonunun k şekil parametresi ise rüzgarın ortalaması ile doğru

fakat standart sapması ile ters orantılıdır. O halde ortalama rüzgar şiddetinin ve standart sapmanın bilinmesi durumunda k ve c parametreleri bulunabilir.

Bununla birlikte; c (ölçek) ve k (şekil) parametreleri 2.8 ve 2.9 denklemlerinde X_i rüzgar hızlarını belirtmek üzere, bu iki denklemin sümültane çözülmesiyle elde edilmektedir (Akdağ, 2008).

$$k = \left[\left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^{n} x_i^c \right]^{\frac{1}{c}} \tag{2.8}$$

$$c = n / \left[\left(\frac{1}{b} \right)^c \sum_{i=1}^{n} x_i^c \log x_i - \sum_{i=1}^{n} \log x_i \right] \tag{2.9}$$

2.4 Weibull Ters Dönüşüm Fonksiyonu

Dönüşüm, istatistiksel anlamda herhangi bir dağılımdan örnek almak demektir. Bu iş için üzerinde çalışılan dağılımı tanımlayan parametrelerin de verilmesi gereklidir.

Ters dönüşüm yönteminde simüle edilecek olan dağılımın F(x) kümülatif dağılım fonksiyonu ile çalışılır. Kümülatif dağılım fonksiyonu F(x), (0,1) aralığında tanımlandığına göre ($0 \leq F(X) < 1$), uniform rastgele bir sayı üretilebilir. Bu sayı aynı zamanda (0,1) aralığında tanımlanmış olup F(x) = r olarak saptanmıştır. Bu şekilde x, F(X) = r bağıntısı tarafından saptanır ve X = F(r) verilen dağılımdan arzu edilen değişimdir. Bu yöntemin zorluğu F(r) = X gibi bir ters dönüşüm bulunmasıdır. Böyle bir ters fonksiyon saptanıldığı takdirde, arzu edilen dağılımdan rastgele değişkenler elde edebilmek için ters fonksiyona uniform rastgele sayıları uygulamak yeterlidir (Halaç,1998).

Yoğunluk fonksiyonu, $x \geq 0$ için

$$f(x) = kc^{-k} x^{k-1} e^{-(x/c)^k} \tag{2.10}$$

$$F(X) = r = 1 - e^{-(X/c)^k} \tag{2.11}$$

Burada r uniform dağılıma sahip rassal bir değişken olmak üzere

$$X = c[-\ln(1-r)]^{1/k} \tag{2.12}$$

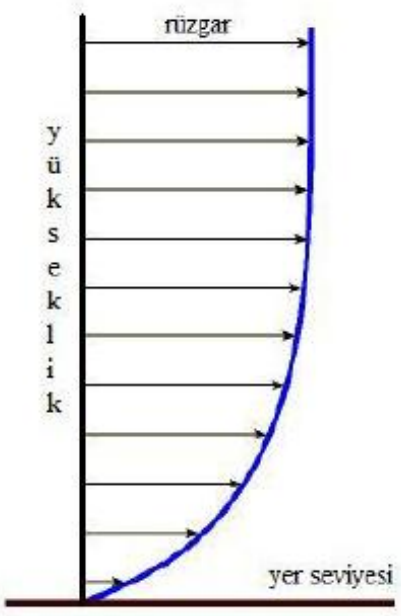
yazılır. Dolayısıyla Weibull dağılımından bir seri değişken üretebilmek için, sadece uniform dağılımdan rastgele değişkenlerin üretilmesine ve ters dönüşümün uygulanmasına gerek duyulur (Banks, 2005).

2.5 Rüzgar Enerjisini Etkileyen Faktörler

Rüzgardan elde edilebilecek enerjiyi etkileyen 7 temel etmen bulunmaktadır. Bunlar, yükseklik, pürüzlülük, türbülans, rüzgar engelleri, iz etkisi, tepe etkisi ve tünel etkisidir.

2.5.1 Yükseklik

Rüzgar enerjisi uygulamalarında 10 km civarında etki alanı olan ve yerden 40-100 m yükseklikleri arasında esen mikro ölçekli rüzgarlar dikkate alınır. Bu rüzgarlar yüzey koşullardan etkilenirler. Rüzgar profili yükseklikle değişim göstermektedir. Rüzgar hızının yükseklikle değişimi Şekil 2.3' te gösterilmiştir. Rüzgar hızı başlangıçta artmakta daha sonra belli bir yükseklikten sonra sabitlenmektedir (Yalçın, 2010).



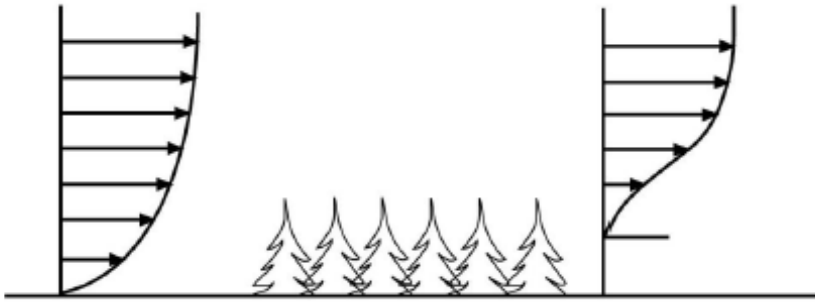
Şekil 2.3 : Rüzgar hızının yükseklikle değişimi.

2.5.2 Pürüzlülük

Rüzgar enerjisi Yeryüzünün bir çok yerinde yer şekilleri düzenli değildir ve bir çok yerde belirgin farklılıklar gösterir. Bir bölgenin yüzey pürüzlülüğü, o bölge üzerindeki pürüzlülük elemanlarının dağılımına bağlıdır. Bitki örtüsü, yapılaşma ve doğal arazi yapıları tipik pürüzlülük elemanlarıdır.

Genel olarak, yeryüzü pürüzlülüğü ne kadar fazlaysa rüzgar hızının o kadar yavaşladığı kabul edilir. Pürüzlülük yaratacak alanlara örnek vermek gerekirse hava alanlarındaki beton pistler rüzgar hızını daha az yavaşlatırlarken, ormanlar ve büyük şehirler rüzgar hızını önemli derecede azaltırlar (Yalçın, 2010).

Beton pistlerden daha düz olan su yüzeyleri rüzgar üzerinde daha az etkiliyken, geniş çayır, çalılık ve çitler rüzgar hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlü bir yüzeyden düz bir yüzeye geçişte değişiklik gösterir. Rüzgar şiddeti profili yükseklikle artış gösterirken, düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçişte (örneğin açık denizden ormanlık bir araziye geçiş) ise profil yükseklikle azalma gösterir. Şekil 2.4 de düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçiş ve rüzgar profilindeki değişim gösterilmiştir (Yalçın, 2010).



Şekil 2.4 : Düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçiş ve rüzgar profilindeki değişim.

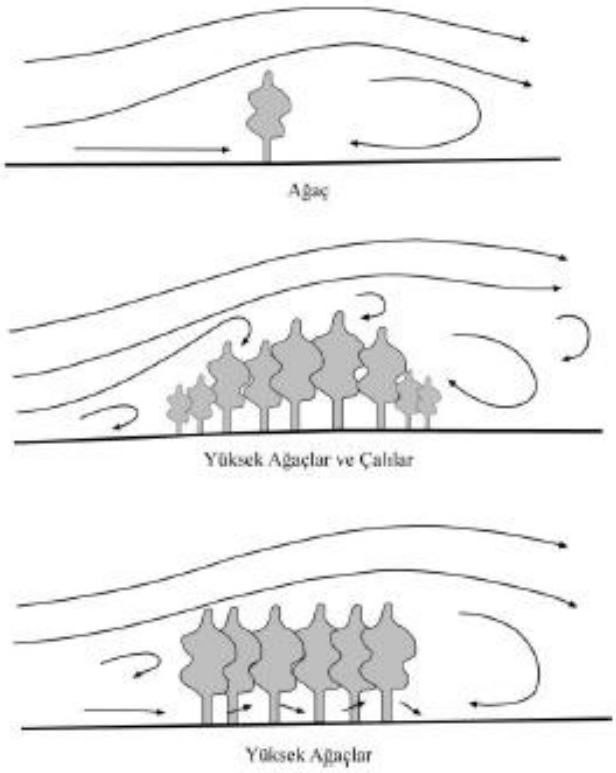
2.5.3 Türbülans

Genel olarak, aniden oluşan düzensiz hava hareketleri olarak tanımlanan türbülans, bir çok kez oldukça hızlı bir şekilde dönen mikro ölçekli hava akımı olarak karşılaşılan ve bir rüzgar türbüninden üretilecek enerji miktarını etkileyen bir büyüklüktür. Türbülansın yoğunluğu rüzgar hızlarının standart sapmalarının ortalama rüzgar hızına oranı olarak ifade edilir. Türbülans yoğunluğu artan yükseklikle azalmakta ve yüzey pürüzlülüğünden etkilenmektedir. Aynı büyüklükteki sapmalar için yüksek rüzgar hızlarında azalmaktadır (Yalçın, 2010).

2.5.4 Rüzgar Engelleri

Düz bir arazi üzerinde hava akışını etkileyen rüzgar engellerini, insan yapımı engeller ve doğal engeller olmak üzere iki başlık altında toplamak mümkündür. İnsan yapımı engeller evler, silolar v.b. yapılar iken, doğal engeller, rüzgar kırıcılar, ağaç ve bitki kümeleri olarak sayılabilir.

Doğal engeller insan yapımı blok engellerin aksine havanın içlerinden geçişine müsait yüzeylerdir. Şekil 2.5'de doğal engellere örnek teşkil eden ağaç ve çalılar ve akışa etkileri gösterilmiştir (Yalçın, 2010).



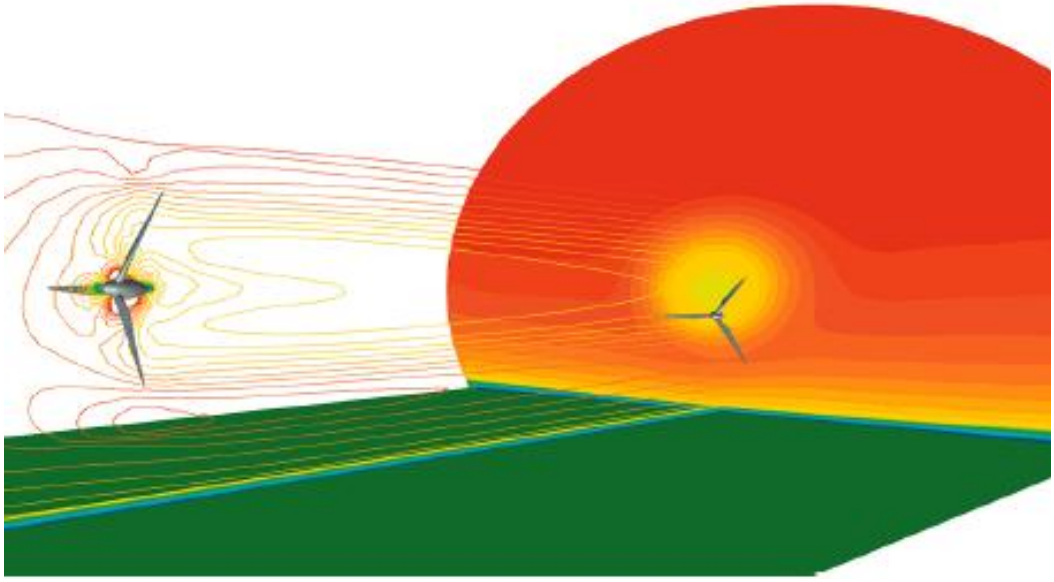
Şekil 2.5 : Doğal engellerin gösterimi.

Doğal engellere kıyasla boyutlarına göre rüzgar hızına ve elde edilecek enerjiye daha çok etki edebilecek insan yapımı engellerin türbin yerleşimi üzerinde oluşturacakları ters etkilerinden kurtulmak için, türbin konumlandırmasının rüzgar üstü bölgesinde, bina yüksekliğinin iki katından daha fazla mesafede; rüzgar altı bölgesinde minimum bina yüksekliğinin 10 (tavsiye olarak 20) katı mesafede; eğer türbin zorunlu olarak binanın rüzgar altı bölgesinde konumlandırılırsa bina yüksekliğinin en az iki katı yükseklikte konumlandırılması gerektiği yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir (Yalçın, 2010).

2.5.5 İz etkisi

Düz bir arazi üzerinde Bir rüzgar türbini kanatlarından hava akımını geçirirken rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjiyi dönüştüreceğinden, enerjinin korunumu ilkesi gereğince türbinden çıkan enerjinin daha düşük olması gerekir. Rüzgar türbinleri akış yönünde enerjiyi dönüştürdükten sonra arkalarında bir iz bırakırlar ve bu iz rüzgar hızını düşürür.

Wake (iz) etkisi rüzgar çiftliği alanlarında, türbinlerin arkalarına daha yavaş bir rüzgar hızı aktarmaları nedeniyle enerji üretimine yapacakları etki olarak tanımlanmaktadır. Türbinlerin birbirine yapacakları bu etkiyi minimize etmek amacıyla rüzgar çiftliği yerleşiminde türbinler arasında uygun mesafeler burakılır. Genel olarak bir türbinin arkasındaki türbine etkisini azaltmak amacıyla, ikinci türbinin kanat çapının 6-10 katı kadar mesafe aralıklarla yerleştirilmesi gerektiği söylenebilir. Şekil 2.6'da bir rüzgar türbinin arkasında hız eğrilerinin değişimi ve oluşan wake (iz) etkisi gösterilmiştir (Yalçın, 2010).

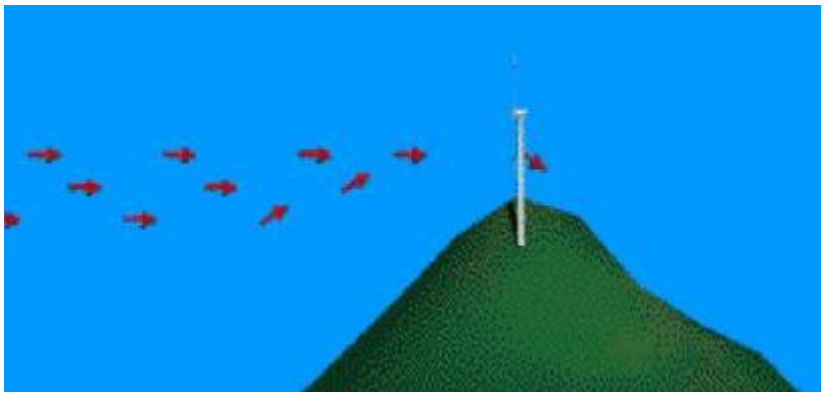


Şekil 2.6 : İz etkisi ve türbin arkasında oluşan hız eğrileri.

2.5.6 Tepe etkisi

Rüzgar türbinlerinin zaman zaman tepe üstlerine veya tepelerin açık alana bakan yamaçlarına yerleştirildiği görülür. Özellikle hakim rüzgar yönünde türbin önünde herhangi bir engelin olması istenen bir durum değildir.

Tepelik bölgeler etrafında geniş bir alana yayılmış olan yüksek basınç alanları hava akımının tepeye ulaşmadan yükselerek sıkışmaya başlamasına neden olur. Hava akımı tepenin sırtına eriştiğinde ise tepenin diğer yamacında oluşan düşük basınç alanına doğru genişleyerek hareketini devam ettirir. Tepe etkisi olarak tanımlanan bu olay kimi zaman rüzgar hızını arttırıcı etki gösterirken, basamaklı veya düzgün olmayan tepelik bölgelerde ise daha çok türbülans oluşacağından önemli bir dezavantajı beraberinde getirir. Şekil 2.7 tepe etkisinin oluşabileceği bir arazi örneğini göstermektedir (Yalçın, 2010).

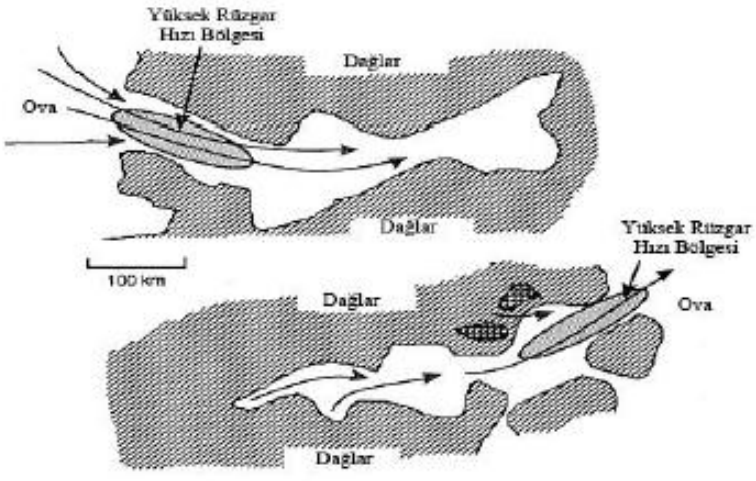


Şekil 2.7 : Tepe etkisi.

2.5.7 Tünel etkisi

Rüzgar Yüksek binalar arasından veya dağ geçitlerinden geçerken hava akımlarında bir takım etkilerin olduğu fark edilir. Hava akımlarının binaların veya dağların aralarından geçerken sıkışmalarından kaynaklanan bu etkiye tünel etkisi adı verilir. Rüzgar hızını da arttıran bu etki, arazi içerisinde uygun ve düzgün alanlarda rüzgar türbinlerinin konumlandırılması sırasında dikkate alınırsa enerji üretimi açısından fayda sağlar. Düzenli olmayan tünel etkisi yaratan alanlar ise daha çok türbülans yaratacağından dezavantaj yaratır ve türbinde yorulma, yırtılma, çatlama gibi fiziksel hasarlar oluşturur ve türbin ömrünü azaltır (DWIA, 2009).

Şekil 2.8'de ovalardan dağlık bir bölgeye dar bir boğazdan giren ve dar boğazlardan ovalara çıkan rüzgarların tünel etkisi sonrası hızlanması gösterilmiştir (Yalçın, 2010).



Şekil 2.8 : Tünel etkisi.

3. RÜZGÂR ENERJİSİ YATIRIMCILARINI İLGİLENDİREN YASAL MEVZUATLAR

3.1 İlgili Kanun ve Yönetmelikler

Ülkemiz, enerji sektöründe rekabete dayalı piyasaların oluşturulması stratejisi çerçevesinde, elektrik, doğalgaz ve petrol sektörlerinde sürdürülebilir bir büyümeyi temin edecek yatırım ortamının oluşturulmasına yönelik önemli aşamalar kaydetmiştir.

4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (2001), 4646 sayılı Doğalgaz Piyasası Kanunu (2001), 5015 sayılı Petrol Piyasası Kanunu (2003) ve 5307 sayılı Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG) Piyasası Kanunu (2005)'nun yürürlüğe girmesi ile birlikte enerji sektöründe rekabete dayalı ve işleyen piyasaların oluşturulmasına yönelik önemli adımlar atılmış, sektörde faaliyet gösteren kamu kuruluşları yeniden yapılandırılmış, serbestleşmeyi temin edecek kurallar uygulanmaya başlanmıştır.

Ülkemiz enerji sektörünün 2020 yılına kadar toplam yatırım ihtiyacı 120 milyar doları aşmaktadır (Yıldız, 2011). Bu çerçevede ihtiyaç duyulan yatırımların mümkün olduğu kadar özel sektör tarafından yapılmasını sağlayacak düzenlemelerin hayata geçirilmesi yönünde gerekli çalışmalar yürütülmektedir.

2002 yılından bu yana elektrik enerjisi üretimi kurulu güç kapasitesi 31.846 MW'tan 48.435,7 MW düzeyine yükselmiştir. Bu dönemde devreye giren 16.589,7 MW'lık ilave kapasitenin yaklaşık 11.000 MW'lık bölümü bu yıldan sonra başlayan ve özel sektör tarafından lisans alan santrallarden oluşmaktadır.

Bu santrallarden; 2.349,9 MW'ı termik (linyit, doğalgaz, ithal kömür, nafta ve sıvı+doğalgaz yakıtlı santrallar toplamı), 816,6 MW'ı hidrolik, 474 MW'ı rüzgâr, 17 MW'ı jeotermal, 17 MW'ı çöp gazı ve biyogaz santrallarıdır.

Rekabete dayalı yatırım ortamının geliştirilmesi, enerji sektöründeki önemli talep artışını karşılamada başlıca stratejilerimizden biridir.

Elektrik üretim tesislerinin özelleştirilmesindeki temel amaç ise; üretim kapasitesinin geliştirilmesi, mevcut üretim tesislerinin emre amadeliklerinin arttırılması ve kapasite kullanım faktörlerinin yükseltilmesi ile sektördeki rekabetin arttırılması için özel sektör kaynaklarının harekete geçirilmesidir.

Türkiye'de rüzgâr enerjisi yatırımcılarını ilgilendiren ve birbiriyle ilişkili olarak serbest piyasaya geçiş süreci boyunca sıklıkla revize edilen bir dizi yasal mevzuat bulunmaktadır. Bu yasal mevzutlardan biri olan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanuna göre yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımı şu şekildedir:

"Yenilenebilir enerji kaynakları olarak; Rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı onbeş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynaklarıdır".

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, vs. amaçlı 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretiminde Uygulanacak Usul ve Esasları belirlemiş ve yatırımcılar için çeşitli teşvikler sağlamıştır.

Bununla birlikte su, rüzgâr, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi için 5436 sayılı yasaya ve 4628 sayılı yasaya bağlı olarak ikincil mevzuat hazırlanmış ve zaman içinde bazılarında değişikliğe gidilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi için yapılacak yatırım maliyetlerinin yüksekliği yatırımcıların doğru planlama yaparak öngörülebilir ve sürdürülebilir hedeflere yönelmelerini zorunlu kılmaktadır. Bunun ön koşulu ise yatırım sürecinin ve yatırımların hukuki güvence altına alınmasıdır.

Yenilenebilir enerji sektörünü ilgilendiren mevzuat ile bu mevzuatın amaçları bu başlık altında ele alınmıştır.

3.1.1 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu

Bu Kanunun amacı; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanmasıdır.

3.1.2 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun

Bu Kanunun amacı; yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir.

3.1.3 Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği

Bu yönetmeliğin amacı; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu uyarınca oluşturulması öngörülen mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik piyasasında rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterecek tüzel kişilere verilecek lisanslara ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir.

3.1.4 Rüzgâr Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik

Bu Yönetmeliğin amacı; elektrik enerjisi üretiminde rüzgar enerjisinin etkin ve verimli kullanımını sağlamak amacıyla kaynak alanlarının belirlenmesi ve kullanımı ile, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından lisans başvuruları hakkında verilecek teknik görüşün oluşturulmasına ilişkin usul ve esasları belirlemektir.

3.1.5 Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik

Bu Yönetmeliğin amacı, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu hükümleri çerçevesinde halen piyasada faaliyet gösteren veya gösterecek tüzel kişiler tarafından hidroelektrik enerji üretim tesisleri kurulması ve işletilmesine ilişkin üretim, otoprodüktör, otoprodüktör grubu lisansları için DSİ ve tüzel kişiler arasında düzenlenecek Su Kullanım Hakkı Anlaşması imzalanması işlemlerinde uygulanacak usul ve esasları belirlemektir.

3.1.6 Elektrik Enerjisi Üretimine Yönelik Jeotermal Kaynak Alanlarının Kullanımına Dair Yönetmelik

Bu Yönetmeliğin amacı, elektrik enerjisi üretimine uygun jeotermal kaynak alanlarının kullanımına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir.

3.1.7 Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği Ve Kalitesi Yönetmeliği

Bu Yönetmeliğin amacı; elektrik iletim sisteminin güvenilir ve düşük maliyetli olarak planlanması, işletilmesi ve tüketicilere kaliteli, yeterli ve düşük maliyetli elektrik enerjisi arzedilebilmesi için uygulanacak arz güvenilirliği ve kalitesi koşullarına ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir.

3.1.8 Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi Verilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik

Bu Yönetmeliğin amacı; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için üretim lisansı sahibi tüzel kişilere Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi verilmesine ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir.

3.1.9 Elektrik Enerjisi Üretmek Amacıyla Aynı Bölge ve Aynı Kaynak İçin Yapılmış Birden Fazla Lisans Başvurusu Olması Halinde Seçim Yapılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ

Bu Tebliğ, Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği çerçevesinde üretim faaliyetinde bulunmak amacıyla aynı bölge ve aynı kaynak için başvuru yapan birden fazla tüzel kişi arasından seçim yapılmasına ilişkin usul ve esasları kapsar.

Bu Tebliğ, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanununa ve Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinin 9 uncu maddesine dayanılarak hazırlanmıştır.

Danıştay 13 üncü Dairesinin 2005/6292 Esas sayılı dosyasında, "Elektrik Enerjisi Üretmek Amacıyla Aynı Bölge ve Kaynak İçin Yapılmış Birden Fazla Lisans Başvurusu Olması Halinde Seçim Yapılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ"in iptaline karar vermiştir.

3.2 RES Projelerinin Lisanslandırılması Süreci

Lisanslandırma süreci EPDK'na lisans başvurusunda bulunulması ile başlar. Lisans başvurusunda sunulması gereken belge ve bilgiler EPDK resmi internet adresi üzerinde mevcut olup toplam 14 adet belge, beyan ve bilgiyi içermektedir. Bu belge ve bilgilerin eksiksiz olması durumunda lisans başvurusu inceleme ve değerlendirmeye alınır.

İnceleme ve değerlendirmeye alınan lisans başvurularına ilişkin, öncelikli olarak ilgili dağıtım şirketi ve TEİAŞ'a bağlantı ve sistem kullanımı konusunda görüş sorulur. Bunula birlikte Kamulaştırma Dairesi Başkanlığı'ndan söz konusu proje için inşaat öncesi döneme ilişkin sürenin belirlenmesi istenir.

Bağlantı ve sistem kullanımı hakkındaki görüşün olumlu olması ve Kamulaştırma Dairesi Başkanlığı tarafından inşaat öncesi döneme ilişkin sürenin belirlenmesi sonrasında, lisans başvurusu hakkında Kurul Kararı ile uygun bulma kararı alınır.

Lisans başvurusu Kurul kararı ile uygun bulunan başvuru sahibi tüzel kişiden;

- Ana sözleşmesini ilgili mevzuata uygun hale getirmesi,
- Sermayesini yatırım tutarının %15 tutarına yükseltmesi,
- Teminat miktarını Lisans Yönetmeliği'nin ilgili hükmü ile belirlenen miktara çıkarması
- Tüm bu yükümlülüklerini Kurul Kararının tebliğ ettiği tarihten itibaren 90 gün içerisinde yerine getirmesi talep edilir.

Yükümlülüklerini öngörülen süre içerisinde yerine getiren tüzel kişilere Kurul Kararı ile üretim lisansı verilir.

3.3 RES Projelerine Yönelik Teşvik Mekanizmaları

RES yatırımcıları başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim yapmak isteyen kişiler hakkında yasal bazı teşvik mekanizmaları geliştirilmiştir.

4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, kurulu gücü azami 500 kW'lık üretim tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilere, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muafiyet verilmiştir.

Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği kapsamında; lisans almak için başvuruda bulunan tüzel kişilerden lisans alma bedelinin sadece %1'i alınmaktadır. Lisanslara derç edilen tesis tamamlanma tarihini izleyen ilk 8 yıl süresince yıllık lisans bedeli alınmamaktadır.

Yerli doğal kaynaklar ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerine, TEİAŞ ve/veya dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiler tarafından, sisteme bağlantı yapılmasında öncelik tanınmaktadır.

Orman vasıflı olan veya hazinenin özel mülkiyetinde kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi yapılmak amacıyla tesis, ulaşım yolları ve şebeke bağlantı noktasına kadarki enerji nakil hattı için kullanılacak olanlara Çevre ve Orman Bakanlığı veya Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında izin verilir, kiralama yapılır, irtifak hakkı tesis edilir veya kullanma izni verilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesis tipi için uygulanacak fiyatlar hidroelektrik üretim tesisinde 7,3 ABD Doları cent/kWh, rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisinde 7,3 ABD Doları cent/kWh, jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisinde 10,5 ABD Doları cent/kWh, biyokütleye dayalı üretim tesisinde (çöp gazı dâhil) 13,3 ABD Doları cent/kWh, güneş enerjisine dayalı üretim tesisinde 13,3 ABD Doları cent/kWh'tir.

Ayrıca, yenilenebilir enerji kanunu yenilenebilir enerjinin yanı sıra bu sistemlerde kullanılacak yerli üretimi de teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Burada belirtilenler, 29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı kanunun hükmüdür. Yenilenebilir enerji kanunu kapsamında yukarıdaki fiyatlara *"Tesis Tipi Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat Yerli Katkı İlavesi"* şu şekildedir:

Hidroelektrik üretim tesisi;

1. Türbin 1,3 ABD Doları cent/kWh
2. Jeneratör ve güç elektroniği 1,0 ABD Doları cent/kWh

Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi;

1. Kanat 0,8 ABD Doları cent/kWh
2. Jeneratör ve güç elektroniği 1,0 ABD Doları cent/kWh
3. Türbin kulesi 0,6 ABD Doları cent/kWh
4. Rotor ve nasel guruplarındaki mekanik aksamın tama-mı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.) 1,3 ABD Doları cent/kWh

Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi;

1. PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı 0,8 ABD Doları cent/kWh
2. PV modülleri 1,3 ABD Doları cent/kWh
3. PV modülünü oluşturan hücreler 3,5 ABD Doları cent/kWh
4. İnvertör 0,6 ABD Doları cent/kWh
5. PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme 0,5 ABD Doları cent/kWh

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi;

1. Radyasyon toplama tüpü 2,4 ABD Doları cent/kWh
2. Yansıtıcı yüzey levhası 0,6 ABD Doları cent/kWh
3. Güneş takip sistemi 0,6 ABD Doları cent/kWh
4. Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı 1,3 ABD Doları cent/kWh
5. Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı 2,4 ABD Doları cent/kWh

6. Stirling motoru 1,3 ABD Doları cent/kWh
7. Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği 0,6 ABD Doları cent/kWh

Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi

1. Akışkan yataklı buhar kazanı 0,8 ABD Doları cent/kWh
2. Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı 0,4 ABD Doları cent/kWh
3. Gazlaştırma ve gaz temizleme gurubu 0.6 ABD Doları cent/kWh
4. Buhar veya gaz türbini 2,0 ABD Doları cent/kWh
5. İçten yanmalı motor veya stirling motoru 0,9 ABD Doları cent/kWh
6. Jeneratör ve güç elektroniği 0,5 ABD Doları cent/kWh
7. Kojenerasyon sistemi 0,4 ABD Doları cent/kWh

Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi

1. Buhar veya gaz türbini 1,3 ABD Doları cent/kWh
2. Jeneratör ve güç elektroniği 0,7 ABD Doları cent/kWh
3. Buhar enjektörü veya vakum kompresörü 0,7 ABD Doları cent/kWh

Bu rakamları yüksek olmasalar dahi bir fiyat garantisi, bir teşvik olarak algılamak mümkündür. Yukarıda belirtilenlere ek olarak yatırım vergisinde %75 indirim sağlanmaktadır. Ayrıca, tesisin kurulduğu arazi devlet arazisiyse kirası ilk 10 yıl %85 indirimli ödenmektedir. Tesisten en yakın elektrik dağıtım ünitesine kadar olan iletim masrafları da yatırımcı tarafından karşılanmakla beraber, devlete ödenecek yükümlülüklerden kesilmek suretiyle yıllara bölünerek kompanse edilmektedir.

3.3.1 Dünya Bankası Kredileri

Dünya Bankası ile ortak yürütülen yenilenebilir enerji kaynaklarına kredi sağlanmasına yönelik uygulama neticesinde TSKB ve TKB tarafından 1 rüzgar, 4 jeotermal ve 16 hidroelektrik santral projesi olmak üzere toplam 21 projeye yaklaşık

203.869.133 $ kredi sağlanmıştır. Bu projelerin toplam kurulu gücü 585 MW'tır (Durak, 2010).

Ayrıca yapılan çalışmalar neticesinde, 28 Mayıs 2009 tarihinde Dünya bankası İcra Direktörleri Kurulu tarafından onaylanan Özel Sektör Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Projesi'nin "Kredi ve Garanti Anlaşmları" 9 Haziran 2009 tarihinde imzalanmış ve ülkemize Dünya Bankasının yenilenebilir enerji konusunda 600 milyon dolar kredi sağlanmıştır (Durak, 2010).

3.4 Ülkemizde Serbest Elektrik Enerjisi Piyasası İşlem Süreci

4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nda ikili anlaşmalara dayalı piyasa yapısını tamamlayıcı bir dengeleme ve uzlaştırma sistemi tanımlanmış ve bu sisteme ilişkin düzenlemeler Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği (DUY) kapsamında geliştirilmiştir.

DUY, 03.11.2004 tarihli ve 25632 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiş ve 08.11.2004 tarihi itibarıyla sanal olarak uygulanmaya başlamıştır. Yönetmelik, 20.07.2006 tarihli ve 831 sayılı Kurul Kararı uyarınca, 01.08.2006 tarihi itibarıyla nakdi olarak uygulanmaya başlanmıştır.

Daha sonra yük alma ve yük atma talimatları 1 Ekim 2009 tarihi itibariyle nakdi olarak uygulamaya alınan Gün Öncesi Planlama ve Dengeleme Güç piyasasına göre verilmeye devam etmektedir. Burada, yük alma ve yük atma talimatları sistem marjinal fiyatlarına (SMF) göre verilmektedir.

Bu uygulamalar kapsamında, özel sektör ve kamu elektrik üretim şirketleri elektrik sistemindeki arz ve talebi dengelemek üzere, santralların programladıkları üretimlerini artırarak yapacakları enerji satışına ve üretimlerini azaltarak yapabilecekleri enerji alışına ilişkin miktar ve fiyat tekliflerini,Piyasa işletmecisi olan TEİAŞ-Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi'ne (PMUM) ve Sistem İşletmecisi olan TEİAŞ Milli Yük Tevzii Merkezi'ne (MYTM) bildirirler.

Piyasa İşletmecisi-PMUM , gün öncesi planlama aşamasında; fiyat tekliflerini ucuzdan pahalıya doğru sıralayarak, elektrik sisteminde arz-talep dengesini sağlamak üzere en ekonomik santralların kendi programladıkları üretimlerini artırmaları veya azaltmaları yönünde talimatları hazırlar, saatlik sistem marjinal fiyatlarını belirler ve Sistem İşletmecisine bildirir.

Sistem İşletmecisi; bu talimatları sistem kısıtları ve ihtiyaçları doğrultusunda düzenleyerek ilgili santralarla iletir.Sistem işletmecisi ayrıca;gün boyunca sistem ihtiyaçlarını karşılamak üzere santrallara yeni yük alma-yük atma talimatları vererek gerçek zamanlı dengelemeyi sağlar.

Her ay sonunda PMUM tarafından, tüm piyasa katılımcılarının enerji dengesizliklerine ilişkin borç ve alacakları, saatlik sistem marjinal fiyatlarının ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanan sistem dengesizlik fiyatı(SDF) üzerinden hesaplanır.

3.4.1 Dengeleme sistemi

Dengeleme, elektrik enerjisi arz ve talebini gerçek zamanlı olarak dengede tutmak amacıyla, Sistem İşletmecisi (MYTM) tarafından yürütülen faaliyetlerden meydana gelmektedir.

Dengeleme, Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği hükümleri ve zorunlu ve/veya ticari yan hizmetler anlaşmaları çerçevesinde frekans kontrol ve talep kontrol hizmetlerine ek olarak sistemde belli teknik özelliklere sahip üretim tesislerinin üretimlerinin artırılması (yük alma) ya da üretimlerinin azaltılması (yük atma) suretiyle gerçekleştirilir.

DUY öncesi uygulamalar çerçevesinde, sistemdeki üretim tesislerine yük aldırılması ya da yük attırılması ile gerçekleştirilen dengeleme faaliyetlerinin mali sonuçlarının uzlaştırılmasına ilişkin düzenlemeler mevcut değildi. Bu sebeple, dengeleme kamuya ait santraller (EÜAŞ Santralleri) ile gerçekleştirilmekte, acil durum halleri dışında, özel sektör santrallerinin üretimlerine Sistem İşletmecisi tarafından müdahale edilmemekte idi.

DUY mekanizması kapsamında;

- Gerekli teknik şartları sağlayan tüm üretim tesisleri dengeleme faaliyetlerine katılabilirler (bu üretim tesisleri “dengeleme birimi” olarak adlandırılırlar),
- Dengeleme birimine sahip katılımcılar, üretim programlarını gün öncesinden Piyasa ve Sistem İşletmecisi’ne bildirirler,
- Dengeleme sistemi katılımcıları, üretimlerini artırarak sisteme elektrik enerjisi satmak için belirledikleri yük alma fiyatlarını ve üretimlerini

azaltarak sistemden aktif elektrik enerjisi satın almak için belirledikleri yük atma fiyatlarını teklif ederler,

- Piyasa İşletmecisi (PMUM), gün öncesi planlama aşamasında; fiyat tekliflerini ucuzdan pahalıya doğru sıralayarak, elektrik sisteminde arz-talep dengesini sağlamak üzere en ekonomik santralların kendi programladıkları üretimlerini artırmaları veya azaltmaları yönünde talimatları hazırlar, saatlik sistem marjinal fiyatlarını belirler ve Sistem İşletmecisine bildirir.
- Sistem İşletmecisi; Bu talimatları, sistem kısıtları ve ihtiyaçları doğrultusunda düzenleyerek ilgili santralarla iletir.Sistem işletmecisi ayrıca; gün boyunca sistem ihtiyaçlarını karşılamak üzere santrallara yeni yük alma yük atma talimatları vererek gerçek zamanlı dengelemeyi sağlar.

3.4.2 Dengeleme faaliyetlerinin uzlaştırılması

Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği'nde, dengeleme sisteminin tesis edilmesine ek olarak, dengeleme faaliyetlerinin mali sonuçlarının uzlaştırılmasına ilişkin esaslar da yer almaktadır. Dengeleme faaliyetlerinin uzlaştırılmasının aşağıdaki esaslar çerçevesinde yürütülmesi öngörülmüştür:

- Dengeleme talimatları, saatlik fiyatlar üzerinden aylık olarak uzlaştırılacaktır.
- Dengeleme amacıyla kabul edilen yük alma tekliflerine ilişkin piyasa katılımcıları tarafından gerçekleştirilecek olan üretim, piyasa katılımcılarına sistem marjinal fiyatı üzerinden ödenecektir.
- Dengeleme haricinde diğer sistem işletim gereklerinin karşılanmasına yönelik olarak yük aldırılan dengeleme birimlerinin sisteme satışlarında dengeleme birimlerinin teklif fiyatları esas alınacaktır. İlgili dengeleme biriminin teklif fiyatının sistem marjinal fiyatının altında olması durumunda, ilgili katılımcıya sistem marjinal fiyatı üzerinden ödeme yapılacaktır.
- Dengeleme amacıyla kabul edilen yük atma tekliflerine ilişkin piyasa katılımcılarına yapılacak olan satışlar için piyasa katılımcıları sistem marjinal fiyatı üzerinden ödeme yapacaklardır.
- Dengeleme haricinde diğer sistem işletim gereklerinin karşılanmasına yönelik olarak yük attırılan dengeleme birimlerinin sistemden alımlarında dengeleme birimlerinin teklif fiyatları esas alınacaktır. İlgili dengeleme biriminin teklif

fiyatının sistem marjinal fiyatının üzerinde olması durumunda, ilgili katılımcı sistem marjinal fiyatı üzerinden ödeme yapacaktır.

Sistem marjinal fiyatı, ilgili saat için sistemde enerji açığı olması durumunda, o saatte sistemin dengelenmesi amacıyla kabul edilmiş olan en yüksek fiyatlı yük alma teklifinin fiyatına eşit olacaktır. Benzer şekilde, ilgili saat için sistemde enerji fazlası olması durumunda, sistem marjinal fiyatı, o saat için sistemin dengelenmesi amacıyla kabul edilmiş olan en düşük fiyatlı yük atma teklifinin fiyatına eşit olacaktır.

Saatlik sistem marjinal fiyatı,sistemdeki enerji açık ya da fazlasının giderilmesi için kullanılan arz kaynaklarının, rekabetçi yapı içinde, marjinal maliyetleri doğrultusunda belirlenmiş olan fiyatları dikkate alınarak belirleneceği için, bu fiyatlar sistemdeki arz – talep dengesini yansıtan fiyatlar olacaktır.

Dengelemenin uzlaştırılması marjinal fiyatlandırma prensibine dayanıyor olması sebebiyle, dengeleme sistemi katılımcıları, dengeleme amacıyla kendilerine verilen yük alma talimatları doğrultusunda gerçekleştirecekleri üretim için en az kendi teklif ettikleri fiyata eşit ya da bu fiyattan yüksek olan ve o saat için arz – talep dengesini yansıtan saatlik marjinal fiyat üzerinden ödeme alacaklardır. Benzer şekilde katılımcılar, dengeleme amacıyla kendilerine verilen yük atma talimatları doğrultusunda sistemden alacakları enerji için en fazla kendi teklif ettikleri fiyata eşit ya da bu fiyattan düşük olan ve o saat için arz – talep dengesini yansıtan saatlik marjinal fiyat üzerinden ödeme yapacaklardır. Böylece, sistemde en ekonomik arz kaynağın sürekli çalışması sağlanarak arz optimizasyonu yapılabilmektedir.

Dengeleme faaliyetlerinin uzlaştırılmasına ilişkin, üreticilere uygulanacak fiyatın belirlenmesinde marjinal fiyatlandırma prensibi yerine, kendi teklif fiyatlarının esas alınması durumunda, katılımcıların sistemdeki arz – talep dengesini oluşturacak fiyatı tahmin etmeye çalışıp, kendi tekliflerini bu fiyata yaklaştırarak karlarını maksimize etmeye çalışmaları beklenir. Bu durum, katılımcıları piyasa fiyatlarını tahmin etmeye yönelik alt yapı ve sistem yatırımları yapmaya yöneltecek, bu da gerekli sistem yatırımlarını yapamayacak olan küçük yatırımcılar için bir dezavantaj oluşturacaktır. Halbuki, marjinal fiyatlandırma prensibinin uygulanması durumunda, katılımcılar tekliflerini kendi marjinal maliyetlerini yansıtacak şekilde oluşturabilecekler ve gerçekleştirdikleri dengeleme faaliyetleri sonucunda ilgili saate

ilişkin arz – talep dengesini yansıtan fiyatlar uygulanacağı için tüm katılımcılar için kar maksimizasyonu sürecin bir parçası olarak kendiliğinden sağlanabilecektir.

Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, katılımcıların enerji dengesizliklerinin uzlaştırılmasına yönelik kurallarda büyük değişiklikler getirmektedir. DUY ile birlikte, enerji dengesizliklerinin uzlaştırılması için uzlaştırma dönemi bazında, saatlik sistem marjinal fiyatlarının ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanan ve enerji açık ve fazlası yönünde tek bir Sistem Dengesizlik Fiyatı uygulanmaktadır.

Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği ile ortaya konan en önemli değişikliklerden biri olan bu uygulama ile hedeflenen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- Sistem dengesizlik fiyatının, arz – talep dengesini yansıtan saatlik sistem marjinal fiyatlarının ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanması sonucunda, sistem dengesizlik fiyatları da, uzlaştırma dönemi bazında arz – talep dengesini yansıtan fiyatlar olacaktır.
- Sistemdeki arz – talep dengesizlikleri, üretimlerini ve/veya tüketimlerini ikili anlaşmaları çerçevesinde gerçekleştirmeyen katılımcılardan kaynaklanacak ve bu katılımcılar, ilgili uzlaştırma dönemi bazında dengesizliğe maruz kalacaklardır. Dengesizliğe düşen bu katılımcıların enerji açık ya da fazlaları, sistemde arz – talep dengesinin sağlanması maliyetini yansıtan SDF üzerinden uzlaştırılacaktır. Sistemde dengesizliğe sebep olan katılımcıların, bu dengesizliğin giderilmesi için oluşan maliyetleri yansıtan SDF üzerinden uzlaştırılması, sistemde meydana gelen dengesizlik maliyetlerinin, buna sebep olan katılımcılar tarafından karşılanmasını sağlamakta, bu da tüm taraflar için hakkaniyetli bir uygulama oluşturmaktadır.
- DUY öncesi uygulanan yük alma, yük atma fiyatları, enerji açık ve fazlalarının uzlaştırılması için farklı sistem dengesizlik fiyatı ortaya koymakta idi.
- DUY kapsamında enerji açık ve fazlası yönünde tek bir SDF'nın uygulanması ile, sistemdeki enerji dengesizliğinin giderilmesi yönünde dengesizliğe düşen katılımcılar için cezai bir nitelik taşımamakta sadece sistemdeki enerji dengesizliğinin artması yönünde dengesizliğe düşen katılımcılar için,dengesizliklerin giderilmesi için oluşan maliyet oranında,

"sebep olan öder" prensibiyle faturalandırma yapılmaktadır. Bu durum, tek SDF uygulaması için aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

1) Sistemde enerji açığı olması durumunda, enerji dengesizliğinin giderilmesi için yük alma teklifleri kabul edilecek ve SDF yüksek çıkacaktır. Bu durumda, fazla üretim gerçekleştirerek sisteme fazla enerji vermiş olan ve sistemdeki enerji açığının giderilmesine katkı sağlamış olan katılımcılar, fazla üretimlerini yüksek bir fiyattan satma şansına sahip olacaklardır. Yine aynı durumda, enerji açığına düşerek sistemden enerji almak durumunda olan katılımcılar, sistemin dengesizliğe düşmesine sebep oldukları için, enerji eksiklerini yüksek fiyattan gidermek durumunda kalacaklardır.

2) Sistemde enerji fazlası olması durumunda, enerji dengesizliğinin giderilmesi için yük atma teklifleri kabul edilecek ve SDF düşük çıkacaktır. Bu durumda enerji açığına düşerek sistemden enerji almak durumunda olan katılımcılar, sistemdeki enerji fazlasının giderilmesine katkı sağlamış oldukları için, enerji eksiklerini düşük fiyattan giderebileceklerdir. Yine aynı durumda, enerji dengesizliği sebebiyle fazla üretim gerçekleştirerek sisteme fazla enerji vermiş olan katılımcılar, sistemin dengesizliğe düşmesine sebep oldukları için, fazla üretimlerini düşük bir fiyattan satma durumunda kalacaklardır.

Yukarıdaki örneklerde de görüldüğü gibi, tek SDF uygulaması, sadece sistemin dengesizliğini artırıcı yönde dengesizliğe düşen katılımcılara yükümlülük getirmektedir.Bu şekilde katılımcılara sebep oldukları dengesizliğin maliyetleri yansıtılarak, haksız kazancın ve haksız rekabetin oluşması önlenmektedir.

DUY öncesi uygulamaları sadece özel sektör katılımcılarının enerji açık ve fazlalarının uzlaştırılmasına yönelik mekanizmaları içermekte idi. DUY'un uygulamaya geçmesi ile kamu ve özel tüm piyasa katılımcıları, eşit şartlar altında enerji dengesizliklerinin giderilmesi için uzlaştırmaya tabi olacaklardır. Bu da piyasadaki tüm tarafların eşit şartlar altında rekabet edebilmelerine katkı sağlayacaktır.

- Piyasadaki ikili anlaşmalara baz oluşturan referans fiyatlardan biri düzenlemeye tabi yük alma, yük atma fiyatları idi. DUY'un uygulamaya geçmesi ile düzenlemeye tabii fiyatın yerini DUY uygulamaları sonucu serbest piyasa ortamında oluşan SDF almıştır. Piyasadaki referans fiyatın,

düzenlemeye tabi bir fiyat yerine, arz – talep dengesini yansıtan bir fiyat olması piyasadaki öngörülebilirliğin ve piyasaya duyulacak olan güvenin artmasına olumlu katkı sağlayacaktır.

3.5 Ülkemizdeki Yasal Durum Hakkında Genel Değerlendirme

Enerji sektörünün yeniden yapılanması sürecinde mevzuat değişikliklerinin sık olması yadırganacak bir durum değildir. Bununla birlikte hukuki ve teknik alt yapısı hazırlanmadan yapılan düzenlemeler sağlıklı bir piyasa yapısının kurulması önünde engel teşkil etmektedir.

Yatırımcılar açısından dikkat edilmesi gereken en önemli konu hukuki açıdan öngörülebilir yatırım süreci ve yasal güvencedir. Bu nedenle kuralların önceden konulması, lisanslama ve yatırım sürecindeki belirsizliklerin giderilmesi, lisans başvurusu sırasındaki düzenlemelerin sonradan başvuru sahiplerinin aleyhine değiştirilmemesi gerekir. Hukuka aykırı düzenlemeler yapılması nedeniyle yatırımcı ile düzenleyici kurum ve diğer ilgili kurum ve kuruluşlar arasında birçok hukuki uyuşmazlık meydana gelmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi amaçlı yatırım yapan özel sektör gerçek ve tüzel kişilerinin mevzuatı ve kurul kararlarını yakından takip etmesi, kendi aleyhine yapılan düzenlemelere karşı yasal yollara başvurması menfaatine olan bir durumdur.

4. GERÇEK OPSİYONLAR

Gerçek opsiyonlar şirketlerin belirsizlik ve risk durumlarında verecekleri kararları esnek bir yapıda değerlendirerek, sağlıklı bir karar vermelerinde kullanılan araçlardır (Onar, 2009). Gerçek opsiyonlar, finansta kullanılan opsiyon teorisinin bir uzantısı olmakla birlikte finansal opsiyonların gerçek kararlara ve finansal olmayan varlıklara uygulanmış halidir (Boer, 2002). Bu nedenle, çalışmada öncelikle belirsizlik, risk ve esneklik kavramlarına yer verilmiş, sonrasında finansal opsiyon kavramı ve terimleri açıklanmış, daha sonra ise gerçek opsiyon kavramı irdelenmiştir.

4.1 Belirsizlik, Risk ve Esneklik Kavramları

Günümüzde dünyanın globalleşmesiyle birlikte yatırımlar daha geniş etki alanlarına sahip olmakta, bununla birlikte şirketler yapılarını saran daha fazla belirsizlikle başa çıkmak zorunda kalmakadırlar. Yapılacak olan yatırımlar da şirketin karşı karşıya kaldığı belirsizlik ortamında değerlenmek durumundadırlar. Böylelikle, artan belirsizlikler projelerin uygulanması kararlarından başlayarak planlamadaki bütün aşamaları etkilemektedir. Bu noktada belirsizlik ve risk kavramlarının ayrımının yapılması faydalı olacaktır. Literatürde, Belirsizlik ve risk kavramına dair bir çok tanım bulunmakla birlikte, çoğunlukla yapılan risk tanımı; genel anlamda, bir olayın beklenenden farklı bir şekilde gerçekleşmesi durumu, özel manada ise; kurumun stratejik, mali ve operasyonel hedeflerini gerçekleştirmesini engelleyecek, her türlü olayın gerçekleşme olasılığıdır. Belirsizlik ise, karar vericilerin mümkün alternatifleri bilmemeleri, gerçekleşme olasılıklarını hesaplayamamaları ve potansiyel çıktı hakkında öngörüde bulunamamaları, emin olamamaları durumunda meydana gelmektedir. Belirsizlik durumları, daha çok geçmiş veri bulunmaması durumunda ortaya çıkmaktadır (Özoğul, 2006).

Risk, belirsizlik kavramından farklıdır. Risk, hesaplanabilir, sonuçlarına belirli olasılıklar atfedilebilir. Bu olasılıklar belli dağılımlara uyarlar. Risk ve belirsizlik arasında "bilgi" açısından da farklılık söz konusudur. Risk durumunda bilgi mevcuttur ancak belirsizlikte"bilgisizlik" esastır.

Riskte bilgiyi sağlayan, geçmişe ilişkin olarak yapılan istatistiksel veridir, olasılık hesabıdır. Bilgisizlik ise belirsizliğe karakter kazandıran iki ana faktörden biridir ve belirsizliğin çözümlemesinin felsefî düzlemde kalmasına neden olan da, öngörülemezliği ve ölçülemezliği getiren bu bilgisizliktir. Risk, bir olayın meydana gelme olasılığının oranı iken, belirsizlik ise, bir olasılığa bağlı olmadan, herhangi bir şeyin olabileceğine yönelik beklentidir ve kaygıya neden olur. Eğer belirsizlik, risk olarak açıklanırsa bir kaygı kaynağı olmaktan çıkmaktadır (Dal, 2009).

Bununla birlikte, belirsizlik, finansal olanaklar ortaya koyar. Önemli olan, sahip olunan yatırımın bu belirsizliğe maruz kalma miktarı ve buna göre bu belirsizlikten en fazla yararlanılacak şekilde pozisyon almaktır. Şirketler, buna göre yatırım stratejilerini değiştirmeli ve bu belirsizliklerin barındırdığı değeri proje değerlerine eklemelidirler (Venetsanos, 2002)

Yenilenebilir enerji üretim projelerinde, potansiyel ve işlenmemiş ekonomik etmen esneklik değeridir. Esneklik, projeler belirsizlikten etkilenmeye başladığında söz konusudurlar ve belirsizlikteki değişime göre yöneticinin projeyi değiştirme imkanını kullanarak, esneklik kaynaklarını düzenlemek anlamına gelmektedir. Yenilenebilir enerjide ise başlıca belirsizlik kaynakları, elektrik fiyatı, yenilenebilir enerji kaynağı ve teknolojisidir. Şirketlerde esneklik kaynakları ise, esnek yatırım zamanları ve esnek dizaynlar ile sağlanmaktadır (Mutale, 2011).

4.2 Opsiyon Kavramı

Opsiyon belirli bir gerçek veya finansal varlığın üzerine yazılmış olan bir türev sözleşmedir. En basit anlamıyla, alıcısına belirli bir varlığın belirli bir miktarını yine belirli bir fiyattan ve belirli bir tarihte veya belirli bir tarihe kadar alma yada satma hakkı tanıyan sözleşmelere opsiyon denmektedir. Opsiyonların en önemli özelliği, alıcısını sözleşmeyi uygulama zorunluluğu altına sokmamasıdır (Tolga, 2008). Alıcının opsiyon sözleşmesini alması esnasında ödediği fiyat yada diğer bir deyişle opsiyon primi dışında hiçbir yükümlülüğü yoktur (Gökçe, 2006)

Finansal opsiyonların ilk defa kullanımı Eski Yunan ve Roma dönemine rastlamaktadır.17. yüzyılda Hollanda'daki lale soğanları üzerine yazılan opsiyonlarla tekrar kullanımı gündeme gelmiştir. 18.yüzyılda İngiltere'de hisse senetleri üzerine yazılan opsiyonlar bulunmaktadır ancak bunlarında yeterli bir denetlemesi ve

yaptırımı olmadığından opsiyon piyasası darbe almış ve bir müddet daha gündemden silinmiştir (Özoğul, 2006). Günümüzde ise yeterli denetlemeler çerçevesinde kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

4.2.1 Opsiyon işlemlerinde kullanılan temel kavramlar

Opsiyon işlemlerinde kullanılan bazı temel kavramlar bulunmaktadır. Öncelikle bunlar tanıtılacaktır.

Opsiyonu satın alan kişi (opsiyon alıcısı); bir finansal varlığı ya da vadeli işlem sözleşmesini önceden belirlenen bir fiyattan vade tarihinde veya daha önce satın almak veya satmak hakkını elinde bulunduran kişidir (Lee, 2011).

Opsiyonu yazan kişi (opsiyon yazıcısı = opsiyon satıcısı); opsiyonu satmak ya da almak hakkını elinde bulunduran kişinin isteği üzerine yükümlülüğünü, satın almak ya da satmak şeklinde yerine getiren kişidir (Özoğul, 2008).

Opsiyon primi (opsiyon fiyatı); opsiyonu satın alan kişinin, opsiyonu yazan kişiye ödemek durumunda olduğu ve tarafların kendi aralarında belirledikleri ücrettir (Lee, 2011)

Kullanım fiyatı (X); opsiyon sözleşmesinde önceden belirlenen ve opsiyon işleme konulduğunda söz konusu varlık için ödenecek alım ya da satım fiyatıdır (Özoğul, 2008).

Vade sonu tarihi (T) ise; opsiyon sözleşmelerinde önceden belirlenen ve opsiyonların geçerliliklerinin sona erdiği gündür (Güney, 2008).

4.2.2 Opsiyon türleri

Finansal opsiyonlarda iki tür opsiyon bulunmaktadır. Bunlar alım (alma hakkı) opsiyonları ve satım (satma hakkı) opsiyonlarıdır.

Alım (alma hakkı) opsiyonları; opsiyonu alan tarafa, belirli bir vadede veya vadeye kadar önceden belirlenen fiyat, miktar ve nitelikte ekonomik veya finansal gösterge ile malı, kıymetli madeni ve dövizi, opsiyonu satan yatırımcıya ödediği bir prim karşılığında belli bir fiyattan alma hakkını verir.

Opsiyonu yazan yatırımcı ise belli bir vadeye kadar veya vadede opsiyona dayanak oluşturan belli miktardaki malı, finansal ürünü, sermaye piyasası aracını veya

ekonomik göstergeyi yatırımcının talebi halinde belirli fiyattan satmakla yükümlüdür.

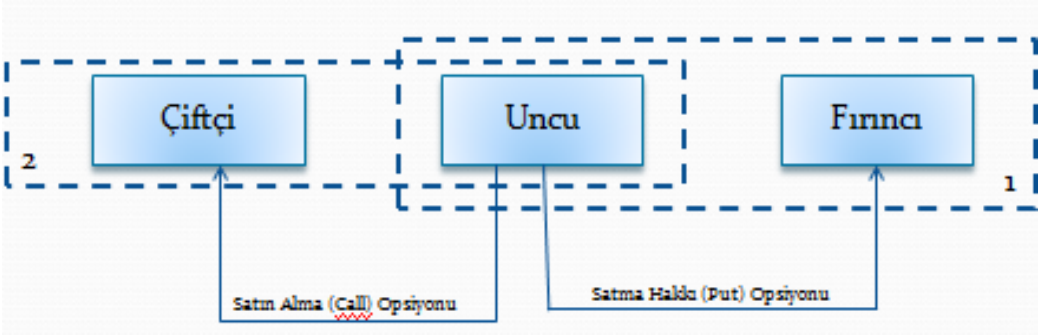
Satım (satma hakkı) opsiyonları, opsiyonu alan tarafa belirli bir vadede veya vadeye kadar, önceden belirlenen fiyat, miktar ve nitelikte ekonomik veya finansal göstergeyi, sermaye piyasası aracını, kıymetli maden ve dövizi satma hakkı veren (ancak satmaya zorunlu tutmayan) satan tarafı ise opsiyon alıcısının talebi halinde satmaya yükümlü kılan sözleşmelerdir.

Opsiyonu alan tarafın ileride fiyatların düşeceği yönünde beklentisi gerçekleştiğinde, elindeki menkul kıymetleri piyasaya göre daha yüksek fiyattan opsiyon yazıcısına satma hakkı doğacaktır. Ancak beklentisi gerçekleşmediğinde opsiyondan doğan satın hakkını kullanmayacaktır. Bu durumda ödediği prim kadar zarar söz konusu olacaktır.

Opsiyon piyasasında iki çeşit opsiyon bulunmaktadır. Bunlar Amerikan tipi opsiyonlar ve Avrupa tipi opsiyonlardır. Amerikan tipi opsiyonlar, vade süresi içinde hak sahibi tarafından dilendiği an uygulamaya konulabilirler. Avrupa tipi opsiyonlar, önceden belirlenmiş bir tarihte uygulamaya konulabilir.

Opsiyonlar, ayrıca, vade sonundaki getirilerine göre de sınıflandırılırlar. Eğer bir alım opsiyonunun kullanım fiyatı spot fiyattan düşük ise bu opsiyona karda opsiyon (in-the-money) denilmektedir. Vade sonu itibariyle alım opsiyonu sözleşmesinin kullanım fiyatı, opsiyona konu olan dayanak varlıktan yüksek ise bu opsiyon zararda (out-of-the-money) opsiyondur (Boer, 2002).

Opsiyon kullanımının mantığı Şekil 4.1'de basit bir örnekle şematize edilmiştir. Opsiyon mantığı Şekil 4.1'deki gibi özetlendiğinde şemanın kurgusu aşağıda anlatıldığı gibi gerçekleşecektir.



Şekil 4.1 : Opsiyon kullanımı örneği.

Bu örnekte, uncu çiftçiden buğday alarak una dönüştürmekte, fırıncı da uncudan un alarak ekmek yapmaktadır. Şekil 4.1'te 1 numara ile gösterilen opsiyon anlaşması olan satma hakkı (put) opsiyonu şu şekilde gelişmektedir:

Varsayalım ki hali hazırdaki unun çuval fiyatı 50 TL olsun. Uncu bu mevsimde çok fazla buğday üretildiğini ve un fiyatlarının gelecek günlerde düşeceğini düşünmektedir. Bu sebeple kendisini garantiye almak için fırıncıya giderek onunla satma hakkı (put) opsiyonu imzalamak istediğini söyler. Öte taraftan, fırıncı ise un fiyatlarının gelecek günlerde düşmeyeceğini düşünmekte olduğundan uncu ile bu opsiyonu imzalamayı kabul eder. Bu durumda, uncu fırıncıya belirlenen bir vadede geçerli olmak üzere, anlaşılan miktarda opsiyon primi öder. Bunun karşılığında, fiyatlar düşse bile, opsiyon imzalanırken belirlenen kullanım fiyatından, ununu fırıncıya satmayı garanti etmiş olur. Eğer işler uncunun planladığı gibi giderse uncu (opsiyon alıcısı), opsiyonu kullanmayı tercih ettiğinde,

Kar_{put} = (satılan çuval sayısı) x (kullanım fiyatı-piyasa fiyatı) - (opsiyon primi) **(4.1)**

kadar kar edecektir. Aksi takdirde, prim kadar zarar edecektir. Bu durumda ise fırıncının (opsiyon satıcısı) prim kadar karı olmuş olacaktır. Bu anlaşma, opsiyonu alan taraf olan uncuya belirli bir vadede yada bir vadeye kadar belirlenen fiyat, miktar ve nitelikteki malı satma hakkı verirken, opsiyon satıcısı olan fırıncıya opsiyon alıcısı olan uncunun talebi halinde malı fırıncıya malı satın alma sorumluluğu yüklemektedir. Eğer fiyatlar yükselirse, uncu bu opsiyonu kullanmak zorunda değildir. Malı piyasadaki farklı alıcılara satabilir. Bu durumda prim kadar zararı olacaktır.

2 numara ile gösterilen opsiyon anlaşması olan satın alma (call) opsiyonu ise şu şekilde gelişmektedir:

Yine varsayalım ki buğdayın çuval fiyatı 50 TL olsun. Uncu, çiftçiyle yapacağı bu anlaşmayı hasadın bu yıl içerisinde iyi olmadığını ve buğday fiyatlarının yükseleceği düşüncesiyle imzalamak ve böylece beklediği durum gerçekleştiğinde ucuz fiyattan satın alma hakkını garantilemek istemektedir. Çiftçi ise fiyatların yükselmeyeceğini düşünmekte olduğundan anlaşmayı imzalamayı kabul eder. Bu durumda, uncu çiftçiye belirlenen bir vadede geçerli olmak üzere, anlaşılan miktarda opsiyon primi öder. Bunun karşılığında, fiyatlar yükselse bile, opsiyon imzalanırken belirlenen kullanım fiyatından, çiftçiden buğdayı opsiyon anlaşması imzalanırken belirlenen

kullanım fiyatından almayı garanti etmiş olur. Eğer işler uncunun planladığı gibi giderse uncu (opsiyon alıcısı), opsiyonu kullanmayı tercih ettiğinde,

Kar_{call} = (alınan çuval sayısı) x (piyasa fiyatı-kullanım fiyatı) - (opsiyon primi) **(4.2)**

kadar kar edecektir. Aksi takdirde, prim kadar zarar edecektir. Bu durumda ise çiftçinin (opsiyon satıcısı) prim kadar karı olmuş olacaktır.

Bu anlaşma opsiyon satıcısına opsiyon alıcısı opsiyonunu kullanma talebinde bulunursa satma sorumluluğu yüklerken, opsiyon alıcısına ise her hangi bir yükümlülük getirmez. Fiyatlar düşerse, uncu ununu piyasadan alma hakkını kullanabilir. Bu durumda ise prim kadar zararı olacaktır.

Çizelge 4.1 opsiyonu satın alan ve opsiyonu satan tarafların yükümlülüklerini göstermektedir.

Çizelge 4.1 : Opsiyon yükümlülükleri

	Satın Alan	**Satan**
Satın alma opsiyonu	Varlığı satın alma hakkı	Varlığı satma zorunluluğu
Satma hakkı opsiyonu	Varlığı satma hakkı	Varlığı satın alma zorunluluğu

Buna göre, satın alma opsiyonunu satın alan kişi varlığı satın alma hakkına sahip iken, bu opsiyonu satan kişinin söz konusu varlığı satma zorunluluğu bulunmaktadır. Satma hakkı opsiyonunu satın alan kişi varlığı satma hakkına sahipken bu opsiyonu satan kişinin varlığı satın alma zorunluluğu bulunmaktadır.

Opsiyonların değeri pazar fiyatı, kullanım fiyatı, risksiz faiz oranı, bitiş tarihine olan zaman ve değişkenliğe bağlı olarak değişmektedir.

S varlığın değerini, X kullanım fiyatını, t opsiyonun ömrünü, σ volatiliteyi, R_f risksiz faiz oranını belirtmek üzere, Çizelge 4.2'de amerikan tipi bir opsiyonda alıcının ve satıcının olası işlemleri sunulmuştur (Onar, 2009).

Literatürde, ayrıca S varlığın değerini, X kullanım fiyatını, t opsiyonun ömrünü, σ volatiliteyi, R_f risksiz faiz oranının artış ve azalışlarını test ederek bunların opsiyon değeri üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda, uygulanan duyarlılık analizi sonucunda verilen parametrelerin satın alma ve satma hakkı opsiyonu değerlerine olan etkisini inceleyen hipotezlerden oluşan veriler ise Çizelge.4.3'te sunulmuştur (Onar, 2009).

Çizelge 4.2 : Amerikan tipi bir opsiyonda alıcının ve satıcının olası işlemleri

	Şimdi	**Vade Sonunda**
Satın alma opsiyonu satın alan taraf	Opsiyon fiyatını öder (call price) ve opsiyon kullanma hakkına sahip olur.	Eğer varlık değeri (S) > Kullanım fiyatı (X) opsiyon alıcısı opsiyonu kullanır. Brüt Kar = S - X Net Kar = S - X - Opsiyon fiyatı
Satınalma opsiyonu satan taraf	Opsiyon fiyatını (call price) alır ve vadeden önce opsiyon alıcısının talep ettiği zamanda varlığı kullanım fiyatına opsiyon alıcısına vermeyi kabul eder.	Eğer varlık değeri (S) < Kullanım fiyatı (X) opsiyon alıcısı opsiyonu kullanmaz. Opsiyon alıcısı kaybı = Opsiyon fiyatı Opsiyon satıcısı kazancı = Opsiyon fiyatı
Satma hakkı opsiyonu satın alan taraf	Opsiyon fiyatını öder (put price) ve opsiyon kullanma hakkına sahip olur.	Eğer varlık değeri (S) < Kullanım fiyatı (X) opsiyon alıcısı opsiyonu kullanır. Brüt Kar = X - S Net Kar = X - S - Opsiyon fiyatı
Satma hakkı opsiyonu satan taraf	Opsiyon fiyatını (put price) alır ve varlığı opsiyon alıcısı talep ederse kullanım fiyatına almayı taahhüt eder.	Eğer varlık değeri (S) > Kullanım fiyatı (X) opsiyon alıcısı opsiyonu kullanmaz. Opsiyon alıcısı kaybı = Opsiyon fiyatı Opsiyon satıcısı kazancı = Opsiyon fiyatı

Çizelge 4.3 : Opsiyon değerine etkisi olan faktörler

Faktör	Satın alma opsiyon değeri	Satma Hakkı Opsiyon Değeri
S'de artış	Arttırır	Azaltır
X'de artış	Azaltır	Arttırır
T'de artış	Arttırır	Arttırır
r_f'de artış	Arttırır	Azaltır
σ'de artış	Arttırır	Arttırır

4.3 Gerçek Opsiyonun Tanımı

Gerçek opsiyon teorisinin tohumları 1973'te Myron Scholes, Robert Merton ve sonrasında Fisher Black tarafından finansal opsiyonların değerlenmesiyle ilgili yaptıkları çalışmayla Nobel ödülü kazanmalarıyla atılmıştır (Owens, 2003). Bunlardan sonra, Myers ve Tumbull (1977) ve Ross (1978) "gerçek" finansal opsiyon kavramı üzerinde ilk çalışan araştırmacılar olmuşlardır. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden Steward Meyer 1984'te "gerçek opsiyon" terimini opsiyon

teorisini kullanarak finansal olmayan varlıkların değerlemesini açıklamıştır. Bu yaklaşıma göre, yatırımcı bilinen market bilgileri ile etkin pazar hipotezleri, portfolyo teorileri, projenin gelecek nakit akışlarını değerlemede kullanılan ticaret stratejileri ile proje değerini maksimize etmeye çalışır. Opsiyonun değeri gerçek olduğundan, gelecekteki belirsizlik arttıkça proje değeri artmaktadır (Owens, 2003).

En genel anlamda finansal opsiyonlarla tanım açısından bir karşılaştırma yapıldığında; finansal opsiyonlar belirli bir zaman dilimi için finansal bir varlığı satın alma ya da satma hakkını sunarken, reel opsiyonlar belirli bir zaman dilimi içerisinde bir projeyi firmanın stratejik kararları doğrultusunda en geniş anlamda şekillendirme olanağını tanımaktadır.

Gerçek opsiyonlar ile finansal opsiyonlar arasında bir benzerlik olmasına rağmen, gerçek opsiyonlar ile hisseler üzerinde gerçekleştirilen alım opsiyonları aynı değildir. Alım opsiyonlarının aksine, yatırım projelerinin gerçek opsiyonların ticareti yapılamaz ve bu opsiyonlar sadece bir kişiye özel değildirler (Trigeorgis, 1996).

Finansal opsiyonlarla gerçek opsiyonlardaki değişkenler ve bunların kıyaslaması Çizelge 4.4'de gösterilmiştir (Özoğul, 2006).

Çizelge 4.4 : Finansal opsiyonlar ile gerçek opsiyonların karşılaştırılması.

Opsiyon Değişkenleri	**Finansal Opsiyonlar**	**Reel Opsiyonlar**
Varlığın Değeri (S)	*Hisse Senedi Fiyatı:* Piyasa tarafından belirlenir ve eksi olamaz.	*Beklenen Nakit Akışlarının Şimdiki Değeri:* Projenin değeri kesin olarak belirlenemez, eksi olabilir. Projenin ömrü boyunca oluşan nakit akışlarının bugünkü değerine bağlıdır.
Kullanım Fiyatı (X)	*Kullanma Fiyatı:* Tek, önceden belirlenmiş ödeme.	*Yatırım Maliyeti:* Uzun bir zaman dilimine yayılı belirsiz ödeme.
Opsiyonun Ömrü (t)	*Kullanma Tarihine Kalan Süre:* Önceden belirlenmiştir ve çoğunlukla kısa sürelidir.	*Yatırım Yapma Olanağının Ortadan Kalkmasına Kalan Süre:* Ömrü çoğunlukla 2 – 5 sene arasında değişir. Bazı yatırımlarda opsiyonun ömrü değişen piyasa koşullarına bağlı olarak uzatılabilir
Volatilite (σ)	*Hisse Senedinin Getirisinin Varyansı:*	*Projenin Nakit Akışlarındaki Belirsizlik:* Yıllık bazda proje nakit akışlarındaki standart sapmalar.

Çizelge 4.4 (devam) : Finansal opsiyonlar ile gerçek opsiyonların karşılaştırılması.

Opsiyon Değişkenleri	Finansal Opsiyonlar	Reel Opsiyonlar
Volatilite (σ)	Yıllık bazda hisse senedi getirisindeki standart sapmalar. Volatilite opsiyonun ömrü boyunca artabilir ya da azalabilir. Volatilite, hisse senedi değerinin varyansı kullanılarak tahmin edilebilir.	Projelerde zaman ilerledikçe volatilite giderek azalma eğilimindedir. Firmanın kendi proje verilerinden ya da diğer firmaların benzer projelerinden yararlanılarak tahmin edilebilir.
Risksiz Getiri Oranı (R_f)	*Risksiz Getiri Oranı:* Faiz oranlarındaki artış gelecekteki kar payı ödemelerinin bugünkü değerini azaltır fakat varlığın beklenen büyüme oranını arttırır.	*Risksiz Getiri Oranı:* Faiz oranlarındaki artış gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerini azaltır fakat yatırımı gerçekleştirmek için beklemenin değerini arttırır

Gerçek opsiyon analizi, tartışmalı konulara daha derin bir bakış açısı sağlamaktadır. Gerçek opsiyon yaklaşımı neoklasik NBD yaklaşımlarıyla elde edilemeyen yatırım davranışlarını açıklar ve yatırım imkanlarının daha derin bir biçimde anlaşılmasını sağlarken endüstrideki yatırım davranışlarını da bütüncül bir halde sunmaya yardımcı olur (Kjerland, 2007).

Stratejik yatırım kararlarının verilmesinde, yatırım kararlarının finansal sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesinde, yatırım projelerinin sıralanmasında kullanılır. Geleneksel yöntemler, finans yöneticisine projenin baslangıcında, ellerindeki mevcut verileri kullanarak projeyi yapma ya da yapmama kararı verme imkanı tanırken, reel opsiyonlar, yatırım projesiyle ilgili zamanlama, terk etme, geçici olarak kapatma, genişletme, daraltma, büyüme opsiyonlarını değerleme sürecine katma imkanı tanır (Erdoğan, 2008).

Bununla birlikte, bu analiz GOA yatırımın gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği üzerinde değil, yatırım probleminin ve yatırım zamanının ne zaman olacağı üzerinde odaklanır. Bu analiz, nakit akışlarının üzerindeki farklı kaynaklara ait belirsizlikleri açık bir şekilde analiz eder ve gerçek yatırım oranlarının beklenen değerlerden neden daha farklı gerçekleşme eğiliminde olduğunu ve yatırımı harekete geçirmek üzere dizayn edilmiş politikaların neden beklenenden daha az etki gösterdiğini açıklamaya yardımcı olur (Prelipcean, 2008).

Gerçek opsiyon yaklaşımının ana özelliği, esnekliğin doğasında bulunan geri dönülemeyen bir yatırımı gelecekteki bir zamana erteleme değerini de hesaba katıyor olmasıdır. Bu bekleme değeri yenilenebilir enerji teknolojileri kapsamında özellikle önem arzetmektedir. Bu yaklaşımda, yatırımı erteleme ve bu beklemenin değerinin hesap edilmesi bir çeşit karar verme problemi olarak ele alınmaktadır (Madlener, 2008).

Gerçek opsiyonların stratejik bir öneme sahip olması için i) belirsizliğin var olması ii) proje değerini belirsizliğin belirliyor olması iii) Yönetimin esnek olması iv) esneklik stratejilerinin inandırıcı ve gerçekleştirilebilir olması v) Yönetimin de gerçekleştirilecek stratejilere yaklaşımının rasyonel olması gerekmektedir (Mun,2002).

Firma geri dönülemeyen bir yatırıma karar verdiğinde, bir opsiyonu gerçekleştirmektedir. Kaybolan opsiyon değeri, yatırım maliyetinin değerlendirilmesinde hesaba katılması gereken bir fırsat maliyetidir. Bu, neoklasik yatırım teorisi ile gerçek yatırım davranışları arasındaki tutarlılık sorununu açıklayan temel kavramdır (Pindyck, 1991).

Finansal teoride, pazar riski market riski ve özel riskler olarak ikiye ayrılmaktadır. Market riskleri; gelecekteki bilinmeyen gelirler, maketteki değişimlere oldukça duyarlı nakit akışlarını içerir ve riske uyarlanmış faiz oranı ile günümüze indirgenirken, özel riskler ise firmanın marketin değişimiyle etkilenmeyeceği ancak şirketin iç mali yapısının değişiminden etkilenen ikincil yatırım giderlerini içerir ki bunlar da risksiz faiz oranıyla bugüne indirgenmektedirler (Mun, 2002).

4.4 Geleneksel Yatırım Değerleme Yöntemleri

Proje değerleme hem özel sektördeki firmalar hem de kamu sektörü için oldukça hayati bir önem arz etmektedir. Herhangi bir yatırım yapılmadan önce her organizasyonun farklı değerlendirmeler ve analizler yapması gerekmektedir. Yatırımın ne kadara mal olacağı, yatırım sonunda kar ve zarar durumunun ne olacağı ile ilgili kısımlar her yatırım projesi için ortak olan hususlardır (Fernandes, 2011) Proje değerlemede kullanılan bazı metotlar alt başlıklarda sunulmuştur.

4.4.1 İndirgenmiş nakit akışı yöntemi

İndirgenmiş nakit akışı yöntemi Net Bugünkü Değer yöntemini içermektedir. NBD yaklaşımında, yatırımın ortaya koyacağı beklenen gelirler ve beklenen maliyetlerin bugünkü değerleri hesaplanır ve bunların aralarındaki fark bulunur. Böylelikle projenin ömrü boyunca gerçekleşmesi beklenen nakit akışlarının Net Şimdiki Değeri bulunmuş olur. NBD>0 ise, yatırım kararı onaylanır (Lee, 2011).

Gt ve Mt sırasıyla, t. periyotta gerçekleşen gelir ve giderler ve Rf paranın zaman değerini belirten risksiz faiz oranı olmak üzere,

$$NBD = \sum BD(Nakitgirişleri) - \sum BD(Nakitçıkışları) \quad \textbf{(4.3)}$$

$$NBD = \sum_{t=0}^{N} \frac{G_t}{(1+R_f)^t} - \sum_{t=0}^{N} \frac{M_t}{(1+R_f)^t} \quad \textbf{(4.4)}$$

formüllerinden hesaplanmaktadır.

Net Bugünkü Değer yönteminde, paranın zaman değeri vardır ve tüm nakit akışlarını yansıtır. Yatırım planından kaynaklanan ekonomi faydaların büyüklüğünü yansıtır. Ayrıca, bir yatırım planın kurumsal değere nasıl katkı sağladığını, paydaşların varlık değerini nasıl yükselttiğini açık bir şekilde gösterir. İNA yönteminin avantajları olarak, hesaplamasının kolay olması ve çözümün kolaylıkla görselleştirilebilir olması da sayılabilir (Takizawa, 2001).

4.4.2 İç verim oranı yöntemi

İç Verim Oranı (İVO) bir yatırım projesinin hayat döngüsü esnasındaki ortalama getiriyi ifade eder. İVO, projenin net şimdiki değerinin sıfır olduğu durumdaki iskonto oranıdır (Blank, 2005). İVO, fırsat maliyetinden büyükse proje kabul edilir, fırsat maliyetinden küçükse proje reddedilir (Wang, 2006). Bu yöntemle, iskonto oranını belirleme zorunluluğu olmadan bu yöntemle projenin finansal fizibiletisini tanımlama imkanı vardır. Ayrıca belirlenen bu oranla eldeki proje diğer projelerle kıyaslanma imkanına sahiptir (Lee, 2011).

4.4.3 Geri ödeme süresi yöntemi

Geri ödeme süresi metodu ise hesaplaması basit ve anlaşılması kolay bir metot olup yatırımın tamamiyle geri dönüş zamanını belirlemeyi sağlamaya yardımcı olur (Lee, 2011). Böylelikle yatırımcı bir yatırıma ayırdığı parayı ne kadar sürede geri

kazanabileceğini hesap ederek, gelecekte gerçekleştirebileceği başka yeni yatırmıları için de kısıtlamalarını ortaya koymuş olur.

4.4.4 Geleneksel değerleme metotları ile gerçek opsiyon yönteminin kıyaslanması

Günümüzde devlet denetiminde olmayan, liberalleşmiş ve deregüle edilmiş bir pazarda, yatırımcı yeni bir yatırıma girmeden önce yatırımın içerdiği finansal riskleri pazar ortamındaki değişimlerin sebep olacağı sonuçları analiz ederek dikkatli bir şekilde irdelemelidir (Takizawa, 2001). Zira, üretim kapasitesinin artması, gelecekte ortaya çıkabilecek olan belirsizliklerin hesaba katılmasını gerektirir.

Piyasada kullanılmakta olan geleneksel değerleme yöntemlerin bazı avantajları olmasına karşılık, genelde kullanılması planlayıcılara dezavantaj teşkil etmektedir. Literatürde (Özerdem ve diğ., 2006) ve gerçek hayat yatırımlarında en sık kullanılan yöntemlerden biri olan NBD hesaplaması yapılarak kullanılan İNA yöntemi, yatırımların stratejik boyutlarının değerlendirilmesinde kullanılamaz ve projelerin belirsizlik ve riskleriyle başa çıkmak için uygun bir tavır belirlemeye izin vermez, sadece belirli ve stabil koşul ve durumlarda kullanılır. Ancak, bir çok belirsizlik ve riskin söz konusu olduğu günümüz piyasalarında uygun bir değerleme yöntemi olmaktan uzaklaşmış ve İNA yönteminin geçerliliği tartışılır hale gelmiştir (Fernandes, 2011). Zira, bu yöntem sadece ertelenemeyen ve geri dönülmesi mümkün olmayan yatırımlar için kullanılabilir ve kısa dönemli yatırımların değerlendirilmesi için uygundur. Ayrıca esnekliği sınırlıdır, yatırım kararlarındaki yönetimsel esnekliği, belirsizlik ve riskleri yansıtmaz. Bundan dolayı da değişken yatırım ortamlarında değerleme yapmak için uygun değildir (Takizawa, 2001). Bununla birlikte, gerçek opsiyon yaklaşımı NBD yaklaşımını geçersiz kılmamaktadır. Aksine, NBD gerçek opsiyon temelli genişletilmiş NBD'ye girdi teşkil ederek çok önemli bir görevi ifa etmektedir (Venetsanos, 2002).

Bu yöntemlerden bir diğeri olan iç verim oranı yöntemi için de bazı kısıtlamalar mevcuttur. İVO sadece bir oranı belirttiğinden yatırım miktarını ve nakit akışlarının büyüklüğünü hesaba katmamaktadır. Ayrıca, yatırımların kötüye gitme ihtimali söz konusu olduğunda telafi imkanlarını da göz ardı etmektedir. Bu sebeplerden dolayı bireysel yatırım kararlarında önemli ölçüde büyük karalar verilmesine neden olabilmektedir (Lee, 2011).

Bunlara ek olarak, diğer geleneksel yöntemlerde olduğu gibi geri ödeme süresini hesaplama yöntemi de, karar vericinin yatırımı kompanse edebilecek imkanları göz ardı etmesine neden olurken, paranın zaman değerini hesaba dahil etmemektedir. Ayrıca, yatırımın geri dönüşü sağlandıktan sonra nakit akışlarının uzun dönemler boyunca devam edip etmeyeceği konusunda bilgi de vermez.

Artan belirsizlik durumlarında üretim planlamada önemli ölçüde sapmalar görülebilir. Bu belirsizlikler piyasa üretim planlamalarının finansal riskler içermesine ve rekabetçi bir pazar oluşmasına neden olmaktadır. Bu noktada finansal risk ve yönetimsel esnekli konuları ön plana çıkmakta, bu değişkenleri hesaba katabilecek değerleme yöntemleri önem kazanmaktadır. Geleneksel değerleme yöntemleri ise bu gereksinimleri sağlamaktan uzaktır (Lee, 2011).

Öte yandan, gerçek opsiyonlar yönteminin güvenilirlik ve geçerliliğini gösteren bir çok çalışma yapılmış olup bu çalışmalar yöntemin sağlamlığı ve tutarlılığı hakkında bilgi vermektedirler (Lin,2010).

Bir firmanın piyasa koşullarına adapte olabilirliği yatırım olanaklarından daha üst seviyede yararlanarak yatırım imkanının değerini artırırken, şirketin pasif bir yönetimle yatırımın başlangıcında beklediği düşüşleri de sınırlandıracaktır (Trigeorgis,1993). Gerçek opsiyon yönteminin geleceğe dönük, bütün yatırım fırsatlarını göz önünde bulunduran bütüncül yapısı, geleneksel yöntemlerin aksine, esnek ve aktif bir bakış açısı sunmaktadır.

Gerçek opsiyon analizleri, planlamacıya geleneksel yöntemlerin sağlayamadığı birçok avantajı sağlamaktadır. Bu yöntem, standart NBD'nin bir alternatifi olmasına rağmen, ikisin hesaplamadaki temel fark yatırımın gerçek opsiyon değerinin projenin barındırdığı stratejik değere (SD) sahip olmasıdır (Reedman, 2006). Trigeorgis (1993) bu değeri "aktif yönetim kaynaklı opsiyon değeri" olarak adlandırmıştır.

$$\text{Genişletilmiş (stratejik) NBD} = \text{Statik (pasif) NBD} + \text{Aktif yönetim kaynaklı opsiyon değeri} \quad \textbf{(4.5)}$$

Trigeorgis (1993) bu değeri "aktif yönetim kaynaklı opsiyon değeri" olarak adlandırırken, Lub (2003), çalışmasında bu stratejik değeri "zaman değeri" olarak ifade etmiştir.

Buna göre gerçek opsiyon değeri kesinlikle NBD'den küçük olamaz. Eğer proje bir stratejik değer barındırmıyorsa projenin gerçek opsiyon değeri NBD'ye eşittir. Ayrıca Bir projenin NBD'si sıfıra eşit yada sıfırdan küçük olsa bile projenin hala bir değeri olabilir (Reedman, 2006).

Gerçek opsiyon analizleri, stratejik politika planlamasında belirsizliği değerlendirmeye olanak sağlar. Ayrıca, değişen yatırım ortamlarında yönetimsel esnekliği açık bir şekilde göz önünde bulundurmaya yardımcı olur ve karar vericilere değişen durumlara etkili bir şekilde yanıt vermeyi ve doğru kararlar almayı sağlayan bir karar verme yaklaşımı sağlar.

Bunlarla birlikte, projelerin opsiyon değerlerini de içerdiğinden, geleneksel yöntemlerin sınırlı görüşüyle uygulanmasının uygun olmayacağına karar verilen projelerin yada yatırımcı için geri dönülemez bir yatırımın daha sonraki bir zamana ertelenmesinin barındırdığı esnekliği göz önünde bulundurmasıyla gerçek değerlerinin hesaplanmasını sağlayarak büyük ve kazançlı yatırımlara kapı açabilir (Fernandes, 2011)

Gerçek opsiyon analizi kullanımının senaryolar ve opsiyonlar olmak üzere iki önemli avantajı bulunmaktadır. Bir "opsiyon"un her zaman kaynak bir "senaryo"su; yani ek bir yatırım gerektirmeden nakit akışı üreten var olan projesi yada en azından bir tane enerji etkinliği artırılmış yada yeni bir teknolojiye sahip hedef senaryosu bulunmaktadır. Opsiyon; geri dönülemez bir yatırımın bir senaryodan diğer bir senaryoya değiştirilebilmesi imkanını tanımlamaktadır. Senaryo değişimi eylemi "opsiyonu gerçekleştirmek" yatırım harcamasını yapmak olarak bilinmektedir (Prelipcean, 2008)

4.5 Gerçek Opsiyon Türleri

Reel opsiyonlar inceledikleri esneklik türlerine göre erteleme opsiyonu, kademeli yatırım opsiyonu, mevcut kapasiteyi değiştirme opsiyonu, vazgeçme opsiyonu, kullanımı değiştirme opsiyonu ve büyüme opsiyonu olarak altı temel sınıfa ayrılabilir (Guthrie, 2011)

4.5.1 Erteleme opsiyonu

Erteleme opsiyonu (Option to Defer) veya yatırım için bekleme opsiyonu olarak isimlendirebileceğimiz opsiyonun değeri, bir yatırımı yapmadan önce yeni bilgilerin beklenmesi yoluyla belirsizliğin azalmasından kaynaklanır (Fernandes, 2011).

Bir yatırımı belirli bir tarihe kadar erteleme ve bu zaman aralığındaki herhangi bir anda gerçekleştirebilme hakkına sahip olunması Amerikan tipi bir alım opsiyonuna sahip olmak anlamına gelmektedir. Proje pozitif bir NBD'ye sahip olsa bile, projeye başlamak optimal durum olmayabilir. Bu durumda opsiyon sahibi, projeye hemen başlama hakkına sahip olmakla birlikte, gelecek fiyatların gelişmeyi destekleyecek biçimde olup olmayacağını görmek için beklemeyi de tercih edebilir. (Venetsanos, 2002)

Örneğin, bir petrol firması bir alanda kazı yapmaya başlamadan önce araziyi 1 yıllığına kiralamaktadır. Kiralamak, firmanın yatırımını 1 yıl erteleme imkanı vermektedir. Böylelikle firma petrol fiyatlarının belirsizliğinin azalmasından faydalanmaktadır. Bu koşullarda firma, petrol çıkarma opsiyonunu fiyatlar belli bir seviyenin üzerine çıktığı takdirde işleme koyacak, aksi takdirde bu opsiyonu kullanmayacaktır. Kiralama süresinin sonuna doğru yatırımın fırsat maliyeti, V; tamamlana projenin beklenen operasyonel net nakit akışlarının şimdiki değeri ve I1; keşif ve altyapı maliyeti olmak üzere max(V-I1,0) olacaktır. İlk yapılan kiralama bedeli opsiyonun bekleme değeri olduğundan, bu opsiyon değeri kaybı, ek bir yatırım maliyeti gibidir (Trigeorgis, 1993).

4.5.2 Kademeli yatırım opsiyonu

Kademeli yatırım opsiyonu (Option to Stage, Time to Build Option), bir yatırımı adımlara bölmek ve adımları şartlara göre sırasıyla onaylamak ve uygulamak düşüncesi üzerine kuruludur. Bütün yatırımı tek bir seferde yapmak ve olumsuz bir sonuç çıktığında yatırımın hepsinin boşa gitmesi riskine karşı koruma sağlar (Fernandes, 2011).

Gerçek yatırımlarda da, çoğunlukla yatırımın hepsi yekpare olarak yapılmamakta, ana yatırım zamana yayılmış olarak giderler serisi şeklinde ve kademeli olarak yapılmaktadır. Böylece her kademe yeni bir opsiyon olur. Bu opsiyon, yatırım tamamlanıncaya kadar şartların kontrolü ve uygun şartlar devam ettiği sürece adımların onaylanması esasına dayanır. Her bir kademede opsiyon ücretinin bir kısmı

ödenmiş olur. Bütün adımların uygulaması tamamlandığında kademe opsiyonunun toplam ücreti de karşılanmış olur.

Bu tür opsiyonları, birbiri üzerine kurulmuş birçok alım opsiyonu şeklinde görebiliriz. Bu şekildeki her kademe biri diğerini gerektiren ve birbirini takip eden opsiyonlar oluşturulmuş olur. Birer birleşik opsiyon örneği de olabilirler.

4.5.3 Mevcut kapasiteyi değiştirme opsiyonu

Mevcut kapasiteyi değiştirme opsiyonu (Option to Change Scale,Option to alter operating scale, Option to Expand/Contract) ise, piyasa ve pazar şartlarına göre mevcut işletme kapasitesini azaltmak veya artırmak suretiyle bu yeni ve geçici duruma uyumu kapsar. Market durumu beklenenden kötüye giderse, yönetim kapasitenin altında çalışmaya kara verebilir yada operasyonları %c oranında azaltabilir. Böylece planlana yatırım gideri(Ic)ni korumuş olur. Geri çekilerek kaybı azaltmaya yarayan bu esneklik, ana projenin %c'lik kısmına uygulanan satma hakkı (put) opsiyonuna benzer. Burada kullanım fiyatı harcanmayan elde kalan paraya eşittir. Opsiyonu kullanıp kullanmama kararını ise max(Ic-cV,0) ifadesinde elde edilen değere göre verilecektir (Trigeorgis,1993).

Bu opsiyon, farklı yapım ve bakım maliyet oranları olan teknoloji yada arazi seçimlerinde önemli olabilir. Düşük başlangıç yapım maliyetli ve yüksek bakım maliyetli harcamalar, bu opsiyonu tercih etmeye sebep olabilir. Yani, eğer yatırımda elde edilen kar bakım maliyetlerini karşılayabilecek düzeyde değilse, özellikle çalışma ve aylak zamanlar arasındaki zaman küçükse geçici olarak kapatılabilir yada çalışma ölçeği yeterli derecede daraltılabilir. Öte yandan, market fiyatları beklenin üzerinde gerçekleşir ve karlar yeteri kadar yükselirse kapatılan operasyonlar yeniden başlatılabilir, yatırımını hızlandırabilir yada IE fiyatıyla %x oranında genişleyebilir. Bu da projenin %x'inin elde edilmesi için, IE'nin kullanım fiyatı (excercise fiyat) olarak ödendiği, yıllık nakit karı elde etmek için kullanılan bir alım (call) opsiyonuna benzer. İçerisinde genişleme opsiyonu barındıran bir yatırım imkanı "ana proje + gelecek yatırımın alım opsiyonu fiyatı" olarak görülebilir. Bu da V + max(xV- IE,0) olarak formülize edilebilir (Trigeorgis,1993).

4.5.4 Vazgeçme opsiyonu

Vazgeçme opsiyonu(Option to Abandon), finansal satış opsiyonuna benzetilebilir. Bu opsiyon çeşidi, ileri bir tarihte ekonomik şartlar olumsuz olursa, başlanılan bir projeden vazgeçme ve yapılan yatırımı satarak paraya çevirme opsiyonu olarak tanımlanabilir. Piyasa fiyatları sürekli düşüyor yada firma başka herhangi bir konuda operasyonlarında bir zayıflık yaşıyorsa, işletmeyi kalıcı olarak hurda maliyeti karşılığında kapatabilir. Gerçek opsiyon teorisi, bu opsiyonun projeye esneklik katmasından dolayı değerli bir opsiyon olduğunu göstermektedir (Venetsanos, 2002)

Bu opsiyon projenin şimdiki değeri (V) üzerinde kullanım fiyatı hurda değeri olan bir Amerikan satma hakkı (put) opsiyonu olarak görülebilir. Aynı zamanda, hurda değeri yerine en iyi alternatifin kullanım değeri(A) kullanılabilir. Bu durumda V + max(A-V,0) yada max(V,A) elde edilmeye çalışılır (Trigeorgis,1993).

Bu noktada, hükümetlerin yatırımcılara sağladığı alım garantileri, yatırımcıların durumları kötüye gittiğinde kullanabilecekleri ve proje değerine üretilen metayı yahut yatırımını hükümete satma hakkı veren bir çeşit satma hakkı (put) opsiyonu oluştururlar.

4.5.5 Kullanımı değiştirme opsiyonu

Kullanımı değiştirme opsiyonları (Option to Switch) yatırımlara gerek girdi gerek de çıktılarını farklılaştırmak suretiyle, süreç esnekliği sağlayarak değişen şartlara adapte olma imkanı sunar. Kullanımı değiştirme opsiyonu, üretim süreçlerini değiştirme yada üretilen ürünleri farklılaştırmanın bir maliyeti olması yönünden, mevcut kapasiteyi değiştirme opsiyonuna benzemektedir (Venetsanos, 2002)

4.5.6 Büyüme opsiyonu

Büyüme opsiyonları (Growth Option), genellikle bir proje için yatırım yapıldıktan sonra şartlar daha büyük yatırımları desteklediğinde uygulanırlar. Büyüme opsiyonları her türlü endüstride uygulanabilir, fakat özellikle yüksek teknolojili ve yüksek riskli alanlarda önemlidirler.

Pazar fiyatları beklenen fiyatın üzerinde gelişecek olursa, yatırımcı yatırımını hızlandırabilir yada % x oranında Ie genişleme maliyetiyle genişleyebilir. Bu da projenin ek % x'inin elde edilmesi için Ie'nin kullanım fiyatı olarak ödendiği bir alım (call) opsiyonuna benzer. Genişleme opsiyonu barındıran bir yatırım imkanı ana

proje + gelecek yatırımın alım (call) opsiyonu olarak görülebilir. Başka bir deyişle; V + max(xV- Ie,0) şeklinde değerlenecektir (Trigeorgis,1993).

4.5.7 Birleşik opsiyonlar

Bileşik opsiyonlar, bir opsiyonun üzerinde başka bir opsiyonu taşıdığı durumlarda oluşur. Bu opsiyonlar arasında belirgin bir etkileşim mevcuttur. Örneğin yeni bir ürünü seri üretime sokma opsiyonu, ARGE yatırımının taşıdığı bir opsiyondur. ARGE yatırımını yapmak bir opsiyona bağlı ise, ürünü seri üretime sokma opsiyonu ancak ARGE yatırımını yapma opsiyonun uygulanıp başarılı olmasına bağlıdır.

Bileşik opsiyonları değerleme metodolojisi, gerçek hayattaki reel opsiyonlar metodolojisinin uygulanabilirliği açısından oldukça önemlidir. Paralel opsiyonlar aynı proje üzerine bina edilmiş ve opsiyonları etkileşim halinde olan farklı opsiyonlardır. Bu opsiyonlar mutlaka karşılıklı dışlayan opsiyonlar olmak zorunda değildirler. Bunlara örnek olarak yeni bir teknolojinin farklı uygulamaları ya da yeni bir ürünün olası farklı pazar hedefleri verilebilir.

Proje üzerinde birleşik opsiyonların söz konusu olduğu durumlarda, projenin toplam değeri reel opsiyonların her birinin ayrı ayrı değerlerinin toplamından farklıdır; bunun nedeni ise reel opsiyonların birbirine olan karşılıklı etkileşimleridir. Dolayısıyla kurulacak değerleme modellerinin bu etkileşimleri göz önüne alması zorunludur. (Venetsanos, 2002)

4.6 Enerji Yatırımlarında Belirsizlik, Risk ve Gerçek Opsiyon Uygulamaları Üzerine

Enerji alanındaki yatırım projeleri geniş çaplı ve oldukça maliyetli projelerdir. Ayrıca, bu sektöre petrol fiyatları, yatırım ortamı, döviz kurları vb. çevresel belirsizlikler hakimdir (Fan, 2010). Elektriğin ve diğer enerji pazarlarının liberalleşmesi belirsizliğin daha da artmasında rol oynamaktadır (Kumbaroğlu ve diğ., 2008). Bununla birlikte, enerji piyasasında belirsizlikleri şekillendiren 6 temel unsur vardır. Bu belirsizlikleri fosil yakıt fiyatları, çevresel düzenlemeler, talep, arz, kurulum maliyeti ve teknolojik sorunlar ve piyasa yapısı oluşturmaktadır. Bu belirsizlikler ve bu belirsizliklerin kaynakları Çizelge 4.5'de özetlenmiştir (Venetsanos,2002).

Çizelge 4.5 : Enerji Üretimindeki Belirsizlikler.

Belirsizlik	**Belirsizliğin Kaynağı**
Fosil yakıt fiyatları	İşletim Maliyetleri
Çevresel düzenlemeler	Dış Maliyetler
Talep	Konum Esnekliği Modülerlik ve Teslim süresi Kapasite Kullanıma hazır olma
Arz	Konum Esnekliği Modülerlik ve Teslim süresi Kapasite Kullanıma hazır olma
Kurulum Maliyeti ve Teknolojik Sorunlar	Başlangıç sermayesi gereklilikleri Modülerlik ve Teslim süresi Konum Esnekliği
Piyasa Yapısı	Toplam Maliyet

Belirsizlik kaynaklarından fosil yakıt fiyatları, çevresel sorunlarla görece daha ilgilidir. Fosil yakıt temelli elektrik üretim teknolojileri bu yüksek değişkenlikten etkilenmekte ve petrol fiyatlarındaki ani değişimlere karşı oldukça hassas bir durum sergilemektedir. Bu da işletim maliyetlerindeki değişkenliği artırmakta, bununla direkt ilişkili olarak da elektrik fiyatları artışa geçmektedir (Fernandes, 2011). Böyle bir durumda, yüksek sabit maliyetine karşılık düşük değişken maliyeti olan rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir enerji teknolojileri, fiyatları stabilize ederek petrol fiyatlarındaki değişkenliğe karşı iyi bir risk kalkanı oluşturmaktadır (Selim, 2012).

Çevresel düzenlemelerin getirdiği belirsizlikler, çoğunlukla fosil yakıt fiyatları ve çevreyi kirleten elektrik üretim metotlarına ait kısıtlamalarla ilgilidir. Bu sorun, elektrik fiyatları ile çevresel maliyetlerin birleşmesinden dolayı geleneksel üretim metotlarının belirsizliğini artırırken, rüzgar enerjisi gibi çevre dostu üretim metotları bu tarz bir belirsizliği içermemektedir.

Yenilenebilir enerjide, üretim ile ilgili bir kısıt olmamasına karşın, kanunlarla çerçevesi çizilen devlet teşviklerinin değişkenlik arzetmesi yada yatırımcıya fayda sağlamayacak kısa süreler için geçerli olması bu gibi yatırımlar için bir risk teşkil

etmektedir (Krogsgaard, 2012). Ayrıca, küçük yatırımcılar için bankalardan kredi alarak finansman bulma konusu da yatırım riskleri arasında sayılabilir (Hatem, 2012)

Talep belirsizliği diğer bir belirsizlik kaynaklarındandır. Bu belirsizlik, birkaç saatlik, birkaç günlük periyotları içerecek şekilde kısa dönem ve uzun dönemli talep belirsizlikleri olarak ele alınabilir. Kısa dönemli periyotlarda talepler uzun dönemli periyotlara göre daha kolay tahmin edilebilmektedirler. Bu gibi durumlarda elektrik üreticileri ikili anlaşmalarla piyasa üzerinden alış- satışlar yapabilmektedir. Türkiye'de bu sistem, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) bünyesinde yer alan Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) tarafından, ilgili mevzuat çerçevesinde, Ulusal Yük Dağıtım Merkezi tarafından elektrik enerjisi arz ve talebinin gerçek zamanlı olarak dengelenmesi sonucu tüzel kişilerin birbirlerine borçlu ya da alacaklı oldukları tutarları hesaplamak suretiyle gerçekleştirilmektedir (Ay, 2012).

Uzun dönemli periyotlar için, şirketler gelecek enerji talep gereksinimlerini karşılamak için daha kapsamlı tahminlere ihtiyaç duymaktadırlar (Hatem, 2012). Gelecekte gerçekleşebilecek uç derecedeki talepleri karşılayabilmek için yeni ve ek eneji kaynaklarına gereksinim duyulabilmesi durumu halinde uzun dönemli enerji alım anlaşmaları yapılması gerekecektir. Bu yaklaşım, yeni kapasite artırımı kurulumlarında, ihtiyaca kara verme ile gerçekleştirme arasındaki zamanı belirlemek için temel teşkil etmektedir.

Arz belirsizliği, talep belirsizliğiyle direkt olarak ilişkilidir. Tedarik sistemlerinde, işletim ekipmanlarının doğru ve etkili bir şekilde çalıştığından emin olunmalı ve kesintisiz elektrik arzının mümkün olduğunca uzun süreli olarak sağlanıyor olmalıdır (Venetsanos, 2002).

Kurulum maliyeti belirsizliği ise, başlangıç yatırım maliyetleri ek kapasite artılarıyla ilgili olarak değişmektedir. Enerji yatırımı projeleri yapım aşaması boyunca planan bütçeyi fazlasıyla aşma riskiyle karşı karşıyadır. Projenin yapım aşamalarının uzaması veya ertelenmesi bu belirsizliği artıracaktır (Atabey, 2012)

Teknolojik belirsizlik ise, kurulan teknolojinin kurulum tamamlanmadan yada yatırım karlı hale gelmeden kullanımının geçerliliğinin ortadan kalkması ile yatırımın ekonomik olarak boşa gitmesini durumunu içermektedir. Ard arda gerçekleşen teknolojik yenilikler, şirketin her yeni teknoloji yatırımını değerlendirdiğinde bir

sonraki aşamada ortaya konacak olan daha etkili yeni teknolojiyi de hesaba katması gerektiğinden, şirketlerde teknolojik yatırım kararlarının alınmasını güçleştirmektedir (Nathwani, 2011)

Bunlardan ayrı olarak, bir şirket NBD yaklaşımı ile bulunan değere göre, proje bir şekilde finanse edilmedikçe projenin uygulanmasının negatif bir değeri olduğunu anlasa bile bir rüzgar enerjisi türbini kurmaya karar verebilir. Bu karar, yönetimin yatırımın barındırdığı opsiyonları fark ettiğini ve sezgisel olarak bu yatırımı yapmaya karar verdiğini göstermektedir. Bu strateji, yatırımcıların yeni oluşan markete erken girme avantajını kullanmak istemesindendir. Projenin opsiyon değerleme teorisiyle değerlendirilmesi ile yatırımın bütüncül olarak değerini artıracak olan opsiyonlar içerdiğini göstermek mümkündür.

NBD yöntemi, hükümet denetiminin kaldırılarak deregüle edilen marketteki dinamik değişimleri yakalayamamakta ve optimal sonuçlar üretememektedir. Rüzgar enerjisi yatırımları ise yatırımın esnekliğini artırabilecek bazı özelliklere sahiptir (Venetsanos, 2002). Dolayısıyla gerçek opsiyon yöntemin kullanmak için oldukça uygun bir yatrım ortamıdır. Lee (2011), hazırlamış olduğu çalışmasında rüzgar enerjisi yatırımları için kullanlabilecek opsiyonları Çizelge 4.6'daki gibi ortaya koymuştur.

Çizelge 4.6 : Gerçek opsiyonların genel ve rüzgar enerjisindeki tanımı.

Opsiyon Türleri	**Genel Tanım**	**Rüzgar Enerjisi Teknolojisindeki Yeri**
Erteleme Opsiyonu	Yönetim arazi veya kaynakları kiralamayı (veya bir satın alma opsiyonu)tercih eder. Kira X yıl işleme konulmadan bekleyebilir.	Bir rüzgar türbininin kurulum ve işletme lisansına sahip bir yönetim, talep seviyesi ve/veya fiyat gelişimleri netleşinceye kadar sistem inşaasını erteleyebilir (kısa tedarik süresi oluşturma). Deneyimler bu üretim metodu içerisinde zamanın elverişsiz kullanıldığını göstermektedir (ürün fiyatı kayda değer biçimde azalıyor ve süreç rekabetçi hale geliyor)
Kademeli Yatırım Opsiyonu	Bir dizi harcama giderleri olarak kademeli yatırımlar, eğer yeni bilgiler elverişsiz olursa vazgeçme opsiyonu meydana getirebilir.	Bir rüzgar türbini kademeler halinde geliştirilebilir (modülarite niteliği).

Çizelge 4.6 (devam) : Gerçek opsiyonların genel ve rüzgar enerjisindeki tanımı.

Kademeli Yatırım Opsiyonu	Her kademe bir alt kademenin değer üzerinde bir opsiyon olarak görülebilir ve bileşik opsiyon olarak değerlendirilir.	Bu durum bir sonraki kademeye devam edilip edilemeyeceğine dair karar öngörüsüne izin verir. Kısa tedarik süresi oluşturmanın uygunluğunun anlamı, talep eğilimindeki değişimin veya fiyat seviyelerinin kalıcılığının yeni market koşullarına uygunluğunun belirleyici olmasıdır.
Mevcut Kapasiteyi Değiştirme	Eğer piyasa koşulları beklenenden elverişsiz durumdaysa, ürün ölçeğini genişletebileceği gibi aksine eğer koşullar az miktarda elverişsiz ise kaynak kullanımını da hızlandırabilir. Olağanüstü koşullar altında üretim durabilir ve yeniden başlayabilir.	Eğer piyasa koşulları beklenenden daha elverişsiz ise, bir rüzgar enerjisi santrali gerçek piyasa koşullarının avantajını yakalayabilmeye yönelik genişletilebilir. Eğer beklentiler gerçekçi koşulları ölçemiyorsa, işletmelerin ölçeğini azaltma veya işletmeden çıkartma opsiyonu vardır.
Vazgeçme	Eğer piyasa koşulları ağır biçimde dibe vurursa, yönetim mevcut işletmeleri kalıcı olarak bırakabilir ve sermayenin perakende satış değerleri ile ikinci el pazarındaki mal varlığını anlamaya çalışır.	Eğer piyasa koşulları kötüye gitmişse veya sermaye ekipmanları teknolojik değişiklikler karşısında demode olmaya başlıyorsa, yönetim türbini sürdürmeyi kalıcı olarak ve tamamen bırakır.
Kullanımı Değiştirme	Eğer fiyatlar yada talepler değişirse, yönetim fabrika ürün çeşidini (ürün esnekliğini) ayarlayabilir. Alternatif olarak aynı çıktılar, farklı girdiler kullanarak elde edilebilir (süreç esnekliği)	
Büyüme	Bir ön yatırım, örneğin Ar-Ge, sonradan açığa çıkacak bir büyüme fırsatının, örneğin yeni bir ürün veya süreç, birbiriyle ilişkili projeler zincirinin bir halkası yada ön koşuludur. Bileşik opsiyonlu iç projelere dikkat çekici örnektir.	Elektrik piyasası yeni bir serbestleşme çağına sahip olmaya doğru gidiyorsa, büyüme opsiyonları oldukça önemlidir ve projenin değerlenme süreci içerisinde değerlendirilebilir.

Çizelge 4.6 (devam) : Gerçek opsiyonların genel ve rüzgar enerjisindeki tanımı.

Birleşik Opsiyonlar	Gerçek yaşam projeleri çoğunlukla çeşitli opsiyonların bir koleksiyonunu içerir. Artan potansiyel güçlendirmelerine ve azalan koruma opsiyonlarına ait kombinasyonlar sunulur. Bu opsiyonların kombine değerleri ayrı ayrı değerleri toplamından farklı olabilir, yani birbirleriyle etkileşimlidir. Ayrıca finansal esneklik opsiyonu ile de etkileşimli olabilirler.

4.7 Gerçek Opsiyon Uygulama Yöntemleri

Stratejik yatırım kararlarını modellemede kullanılacak yöntemin, tehdit durumları altında yatırımın ömrü boyunca gerçekleşen her opsiyonda takip edilecek yolu optimize eden, belirsizlikleri tahmin etme yetisine sahip bir modül olması gerekmektedir.

Belirsizliği modelleyen yöntemler geometrik Brownian Hareket rassal yürüyüş modeli, sinir ağları teknikleri ve fiyat belirsizlikleri modellemesi, fiyat şoklarının modellenmesi, fiyat ilişkilendirmelerinin modellenmesi gibi konuları içerir. (Prelipcean, 2008)

Gerçek opsiyonlar ise, Monte-Carlo simulasyonu, kapalı-formdaki modeller, kısmı diferansiyel denklemler ve binom yaklaşımıyla çözülebilir. Bununla birlikte en yaygın olarak kullanılan metodlar, Black-Scholes modeli gibi kapalı formdaki yaklaşımlar, kısmi diferansiyel denklem ve binom yaklaşımıdır.(Mun, 2002)

4.7.1 Black-Scholes Yöntemi

Myron Scholes ve Fisher Black, kendilerine Nobel ödülü kazandıran ve literatüre Black-Scholes formülü olarak geçen opsiyon değerini hesaplamada kullanılacak olan bir yöntem ortaya koymuşlardır. Black-Scholes formülü finansal opsiyon ticaretinde kullanılmak üzere dönüştürülmüş ve global sermaye piyasası araçlarının oluşturulmasına yardımcı olmuştur (Owens, 2003).

Black-Scholes yönteminin ilk çıkış noktasını rastsal yürüyüş modeli teşkil etmektedir. Menkul kıymet fiyat gelişiminde olduğu gibi, elektrik fiyatlarındaki değişim için de rastsal yürüyüş modeli, fiyat değişimlerini birbirinden bağımsız olduğu varsayımına dayanır. Diğer bir ifadeyle, tarihsel fiyat eğrisi gelecek fiyat ile ilişkisizdir. Yani fiyatlar bir Markov süreci izler. Rastsal yürüyüşten sapma ise fiyat değişimlerinin bir dereceye kadar öngörülebileceğini gösterir (Önalan, 2007)

Mal fiyatlarını modellemek için en çok kullanılan süreç, 1900 yılında L. Bachelier tarafından hisse senedi fiyatları için önerilen Brownian hareket sürecidir. Bu süreç rastsal yürüyüş sürecinin limit durumudur. Fakat bu süreç negatif değerleri de alabildiğinden, makul bir model değildir. Standart bir boyutlu Brownian hareket süreci Weiner süreci olarak da adlandırılır. Bir Wiener süreci

$$dz = \varepsilon\sqrt{dt} \tag{4.6}$$

formunda bir süreçtir. Burada ε; standart normal dağılımdan çekilmiş bir rastsal değişkendir. Weiner süreci, Markov sürecinin özel bir halidir. Z ise normal dağılımdan çekilmiş bir rastsal değişkendir (Önalan, 2007).

Elektrik fiyatlarının Weiner süreci yerine, Brownian hareketin özel bir durumu olan Geometrik Brownian hareket süreci kullanılarak modellenmesi daha makul bir yaklaşımdır (Liang, 2003). Geometrik Brownian hareket getirilerin Lognormal dağılıma sahip olmasını gerektirir. Bu sayede getirilerin negatif olması önlenmiş olur. Mc Donald ve Siegel (1986) gerçek opsiyon değerleme modelini geliştirdiklerinde, hem opsiyon değeri (C), hem proje değeri (S), hem de yatırım maliyeti (X) in Geometrik Brownian Hareketi izlediğini varsaymışlar ve opsiyon değerleme yaklaşımını kullanmışlardır. Brownian hareketine göre bir varlığın bir sonraki durumu şu andaki durumunun stokastik bir fonksiyonudur ancak geçmişte izlediği yoldan etkilenmez. Stokastik fonksiyonlar ise; deterministik olmayan ve farklı rastsal sayılarla farklı sonuçların elde edilebildiği süreçlerdir.

Sürekli zamanda, elektrik fiyatlarının değişimi;

$$dS = S\mu dt + S\sigma\varepsilon\sqrt{dt} \tag{4.7}$$

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma\varepsilon\sqrt{dt} \tag{4.8}$$

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dz_s \quad \textbf{(4.9)}$$

süreci ile modellenebilir.

Burada (dS/S) S değişkenindeki yüzdesel değişimi ifade etmektedir. Bu denklem basitçe bir deteministik (μ(dt)), bir de stokastik ($\sigma\varepsilon\sqrt{dt}$) bölümden oluşmaktadır. Burada μ; sürüklenme (sapma) katsayısı yada büyüme parametresi olarak tanımlarnır. Bu parametre, dt ile ifade edilen zaman her adımının bir faktörü olarak artmaktadır. Öte yandan, σ ile sembolize edilen volatilite zamanın kareköküyle orantılı olarak bir seyir izlemekte olup, ε ile ifade edilen simüle edilen değişken ise genellikle ortalaması 0 standart sapması 1'e eşit olan bir normal dağılıma göre değişim göstermektedir (Mun, 2002).

Black- Scholes opsiyon değerleme yöntemi, değerin karlılık oranının periyot başına varyansının tahmin edilmesine ihtiyaç duyar (Benhani, 2007).

Elektrik fiyatlarının [0,τ] aralığında kaydedilmiş olduğunu kabul edilirse. Bu zaman aralığını, herbirinin uzunluğu Δt olan, n eşit aralığa bölünür. Herbir alt aralığın sonunda elektrik fiyatının bilindiğini varsayalım.

$$r_i = \ln(S_i+1) - \ln(S_i) \quad \textbf{(4.10)}$$

logaritmik getiri serisi oluşturulur

$r_1, r_2, ..., r_n$ serisi için,

$$\bar{r} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} r_i \quad \textbf{(4.11)}$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(r_i - \bar{r})^2 \quad \textbf{(4.12)}$$

formülleri kullanılarak fiyatların volatilitesi hesaplanmış olur. Bu denklemler μ ve σ için çözülürse,

$$\hat{\mu} = \frac{\bar{r} + \frac{S^2}{2}}{\Delta t} \quad \textbf{(4.13)}$$

$$\hat{\sigma} = \frac{S}{\Delta t} \qquad \textbf{(4.14)}$$

eşitlikleri elde edilir (Önalan,2007).

Şunu da belirtmek gerekir ki, ardışık zaman adımları içerisinde değişen fiyatlar lognormal dağılım izlereken, ardışık iki zaman dilimi arasında gerçekleşen fiyatların arasındaki farkların üzerinde gerçekleştirilen logaritmik dönüşümden sonra, yeni elde edilen verinin normal dağılıma uyduğu bilinmektedir (Liang, 2003).

Bütün bunlara paralel olarak, kurulumu yapılan yenilenebilir enerji kaynağının proje değeri de geometrik brownian hareketini takip eder. Bir rüzgar türbini yatırımında geometrik brownian hareketi dahilinde bulunan S; yatırım ömrü boyunca beklenen nakit akışlarının şimdiki değeri, X; ilk yatırım maliyeti, Rf; risksiz faiz oranını, μ; proje değerinin anlık beklenen getirisini, σ; proje değerindeki oransal değişimi, dzs Wiener sürecine göre meydana gelen artışı belirtmek üzere, Black-Scholes opsiyon değerleme formülüne göre bir alım opsiyonunun değeri;

$$d_1 = \frac{\ln\left(S/\mathrm{X}\right) + \left(R_f + 0.5\sigma^2\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \qquad \textbf{(4.15)}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \qquad \textbf{(4.16)}$$

olmak üzere;

$$C = SN(d_1) - \mathrm{X}\, e^{-R_f T} N(d_2) \qquad \textbf{(4.17)}$$

formülü ile hesaplanmaktadır (Kahraman, 2008). Bu formülden yararlanarak bir satma hakkı opsiyonu da

$$P = Xe^{-R_f t} N(-d_2) - SX(d_1) \qquad \textbf{(4.18)}$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Bu formüller, ilk bakışta göründüğünden daha kolaydır. Örneğin alım opsiyonu formülünde bulunan, $N(d_1)$ ve $N(d_2)$ terimleri, d_1 ve d_2'nin standart tablolardaki karşılıklarıdır. $N(d_1)$ ve $N(d_2)$ değerlerinin 1'e yakın olması halinde, opsiyon işleme konacaktır. Bu olasılıkların bire yakın olması, varlık değeri varyansının küçüldüğünü ve vadeye kalan zamanın azaldığını gösterir. Dolayısıyla satın alma opsiyonunun değeri S-X'e eşit olacaktır. Söz konusu sonuç, opsiyonun özgü değerine eşit olacaktır. Eğer opsiyonun işleme konması kesin ise,

yatırımcı varlık değerin S hak kazanmış olacak ve opsiyon değerinin bugünkü değeri PV(x) veya $Xe^{-R_f t}$ eşit olacaktır.

Eğer N(d) değeri sıfıra yakınsa, opsiyonun işleme konma olasılığı çok düşüktür. N(d) değerlerinin 0 ile 1 arasında olması durumunda satın alma opsiyonunun değeri belirli olasılıklar arasındadır. $N(d_1)$ ve $N(d_2)$ olasılıkları, varlık değeri fiyatlarındaki belirsizliği ölçmek için kullanılır.

Formülde ln (S/X), yüzde cinsinden miktar olup opsiyonun parada ya da para dışında olduğunu gösterir. Bir örnekle açıklayacak olursak, S=105 X=100 ise opsiyon %5 parada demektir. ln (105/100)= 0,05.Aynı şekilde eğer S=95 ise opsiyon %5 para dışında demektir (Terzi, 2006)

Fiyatlardaki belirsizliğin yüksek oluşu, yüksek volatiliteleri netice vermekte, yüksek volatiliteler ise, gerçek opsiyon yöntemiyle de ortaya konulduğu gibi yatırımın bekleme değerini artırdığı için, yatırımın ertelenmesine sebep olmaktadır (Szolgayava, 2010).

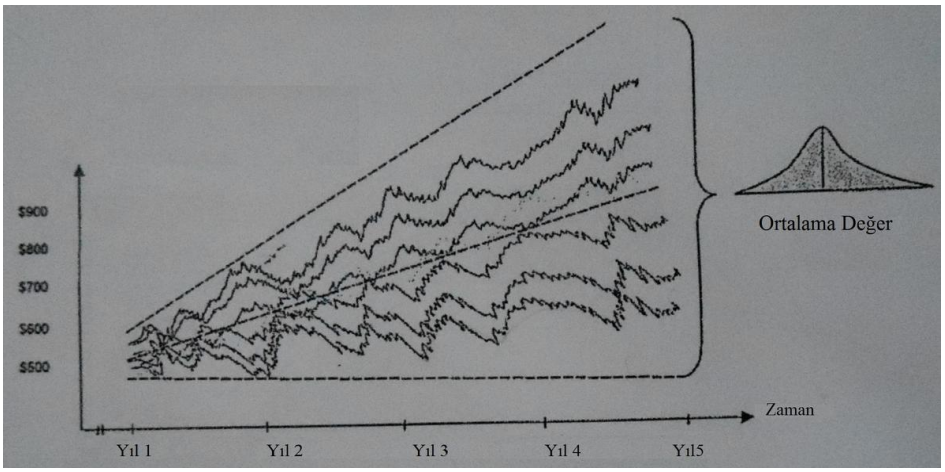
Piyasalardaki fiyatların belirsizliğinden dolayı değişim gösteren fiyatlar çeşitli ekonomik ve siyasi nedenlerle ani yükselme ve düşmeler gösterseler bile uzun vadede ortalama seviyesine dönme ve belli bir trendi izleme eğilimi göstermektedirler (Önalan,2007).

4.7.2 Binom Modeli Yöntemi

Risk içermeyen deterministik bir bir finansal değerleme modelinde, gelecek nakit akışları geçmiş veriler üzerinde uygulanan regresyon analizi, zaman serileri analizi yada yönetimsel bir takım var sayımlarla tahmin edilebilir. Ancak belirsizliğin var olduğu durumlarda bu tür deterministik yaklaşımlardan çok stokastik yöntemler kullanılmalıdır. Bu yöntemler arasında da, kapalı formdaki yaklaşımlar, uygulaması kolay, çabuk ve tam sonuçlar verirler ancak uygulama alanları sınırlıdır. Ayrıca stokastik matematiksel hesaplamalar içerdiğinden anlaşılmaları zor olabilir. Buna karşılık, binomial yaklaşım, hem uygulaması hem de anlaşılması kolay bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Mun, 2002).

Yatırım kararlarında, belirsizlikler projenin değerini belirlemektedirler. Risk denilen faktör zaman içerisinde artmayabilir ancak, belirsizlik zamanla sürekli bir artışa

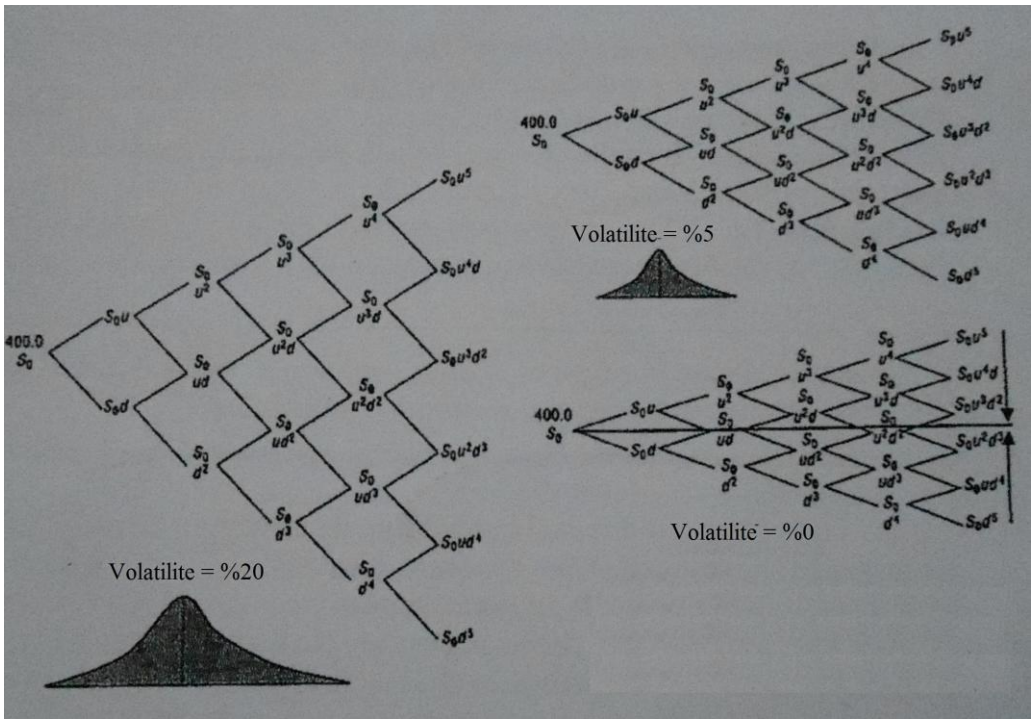
sahip olacaktır. Belirsizliğin doğasını anlamak için Şekil 4.2'deki "belirsizlik konisi"ni incelenebilir. Eğer biz simülasyon kullanarak belirsizliği ölçerken gelecekteki nakit akışlarını tahmin etmek istersek, iyi tanımlanmış bir metod Şekil 4.2'de gösterildiği gibi zaman içindeki nakit akışlarını binlerce kere simüle edecek ve simüle edilen bütün akışlar üzerine, her zaman periyodunda bir olasılık dağılımı oluşturulacaktır ve bu akışlar Geometrik Brownian hareketine uyacaktır (Mun, 2002).



Şekil 4.2 : Belirsizlik Konisi.

Belirsizlik Konisi'nde de görüleceği üzere volatilite (σ) birkaç bin simülasyonda aynı kalırken, sadece simüle edilen değişken (ε) sürekli olarak değişmektedir. Böylelikle, volatilite (σ) aynı kalsa bile, belirsizlik seviyesi zaman içerisinde ($\sigma\varepsilon\sqrt{dt}$) faktörüyle orantılı olarak artıyor olacaktır. Yani belirsizlik seviyesi zamanın kareköküyle orantılı olarak artmaktadır. Başka bir deyişle, zaman geçtikçe geleceği tahmin etmek zorlaşmaktadır. Belirsizlik konisi'nde de koninin yüksekliğinin zamanla arttığı anlaşılmaktadır. Buna paralel olarak, ani fiyat değişimleri gibi kısa süreli volatiliteler yatırım kararı üzerinde bariz bir etki oluşturmazlar. Ancak, hava durumu verileri, teknoloji maliyetleri ve diğer piyasa koşulları gibi etmenleri içeren uzun vadeli değişimler ve bunların simülasyonları gelecekteki fiyat beklentilerinin aşağı-yukarı değişeceğini fakat ortalamalarının değişmeden kalacağını anlatan rassal yürüyüş (Geometrik Brownian Hareket) fiyat sürecini dikkate alır (Prelipcean, 2008)

Ayrıca, farklı volatiliteye sahip binom ağaçlarına bakıldığında volatilitesi daha yüksek olan ağacın, en üst ve en alt dalları arasında daha geniş bir aralık olduğu ve daha fazla yayıldığı Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3 : Volatilite ve Binom Ağaçları.

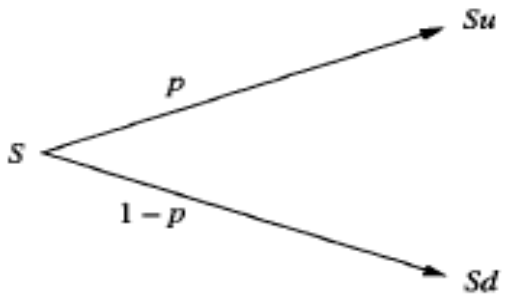
Temelde binom modeli belirsizlik konisinin kesikli simülasyonudur. Brownian Hareketi, sürekli bir stokastik simulasyon süreci iken, binom örgüsü kesikli simülasyon sürecidir. Limite varıldığında, yani adım sayısı sonsuza, dolayısıyla zaman adımları sıfıra yaklaştığında, binom örgüsünden kaynaklanan sonuçlar Brownian Hareketinde elde edilen sonuçlara yakınlaşmaktadır (Mun, 2002)

İlk olarak Cox, Ross ve Rubinstein (1979) tarafından ortaya konulan Binom ağaçları yöntemi, değerlemesi yapılacak finansal varlığın fiyat değişimlerinin bir dizi binom hareketiyle ifade edilebileceği varsayımını temel almaktadır (Özoğul, 2006) Binom merdiveni yöntemi, belirli bir zaman aralığında gerçekleşen opsiyon değerleme problem sürecini, sürekli zamandaki sonlu fark yaklaşımının aksine, tümevarım ve tümden gelim çözüm metotlarını kullanarak açık bir şekilde modellemektedir. Bu yaklaşım, fiyattaki belirsizliğin artış ve düşüş şeklinde gerçekleşebilecek iki olası sonuçla gerçekleşebileceğini varsaymaktadır (Siddiqui, 2007). Bir başka deyişle, binom ağaçları yöntemi, konu edilen finansal varlığın bir dönemin başındaki fiyatının bilinmesi durumunda, bir sonraki döneme ait fiyatının ancak olası iki değerden biri olabileceğini öngörmektedir.

Bu model bazı varsayımlar üzerine kurulmuştur. Bu varsayımlara göre;piyasada işlem gören tüm finansal araçların beklenen getirisi, risksiz getiri oranına eşittir.

Gelecekte oluşacak tüm nakit akışlarının değerlemesi, bu akışların beklenen değerlerinin risksiz getiri oranı ile iskontolanarak yapılır.

Bu varsayımlara göre; temettü dağıtmayan bir hisse senedi üzerine yazılmış bir opsiyonun değerlemesi için, önce opsiyonun ömrünü Δt uzunluğunda küçük zaman aralıklarına bölünür. Her zaman aralığında, hisse senedi fiyatının; S ilk değerinden, Su ve Sd değerlerine ilerlediğini varsayılır.. Bu model Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Genellikle, u > 1 ve d <1'dir. S'den Su'ya geçiş hareketi bir 'yukarıya doğru' harekettir, S'den Sd'ye geçiş hareketi ise bir 'aşağıya doğru' harekettir. Yukarıya doğru bir hareketin olasılığı p ile gösterilir, dolayısıyla aşağıya doğru hareketin olasılığı 1 – p ile gösterilir (Özoğul, 2008). Ayrıca, u = 1/d olduğu kabul edilerek işlemler yapılmaktadır.



Şekil 4.4 : Binom modeline göre hisse senedi fiyatı hareketleri.

Bu bağlamda, Δt uzunluğundaki zaman aralıklarında, S: hisse senedinin ilk fiyatı, u>1 , d<1, r: hisse senedinin beklenen değerinin hesaplandığı risksiz faiz oranı, Δt uzunluğundaki zaman sonunda hisse senedinin beklenen değeri ($Se^{r\Delta t}$), hisse senedi değişim varyansı ($\sigma^2\Delta t$) ve a verilen bir değer olmak üzere;

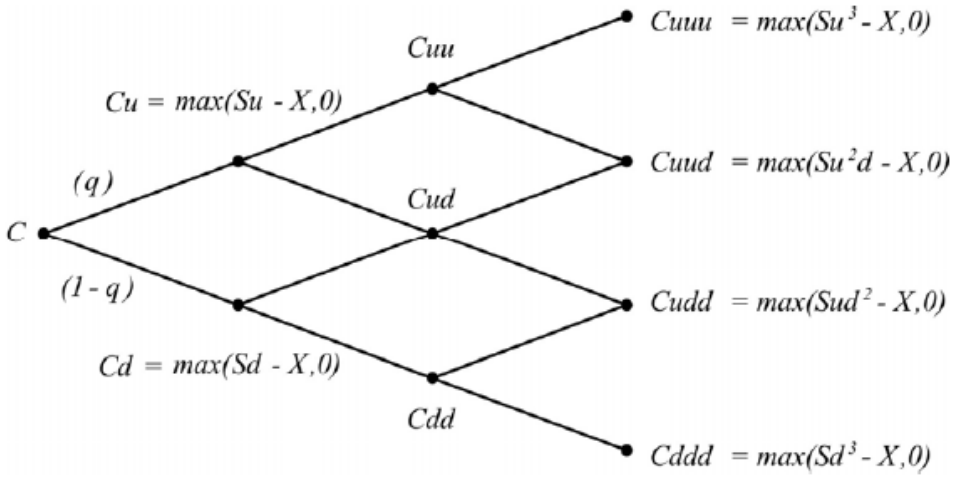
$$p = \frac{a-d}{u-d} \qquad \textbf{(4.19)}$$

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \qquad \textbf{(4.20)}$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \qquad \textbf{(4.21)}$$

$$a = e^{r\Delta t} \qquad \textbf{(4.22)}$$

denklemeleri elde edilir (Cheng,2011). Bu denklemlere göre, Şekil 4.5'de sunulan binom örgüsü ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.5 : Binom ağacı yaklaşımının işleyişi ve bir alım opsiyonunun incelenmesi.

Binom modelinde opsiyon değerlemesi yapılırken ağaç; en sondan (T anından) başlayarak, geriye doğru taranarak çalışılır. Opsiyonun T anındaki değeri bilinmektedir.

Örnek olarak, bir satım opsiyonunun değeri max(X - ST, 0), bir alım opsiyonun maksimum değeri ise max(ST - X, 0) olsun. Burada ST hisse senedinin T anındaki fiyatı, X ise kullanım fiyatı olsun. Risk-nötr bir ortamda bulunulduğu varsayımı ile, T-Δt anında her düğümdeki değer; bir Δt zaman aralığı için, T anında, r faiz oranı ile iskontalanmış beklenen değer ile hesaplanabilir. Aynı şekilde, T - 2Δt anındaki her düğümdeki değer; bir Δt zaman aralığı için, T anında, r faiz oranı ile iskontalanmış beklenen değer ile hesaplanabilir.

Eğer opsiyon Amerikan tipi bir opsiyon ise, opsiyonu bir Δt zaman aralığı daha elde tutmaya karşı erken kullanım tercihi, her düğüm için kontrol edilmelidir. Sonuçta, ağaç boyunca tüm düğümlerden geriye doğru giderek, başlangıç anındaki opsiyonun değeri elde edilmiş olur.

Ağaç boyunca geriye doğru giderek, bir alım opsiyonu için n dönemlik genelleştirilmiş binom değerleme denklemi elde edilir.

$$C = \sum_{j=0}^{n} \left\{ n!/\, j!(n-j)! \right\} p^{j} (1-p)^{n-j} \max\left(u^{j} d^{n-j} S - X, 0 \right) \Big/ (1+r)^{n} \qquad \textbf{(4.13)}$$

Tüm bu terimlerin toplamı ise opsiyonun beklenen değerini vermektedir. Pratikte n = 30 alınması durumda model kabul edilebilir oranda kesin sonuca yakınsamaktadır (Özoğul, 2008).

4.7.3 Monte Carlo Simülasyonu

Monte-Carlo simülasyonu; en basit anlatımıyla tahmin, kestirim ve risk analizi için kullanılabilecek bir çeşit rassal sayı üretecidir ve bir modeldeki çoklu ve kompleks risk faktörlerinin değerlendirilmesinde tercih edilen yötemdir (Prelipcean, 2008). Simülasyon kullanıcının daha önceden belirlediği olasılık dağılımından tekrar tekrar aldığı değerlerle model hakkında çok sayıda senaryo üretmeye yardımcı olur. (Mun,2010)

Risklerin ve bu riskler arasında etkileşimlerin söz konusu olduğu durumlarda deterministik çözümler çok sınırlı ve çoğunlukla yanlış olabilecek sonuçlar verir. Ancak bu gibi durumlarda ekonomik değerlendirmeler yapmak için Monte Carlo Simülasyonu ideal bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, bu yöntem proje çıktılarının tamamını kapsayan bir spektrumla bir olasılık dağılımı ortaya koymaktadır. Böylelikle, karar vericinin proje değerini etkileyebilecek her tür senaryoyu fark edebilmesine olanak tanırken yatırımcının modellerindeki kritik varsayımların yatırım çıktılarını ne derece etkilediğini, sistemin bu varsayımlara olan hassasiyetini de tahmin etmelerini sağlamaktadır. (Mun, 2010)

Belirsizlikle ilgili karmaşık ve büyük ölçekli problemleri ele almada Monte Carlo Simülasyonu mükemmel bir araçtır ancak bazı kısıtlamaları mevcuttur;

1. En ön yargısız olasılıklara dayalı girdilere sahip en detaylı modeller bile gerçek hayatta yasanan durumları modellemekte yetersiz kalmaktadır. Karar vericilerin oluşturulan modelin doğruluğuna itimat ederek Monte Carlo Simülasyon sonuçlarını işlemeleri gerekmektedir.

2. Monte Carlo Simülasyonu iyi tanimlanmis bir karar stratejisi sunmaz. Yönetimin bir kararı beklenen NBD`nin olasılıksal dağılımını dikkate alarak karara bağladığını varsayalım. Monte Carlo Simülasyonu'nun verdiği sonuçları bir dizi hareket planına sokmak için objektif kurallar mevcut değildir. Diğer bir deyişle Monte Carlo Simülasyonu sadece bir sonuç vermektedir. Bu sonuca ulaşmanın ve objektif adımlarının ne şekilde olaması gerektiği hakkında bilgi vermez.

3. Monte Carlo Simülasyonu, kendisini besleyen girdi parametrelerinin dağılımlarını dikkate alarak çözüm sunan bir analiz tekniğidir. belirsizliği çözülmesiyle ve yönetimsel esneklikle, kritik parametrelerin dağılımları değişebilir. Monte Carlo Simülasyonu bu tür değişiklikleri yakalamamaktadır (Özoğul, 2006).

Simülasyon tekniği hemen hemen her alanda bir uygulama sahası bulamaktadır. Üretimden askeriyeye, lojistikten iş süreçlerine, sağlıktan enerjiye ve daha bir çok sektördeki bir çok uygulamaya simülasyon yöntemi uygulanabilmektedir. Son zamanlarda ise, opsiyon değerlemesi, portfolyo değerlemesi gibi alanlarda risk analizi yapılabilmesi için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Banks ve diğ., 2005).

Sistemi modelleyebilmek için öncelikle sistem bileşenlerini ve onların birbilerine ve çevrelerine olan etkilerini anlamak gereklidir. Ayrıca, yapılan çalışmanın amacına göre, sistem ve çevresi arasındaki sınırlara karar verebilmek de tekniğin uygulanmasında oldukça büyük önem taşımaktadır.

5. RÜZGAR ENERJİSİ YATIRIMLARINDA DEVLET TEŞVİKLERİNİN OPSİYON MANTIĞIYLA MODELLENMESİ

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları için devlet tarafından sağlanan teşviklerin ortaya koyduğu değerin ölçülmesi için gerçek opsiyonlar yöntemi kullanılmış ve bu yöntemle ileriki çalışmalar için temel bir model oluşturulmuştur. Bu başlık altında öncelikle modelin oluşturulması için ihtiyaç duyulan veriler tanımlanmış, modelin temel kurgusu şekillendirilmiş, daha sonra kurgunun tamamlanması ve rüzgar yatırımının opsiyon değerinin bulunması için gerekli olan aşamalar ayrı ayrı başlıklandırılarak anlatılmıştır.

5.1 Modelin Oluşturulması İçin İhtiyaç Duyulan Veriler

Doğal kaynaklara yapılan yatırımlarda, projenin değeri 2 ayrı değişkene bağlıdır. Bunlardan ilki, yatırım değeri tarafından üretilebilecek kaynak miktarı; ki bu rüzgar enerjisi yatırımlarında türbinin kurulacağı alandaki rüzgar potansiyeline bağlıdır. Bu da direkt olarak rüzgar hızlarıyla ilişkilidir.

İkincisi ise; kaynağın fiyatı; ki bir rüzgar türbinin de üretim sürecinin ortaya koyduğu değer, deregüle edilmiş marketlerde, yüksek derecese değişkenliğe sahip olan elektrik fiyatlarıdır (Venetsanos, 2002).

Buna paralel olarak, tez çalışmasında temel olarak 3 ayrı veriye ihtiyaç duyulmuş, model bu üç verinin üzerinde analizleri üzerine bina edilmiştir. Bunlardan ilki; çalışılması planlanan bölgede ölçülen rüzgar verileri, ikincisi geçmişe yönelik kayıtlı birim elektrik fiyatları, üçüncüsü ise; türbin kurulumu maliyeti ve kurulduktan sonraki yıllarda harcanacak sürekli maliyetlerdir.

5.2 Modelin Temel Kurgusu

Modelin kurgusu 5 temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki; anemometre ile ölçülen yada meteorolojiden alınacak olan 10 m yükseklikteki rüzgar hızları verilerini kullanarak, bu verileri gelecek yıllarda gerçekleşebilecek rüzgar hızlarını

üretmek için bir simülasyon sürecinden geçirmek ve bu sayede bir dizi rüzgar hızı elde etmek suretiyle, bu rüzgar hızı verilerini, elde edilecek enerji formülünde kullanmak üzere hazır hale getirmektir.

İkinci aşamayı gelecek zamana ait fiyat verilerinin simüle edilmesi oluşturmaktadır. Gelecekteki fiyat verilerinin tahmini, zaman serileri vb. klasik tahmin yöntemleri kullanılarak yada simülasyon yöntemiyle yapılabilmektedir.Çalışmanın bu aşamasında, devletin yetkili kurumunun internet sitesinden, geçmişte gerçekleşen kaydedilmiş saatlik elektrik fiyatları verilerini toplanarak, bu elektrik birim fiyatlarının literatürde bahsedildiği şekilde geometrik brownian hareketi gösterdiği varsayımıyla, volatilite ve sürüklenme katsayıları hesaplanmıştır. Daha sonra, bu verilerle gelecekte gerçekleşmesi beklenen elektrik birim fiyatları simüle edilerek elde edilmiştir. Elde edilen bu fiyatlar, teşvik fiyatları ile kıyaslanmış ve teşvik opsiyonunun kullanılıp kullanlmama kararına göre NBD analizine girdi teşkil etmesi için düzenlenmiştir.

Üçüncü aşamada, türbin yatırım ve sürekli maliyetlerinin belirlenebilmesi için, türbin üreticileri ile görüşmeler yapılmış, literatürdeki makaleler ve uluslararası rüzgar enerjisi otoritelerince yayınlanan raporlar incelenmiş, bulunan sonuçlar harmanlanarak uniform dağılıma göre simüle edilmiş, yapılacak her simülasyon için ayrı ilk yatırım maliyeti ve sürekli maliyetler hesaplanmıştır.

Dördüncü aşama, teşvik kullanılarak elde edilen nakit akışlarının net bugünkü değerlerinden teşvik kullanılmadığı durumda elde edilen nakit akışlarının net bugünkü değeri çıkarılmasıyla devletin sağladığı teşviklerden elde edilen opsiyon değerini hesaplamak olacaktır.

Son aşamada ise, riskli ve risksiz faiz oranlarındaki değişimlerin yatırımcıların teşvik kullanarak elde ettiği gelir, tüm nakit akışlarının net bugünkü değeri ve opsiyon değerinin üzerindeki etkileri araştırmak üzere duyarlılık analizleri yapılmıştır.

5.3 2 MW'lık Rüzgar Türbininden Elde Edilen Enerjinin Bulunması

Bir rüzgar türbininden üretilecek olan elektrikten elde edilecek gelir, denklem (5.1)'de formüle edildiği üzere, elde edilen enerjinin elektriğin birim fiyatıyla çarpılması sonucu elde edilmektedir.

Gelir = Elde Edilen Enerji (kWh) x Elektriğin Birim Fiyatı (TL/kWh) **(5.1)**

Formülün ilk bileşeni olan rüzgar türbininden "elde edilen enerji" ise denklem 5.2'de belirtildiği gibi;

$$E = \frac{1}{2}\rho A \upsilon^3 C_p \quad \textbf{(5.2)}$$

formülüyle bulunmaktadır. Burada daha önce de anlatıldığı gibi, ρ; havanın yoğunluğu, A; rotor süpürme alanı, υ rüzgar hızını, C_p ise rotor güç katsayısını temsil etmektedir. Burada yer alan parametrelerden de anlaşılacağı üzere; elde edilen enerjiyi hesaplayabilmek için, ρ ve C_p sabit birer katsayı olduğundan, türbin rotor süpürme alanı ve rüzgar verileri gerekmektedir. Bu hesaplama yapılırken, Yavuz Yalçın (2010)'ın yüksek lisans tez çalışmasında Terkos Bölgesi'nden anemometre ölçümlerinden elde ettiği rüzgar hızı verileri baz alınmış ve analizler bu veriler üzerinde uygulanarak simüle edilmiştir. Bununla birlikte, literatürde, Akdağ (2010), İlkiliç (2010), Güler (2009), Celik (2007) örneklerinde görüleceği gibi, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 10 m yükseklikteki rüzgar hızları kullanılsa da, bu yükseklikteki rüzgar hızlarının çalışmalara girdi teşkil edecek derecede sağlıklı veriler olmadığı ve bina, ağaç, araçlar vb. yüzey pürüzlülüklerinin rüzgarın düz arazide sahip olacağı enerjinin çok daha az bir miktarına sahip olmasına sebep olcağı için minimum 50 m yükseklikteki direklerden anemometreyle alınacak ölçümlerin daha sağlıklı sonuçlar vereceği uzmanlarca ifade edilmektedir. Bununla birlikte, 10 m'deki rüzgar hızları

$$\frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{\alpha} \quad \textbf{(5.3)}$$

formülü kullanılarak 50 m'deki yükseklikteki rüzgar hızları elde edilmeye çalışılsa da, bu sonuçlar da yine 10 metr yüksekliğinde bulunan ve üretilecek rüzgar enerjisini oldukça büyük ölçüde etkileyebilecek ve elde edilen sonuçların güvenilirliğini sarsacak olan pek çok etmenden dolayı, anemometreden elde edilen veriler kadar güvenilir olmamaktadır (Barutçu, 2012).

Çalışmada kullanılan rüzgar türbini, Yalçın (2010)'ın da tezinde kullandığı türbin olan Vestas V80'dir. Bu türbine ait teknik özellikler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Vestas V80'in teknik özellikleri.

İşletme Verileri	
Nominal Güç	2000 kW
Devreye Girme Hızı	4 m/s
Nominal Rüzgar Hızı	16 m/s
Devreden Çıkma Hızı	25 m/s
Rotor	
Rotor Çapı	80 m
Süpürme Alanı	5027
Tower	
Hub yüksekliği	80 m

Çalışmanın önceki bölümlerinde de anlatıldığı üzere, rüzgar hız değerleri en uygun şekilde 2 parametreli weibull dağılımına göre modellenebilmektedir. Ancak k ve c parametreleri iteratif bir şekilde çözümleme gerektirdiğinden, bu hesaplamaların ayrı bir program vasıtasıyla elde edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, weibull ile rastsal olarak simüle edilen rüzgar hızlarının excel'de maksimum ve minimum rüzgar hızları arasında simüle edilmesi mümkün olmamakta, bu da hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Bütün bu kısıtlamalardan ötürü, çalışmada excel'de S_SAYI_ÜRET() komutuyla (0,1) aralığında uniform dağılıma uyacak şekilde üretilen rassal sayılar, a;minimum değeri, b; maksimum değeri, R ise uniform dağılımdan alınmış bir rassal sayıyı belirtmek üzere,

$$X = a + (b-a)\,R \qquad \textbf{(5.4)}$$

şeklinde ifade edilen uniform dağılım ters dönüşüm formülüne uygulanarak, enerjisi hesaplanacak olan aya ait tesbit edilen maksimum ve minimum rüzgar hızları arasında simüle edilmiştir. Bunun akabinde ise, aylık rüzgar hızları, yıllık rüzgar ölçümü alınan bölgedeki aylık ortalama rüzgar hızlarının yıllık ortalama rüzgar hızına bölünmesiyle elde edilen mevsimsellik katsayılarıyla çarpılarak bu hızların gerçek veriye yakınsaması sağlanmıştır. Böylelikle yatırımın ekonomik ömrü olan 20 yıl süresince elde edilebilecek rüzgar hızları üretilmiştir.

Aylara ait hesaplanan mevsimsellik katsayıları Çizelge 5.2'de sunulmuştur. Bu tabloda, örneğin ocak ayı için hesaplanan mevsimsellik katsayısı; formül 5.5'deki şekilde, i; yıl içerisindeki ayları, AylıkOrtalama_i; bahsi geçen ayda gerçekleşen aylık ortalam rüzgar şiddeti (m/s) ve YıllıkOrtalama ise yıl içerisinde gerçekleşen bütün rüzgar hızlarının ortalamasını belirtmek üzere; örneğin ocak ayı mevsimselliği, ocak

ayı ortalama rüzgar şiddetinin yıllık toplam rüzgar ortalamasına bölünmesiyle bulunmuştur.

$$Mevsimsellik_i = \frac{AylıkOrtalama_i}{YıllıkOrtalama} = \frac{6,3804}{6,5438} = 0,9750 \quad \textbf{(5.5)}$$

Çizelge 5.2 : Aylar bazında hesaplanan mevsimsellik katsayıları.

Aylar	Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti (M/s)	Mevsimsellik Katsayısı
Ocak	6,3804	0,9750
Şubat	7,4238	1,1345
Mart	6,7819	1,0364
Nisan	6,1480	0,9395
Mayıs	4,5551	0,6961
Haziran	5,1982	0,7944
Temmuz	6,0482	0,9243
Ağustos	7,7540	1,1849
Eylül	7,2688	1,1108
Ekim	7,2832	1,1130
Kasım	6,8498	1,0468
Aralık	6,8345	1,0444
Toplam Ortalama	6,5438	-

Aylık ortalama rüzgar hızlarının mevsimsellik katsayısıyla çarpılarak elde edilen düzeltimiş rüzgar hızları

$$P = \frac{1}{2}\rho A \upsilon^3 C_p t \quad \textbf{(5.6)}$$

formülünde düzenlenerek, havanın yoğunluğu

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 \quad \textbf{(5.7)}$$

rotor süpürme alanını temsil eden A ve rotor güç katsayısını temsil eden C_p

$$A = \pi r^2 = (3,14)*402 = 5027 \quad \textbf{(5.8)}$$

$$C_p = 0,40 \quad \textbf{(5.9)}$$

olarak düzenlendikten sonra formülde yerlerine konulduğunda her ay için aylık üretilen enerji verilerine ulaşılmış olur. Bu şekilde hazırlanan 1 yıllık veri tablosu Çizelge 5.3'de sunulmuştur.

Bu noktada, Şekil 2.2'de verilen türbin güç/hız grafiğinde belirtilen kısıtların uygulamada ele alınması gerekmektedir. Öncelikle, Betz limitinin kısıtlamasından

dolayı, üretilen bütün enerji kullanılamamakta, üretilen bütün enerjinin ancak belli bir kısmından faydalanılabilmektedir. Pratik hayatta C_p nin geçekleşme aralığı %40-45 arasında olup, bu çalışmada da $C_p = 0{,}40$ olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte, Şekil 2.2'de verilen grafikte; bir türbinin minimum 2,5-3 m/s hıza ulaştığında devreye girdiği, rüzgar 12 m/s'ye ulaştığında ise türbinin en fazla maksimum güç düzeyinde enerji üretilebileceği, 25 m/s'lik hıza ulaştığında ise kendini kapattığı vurgulanmaktadır. Ancak, burada dikkate alınması gereken bir diğer husus uygulamada kullanılan Vestas markasına ait V80 modelinin devreye girme hızı 4 m/s'dir. Bu nedenle, Excel'de mevsimsellik katsayılarıyla normalleştirilmiş uniform dağılıma uygun rastgele sayıları kullanarak simüle edilen rüzgar hızlarından üretilecek enerji hesap edilirken, if/else döngüsüyle rüzgar hızı türbinin devreye girdiği 4 m/s'den küçük olduğu durumlarda ($v<4$) $E=0$, rüzgar hızının $4 \le v \le 12$ olduğu durumlarda

$$E = 1/2 * \rho * A * v^3 * C_p * t \qquad \textbf{(5.10)}$$

rüzgar hızının 12 m/s'den büyük ($v>12$) olduğu durumlarda ise, 2 MW'lık bir türbin üzerinde çalışılmasından ötürü, bu ölçekte bir türbinin aylık üretebileceği enerji olan

$$E = 2 * 10^6 * 24 * 30 = 1.400.000.000 \qquad \textbf{(5.11)}$$

formülü kullanılacak şekilde

$$E = \begin{Bmatrix} v < 4; 0 \\ 4 \le v \le 12; \frac{1}{2}\rho A v^3 \\ v > 12; 1.400.000,00 \end{Bmatrix} \qquad \textbf{(5.12)}$$

fonksiyonuyla tanımlanmıştır. Bulunan bu değerler Wh cinsinden olup, teşvikler kWh cinsinden olduğu ve hesaplamalar da bu birim üzerinden gerçekleştirildiği için, bunlar 1000'e bölünerek kWh haline dönüştürülmüştür.

Çizelge 5.3 : Rüzgar hızlarından aylık üretilen enerjinin kWh cinsinden bulunması.

Dönem	Aylar	Max Rüzgar Hızı	Min Rüzgar Hızı	Rassal sayı	Uniform Dağ. Elde Edilen Rüzgar Hızları	Mevsimsellik Katsayıları	Mevsimsellik KS'na Göre Ayarlanmış Rüzgar Hızları	Aylık Üretilen Enerji (Wh)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)
0	Haziran	13,64	2,03	0,31	5,59	1,11	6,21	212.506.201,53	212.506,20
1	Temmuz	13,43	3,32	0,86	11,97	1,11	13,32	1.440.000.000,00	1.440.000,00
2	Ağustos	19,60	2,65	0,74	15,15	1,05	15,85	1.440.000.000,00	1.440.000,00
3	Eylül	9,49	3,82	0,22	5,05	1,04	5,28	130.326.659,06	130.326,66
4	Ekim	11,85	2,29	0,78	9,73	0,98	9,49	756.323.576,32	756.323,58
5	Kasım	9,80	2,81	0,46	6,02	1,13	6,83	282.566.404,66	282.566,40
6	Aralık	9,27	2,45	0,86	8,32	1,04	8,62	567.639.070,86	567.639,07
7	Ocak	10,58	3,57	0,55	7,42	0,94	6,98	300.744.892,27	300.744,89
8	Şubat	13,50	3,89	0,55	9,15	0,70	6,37	228.650.092,17	228.650,09
9	Mart	13,50	3,89	0,37	7,42	0,79	5,90	181.645.123,56	181.645,12
10	Nisan	14,23	3,17	0,22	5,57	0,92	5,15	120.846.215,15	120.846,22
11	Mayıs	14,94	2,84	0,42	7,96	1,18	9,43	742.632.508,49	742.632,51
12	Haziran	13,64	2,03	0,03	2,43	1,11	2,70	0,00	0,00

5.4 Gelecek Yıllara Ait Fiyatların Simüle Edilmesi

Çalışmada, geçmiş aylara ait elektrik birim fiyatları, PMUM resmi sitesinden alınan ve PMUM'un Gün Öncesi Planlama ve Dengeleme Güç Piyasası'nın devreye alındığı tarih olan 1 Aralık 2009 tarihinden 31 Haziran 2012 tarihine kadar olan 31 aylık ve 943 saatlik Sistem Gün Öncesi Fiyatları (SGÖF)'nın aylık ortalamalarından elde edilmiştir. Elde edilen bu fiyatlar, devletin teşvik mekanızması dolar üzerinden işlediği için, Merkez Bankası'nda bulunan, bahsi geçen aylara ilişkin ortalama dolar kuru değerleri üzerinden dolara çevrilmiştir.

Elde edilen elektrik fiyatlarının literatürde geçtiği üzere geometrik brownian süreci izlediği var sayılarak, gelecekte gerçekleşebilecek fiyatları tahmin etmek üzere, geçmiş fiyatların bağıl logaritmik serileri formül 4.10' daki şekilde oluşturulduktan sonra, sırasıyla bu bağıl getirilerin toplamının ortalaması alınarak formül 4.11'da yerine konularak ortalama bağıl getiri bulunmuş, formül 4.12'deki volatilite hesabında yerine yazılarak, geçmiş verilerin volatilitesi S = σ = 0,25 olarak bulunmuştur.

$$\bar{r} = \frac{1}{31}\sum_{i=1}^{31} r_i = -0,0029 \qquad \textbf{(5.13)}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{30}\sum_{i=1}^{31}(r_i - (-0,0029)^2} = 0,25 \qquad \textbf{(5.14)}$$

Çalışmada ayrıca zaman adımları olarak tabir edilen Δt, geleceğe ait 240 dönem tahmin edileceğinden ve geçmiş veri ve risksiz faiz oranı da bu dönemlere ait olduğundan ve hepsi de aynı birimde olması gerektiğinden

$$\Delta t=1 \qquad \textbf{(5.15)}$$

olarak alınmıştır. Böylelikle sürüklenme katsayısı olan μ, ilgili formülde ortalama bağıl getiri, volatilite ve zaman adımları parametrelerinin değerleri yerlerine yazılarak elde edilmiştir.

$$\hat{\mu} = \frac{-0,0029 + \frac{(0,25)^2}{2}}{1} = 0,029 \qquad \textbf{(5.16)}$$

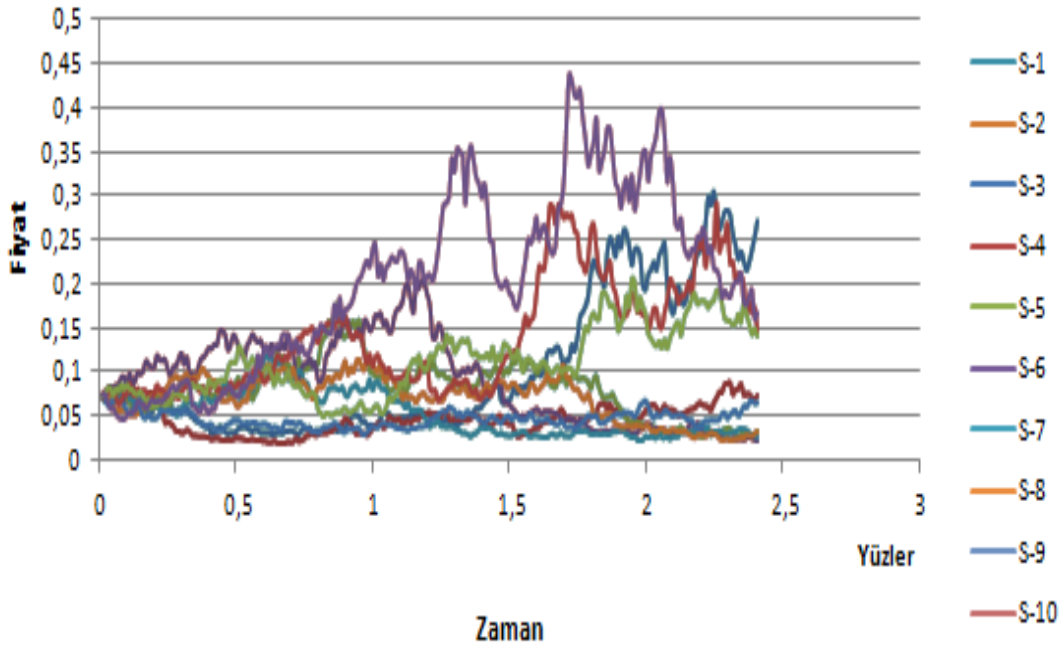
Yapılan çalışmanın Excel ekran görüntüsü Ekler'de sunulmuştur.

Bulunan bu volatilite, sürüklenme katsayısı ve zaman adımları kullanılarak, Fiyatların gelecekte de geometrik brownaian hareketi izleyeceği varsayımıyla. Gelecekteki her zaman adımında fiyatların alacağı değeri belirlemek üzere Excel'de veriler simüle edilmiştir. Bu simülasyon sürecinde ilk olarak Excel'de S_SAYI_ÜRET() formülü kullanılarak uniform dağılıma uyan rassal sayılar üretilmiş, daha sonra bu sayılar NORMTERS() formülü kullanılarak uniform dağılımdan normal dağılıma dönüştürülmüş daha sonra buradan elde edilen rastsal sayılar,

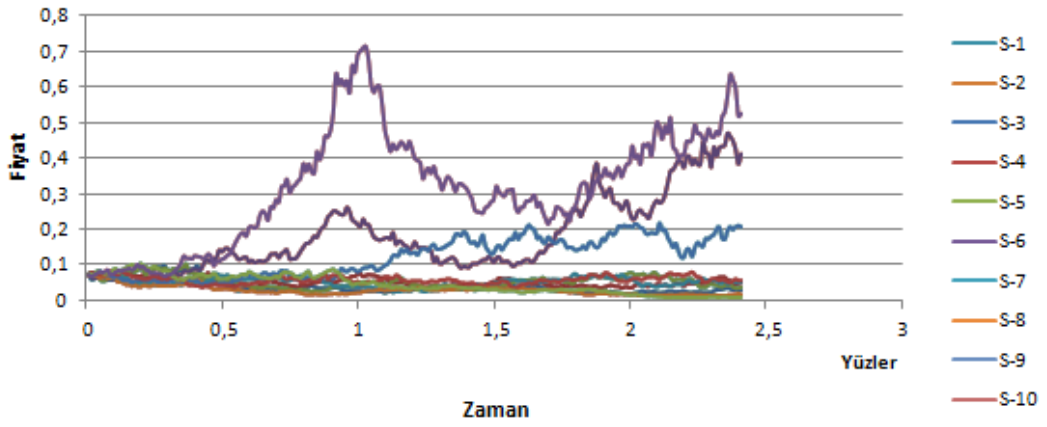
$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma\varepsilon\sqrt{dt} \qquad \textbf{(5.17)}$$

formülündeki ε yerine kullanılarak Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2010 yılı raporunda belirtilen 20 yıllık türbinin ekonomik ömrünün yani 240 aylık enerjinin fiyatı verisinden 200 defa simüle edilerek gelecek fiyatların ne kadar olabileceği tahmin edilmiştir. Tahmin edilen bu değerler PMUM verilerinin MWh üzerinden hesap yapmasından dolayı MWh cinsinden olduğundan, SMF'ler 1000'e bölünerek kWh'inin ne kadar olduğu bulunmuştur.

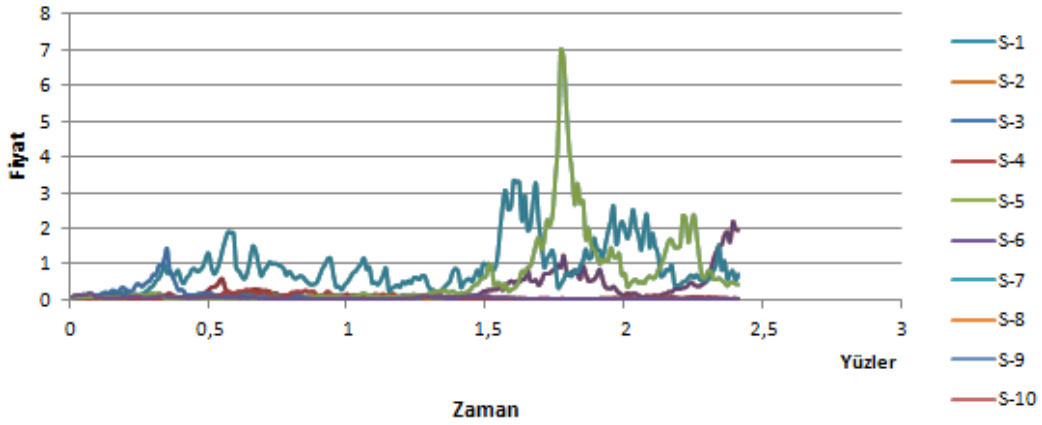
Elde edilen simülasyon örneklerinden bazıları Şekil 5.1, Şekil 5.1 ve Şekil 5.3'te sunulmuştur.



Şekil 5.1 : Fiyat serilerinin simüle edilmesi : Örnek-1.



Şekil 5.2 : Fiyat serilerinin simüle edilmesi : Örnek-2.



Şekil 5.3 : Fiyat serilerinin simüle edilmesi : Örnek-3.

Gelecekte gerçekleşebilecek fiyat verilerinin simülasyonundan sonra, devletin sağladığı garanti fiyat teşviğini içeren satma hakkına sahip olma olarak anlatabileceğimiz satma hakkı opsiyon değerini bulma sürecine girdi teşkil edecek olan projenin NBD'sini tespit etmek için, bu verileri kullanarak gelecekte elde edilebilecek gelir verilerini bulma aşamasına geçilmiştir.

5.5 Türbinden Elde Edilen Gelirin Bulunması

Elde edilen gelirin hesaplanması sırasında takip edilen adımlar şu şekildedir.

Bir rüzgar türbininden üretilecek olan elektrikten elde edilecek gelir,

$$\text{Gelir} = \text{Elde Edilen Enerji (kWh)} \times \text{Elektriğin Birim Fiyatı (TL/kWh)} \quad \textbf{(5.18)}$$

denklemiyle hesaplanmakta olduğundan, ilk aşamada elde ettiğimiz üretilen enerji verilerinin bahsi geçen ayda kullanılacak olan birim elektrik fiyatı ile çakıştırılarak çarpılmasıyla bulunacaktır.

Devletin yerli yapım türbin kullanılması ve ithal türbin kullanılması durumlarında yatırımcılara sağladığı teşvik konumundaki alım garantisi sağlayan fiyatlar, yatırımcılara verilen bir satma hakkı opsiyonudur. Bu durumda yatırımcılar, o gün içerisinde piyasada gerçekleşen elektrik fiyatı devlet teşviğinden düşükse, devletin sağladığı garanti fiyat opsiyonunu kullanmayı seçeceklerdir. Böylelikle, devletin yatırımcıya sağladığı alım garantisi gereği, elektriği devlete garanti fiyattan satma hakkını satın almış olacaklardır. Öyle ise, bu opsiyon anlaşması gereğince, devlet de yatırımcıdan bu fiyattan elektrik almak mecburiyetinde olacaktır.

Yatırımcı, bu tercihi her yaptığı anda bir çeşit binom metodu uygulaması gerçekleşmekte ve iki farklı fiyat durumundan hangisi yatırımcıya en büyük faydayı sağlıyorsa, yatırımcı o adımı gerçekleştirmeyi seçmektedir. Zira,

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma\varepsilon\sqrt{dt} \qquad \textbf{(5.19)}$$

formülünde kullanılan dS bir sonraki periyotta gerçekleşecek olan fiyatın, içinde bulunulan zamandaki fiyata göre değişimini ifade etmektedir. Bu değişim sürüklenme katsayısı ve volatilitenin etkisiyle pozitif ya da negatif yönlü gerçekleşebilmektedir. Örneğin 0 zamanında gerçekleşen birim elektrik fiyatı

$$S_0=0{,}073 \qquad \textbf{(5.20)}$$

ise ve belli μ ve sigma (σ) değerleriyle hesaplanan

$$dS=0{,}0117 \qquad \textbf{(5.21)}$$

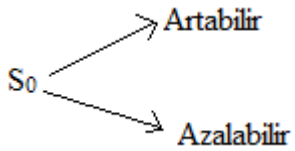
olarak hesap edilmiş olsa, bu durumda, bir sonraki fiyat bu miktarca artarak

$$S_1=0{,}073+0{,}0117 = 0{,}0847 \qquad \textbf{(5.22)}$$

olacaktır. Bu adımdaki değişim miktarı dS= -0,0167 olduğunda ise

$$S_2=0{,}0847-0{,}0167=0{,}068 \qquad \textbf{(5.23)}$$

olacaktır. O halde; birim elektrik fiyatı Şekil 4.4'teki gösterime benzer şekilde, bir sonraki zaman periyodunda, volatilite ve sürüklenme katsayılarının etkisiyle Şekil 5.4'te gösterildiği gibi artış yada azalış gösterebilmektedir.



Şekil 5.4 : Birim elektrik fiyatında gerçekleşebilecek olan değişimler.

Bu opsiyonu kullanıp kullanmama kararında; devletin sağladığı garanti fiyat opsiyonun kullanım fiyatı olan X, piyasa fiyatı ise S'i temsil etmektedir. Bu durumda opsiyon değeri

$$\text{Opsiyon Değeri} = \text{Max}\,(X-S\ ,\ 0) \qquad \textbf{(5.24)}$$

olacaktır. Yatırımcı opsiyonu kullanıp kullanmama kararını fonksiyonun sonucunda elde edeceği sonuca göre belirleyecektir. Eğer

$$X-S>0 \qquad \textbf{(5.25)}$$

ise opsiyon değeri pozitif olacağından, bu opsiyon kullanılacak ve yatırımcı devletin sağladığı garanti fiyattan elektriği devlete satacaktır.

$$X-S\leq 0 \qquad \textbf{(5.26)}$$

olduğu durumda ise opsiyonu kullanmanın bir değeri olmayacaktır. Öyle ise, yatırımcı elektriği piyasaya satmayı tercih edecektir.

Örneğin; bu gün piyasada PMUM'da gerçekleşen fiyat kWh başına elektrik fiyatı S= 0,069 dolarcent ve devlet teşviği ise X=0,073 dolar cent olsun. Bu durumda,

$$\text{Max}\,(0{,}073-0{,}069,0) = 0{,}004 \qquad \textbf{(5.27)}$$

olduğundan teşvik kullanılacaktır. Böylelikle, yatırımcı bu opsiyonu kullanarak kWh'te 0,004 dolarcent kazanç sağlamış olacaktır.

Literatürde, finansal teoride, pazar riski; market riski ve özel riskler olarak ikiye ayrılmaktadır. Market riskleri; gelecekteki bilinmeyen gelirler, maketteki değişimlere

oldukça duyarlı nakit akışlarını içerir ve riske uyarlanmış faiz oranı ile günümüze indirgenirken, özel riskler ise firmanın marketin değişimiyle etkilenmeyeceği ancak şirketin iç mali yapısının değişiminden etkilenen ikincil yatırım giderlerini içerir ki bunlar da risksiz faiz oranıyla bugüne indirgenmektedirler (Mun, 2002)

Bu bağlamda, daha sonraki aşamada, Excel'de simüle edilen geleceğe yönelik elektrik fiyatları, devletin sağladığı, türbin kurulumunda yerli üretim türbinleri kullanan yatırımcılar için 0,11 dolarcent/kWh ve türbin kurulumunda yabancı üretim türbinleri kullanan yatırımcılar için 0,073 dolarcent/kWh olan teşvik fiyatları ile karşılaştırılmış, PMUM'dan alınan piyasa fiyatı teşvik fiyatının üzerindeyse piyasa fiyatından alım yapmaya karar verilirken, elde edilen gelirin bugünkü değerinin bulunması esnasında teşvik kadarlık kısmı risksiz faiz oranı (Rf) ile, risksiz gelir olarak,

$$\text{Gelir}_{\text{r.siz}} = \text{Aylık Üretilen Enerji (kWh)} \times \text{Garanti Fiyat} \qquad \textbf{(5.28)}$$

fonksiyonuyla, teşvikten fazla olan kısmının ise riske ayarlanmış faiz oranı (r) ile, riskli gelir olarak

$$\text{Gelir}_{\text{r.li}} = \text{Aylık Üretilen Enerji (kWh)} \times (\text{Piyasa Fiyatı} - \text{Garanti Fiyat}) \qquad \textbf{(5.29)}$$

fonksiyonuyla bugünkü değeri bulunmak üzere iki ayrı sütuna bölünmüştür. Piyasa fiyatı teşvik fiyatının altında kaldığında da teşvik opsiyonunun kullanılmasına karar verilirken, elde edilen gelirin bugünkü değerinin hesaplanması esnasında risksiz faiz oranı kullanılmıştır.

Sonraki aşamada gelirin elde edildiği formül olan formül 5.3'de belirtildiği gibi, daha önceden hesaplanan bahsi geçen aya ait elde edilen enerji ile opsiyon kullanıp kullanmama kararından sonra ortaya çıkan elektriğin birim fiyatı ile çarpılmıştır.

Sonraki aşamada ise, yerli ve ithal türbin teşviği kullanılması durumunda riskli ve risksiz aylık gelirler hesaplanmıştır. Yerli üretim türbin ile elektrik üretimi yapılması takdirde gelirlerin NBD'si:

$$NBD_{yerli} = \left[\left(\frac{\left(Gelir_{r.siz}\right)_{yerli}}{(1+R_f)^{dönem}}\right)\right] + \left[\left(\frac{\left(Gelir_{r.li}\right)_{yerli}}{(1+r)^{dönem}}\right)\right] \qquad \textbf{(5.30)}$$

yabancı üretim ise gelirlerin NPV'si

$$NBD_{ithal} = \left[\left(\frac{(Gelir_{r.siz})_{ithal}}{(1+R_f)^{dönem}}\right)\right] + \left[\left(\frac{(Gelir_{r.li})_{ithal}}{(1+r)^{dönem}}\right)\right] \quad \textbf{(5.31)}$$

fonksiyonlarıyla hesaplanmıştır.

Çalışmada, Ertürk (2012) makalesinde hesaplanan ve %13,12 olarak bulunan nominal riskli yıllık faiz oranı ve %3,17 olarak bulunan nominal risksiz yıllık faiz oranı referans alınarak kullanılmıştır. Hazırlanan tablonun Excel gösterimi Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Bu çizelgede, hesaplamalarda gerçekleşen 3 ayrı durum özetlenmiştir. Örnek 1 olarak ifade edilen satırda, piyasa fiyatı yerli türbin kullanan üreticiye sağlanan teşvik fiyatından düşüktür. Bu durumda yatırımcı ürettiği elektriği 0,11 dolarcent olan garanti fiyat üzerinden devlete satacaktır. Buradan yerli üretim türbin teşviği ile elde edilen risksiz gelir gelir

$$\text{Gelir}_{\text{yerli,r.siz}} = \text{Aylık Üretilen Enerji x Garanti Fiyat}_{\text{yerli}} \quad \textbf{(5.32)}$$

$$\text{Gelir}_{\text{yerli,r.siz}} = 551.848{,}98 \text{ x } 0.11 = 60.703{,}39 \text{ \$} \quad \textbf{(5.33)}$$

olarak bulunacaktır.

Bu gelirin bugunkü değeri ise, $NBD_{yerli,r.siz}$ yerli üretim türbin teşviğinden elde edilen risksiz geliri, Rf risksiz faiz oranını, *dönem* ise yapılan simülelerden rastgele seçilen örnek satırın ait olduğu dönem numarasını temsil etmek üzere,

$$NBD_{yerli,r.siz} = \frac{(Gelir_{r.siz})_{yerli}}{(1+R_f)^{dönem}} \quad \textbf{(5.34)}$$

formülüyle yerli üretim teşviğiyle 45.293,391 $ olarak bulunacaktır.

Öte yandan ithal türbin kullanarak üretim yapan bir yatırımcı için ise piyasa fiyatı devletin alım garantisi verdiği fiyattan daha yüksektir. Bu durumda, bu yatırımcının o ayda elde edeceği gelir, teşvik fiyatı kadar olan 0,073 dolarcentlik kısmı risksiz gelir geriye kalan kısmı ise riskli gelir olarak ayrılır. O halde, bu yatırımcının riskli geliri

$$\text{Gelir}_{\text{ithal,r.siz}} = 0{,}073\text{x}551.848{,}98 = 40.284{,}98 \text{ \$} \quad \textbf{(5.35)}$$

$$Gelir_{ithal,r.li} = (0{,}11 - 0{,}073) \times 551.848{,}98 = 6.872{,}84\ \$ \quad \textbf{(5.36)}$$

olarak bulunur. Bu gelirlerin bugünkü değerini bulurken, riskli gelir riskli faiz oranıyla risksiz gelir ise risksiz faiz oranıyla bugünkü değere indirgenir. Dolayısıyla, R_f risksiz faiz oranını, r ise riskli faiz oranını temsil etmek üzere, ithal türbin teşviğiyle elde edilen gelirin bugünkü değeri;

$$NBD_{ithal,r.siz} = \frac{\left(Gelir_{r.siz}\right)_{ithal}}{(1+R_f)^{dönem}} \quad \textbf{(5.37)}$$

$$NBD_{ithal,r.li} = \frac{\left(Gelir_{r.li}\right)_{ithal}}{(1+R_f)^{dönem}} \quad \textbf{(5.38)}$$

olmak üzere

$$NBD_{ithal,total} = \frac{\left(Gelir_{r.siz}\right)_{ithal}}{(1+R_f)^{dönem}} + \frac{\left(Gelir_{r.li}\right)_{ithal}}{(1+R_f)^{dönem}} \quad \textbf{(5.39)}$$

fonksiyonuyla 32.121,470 $ olarak bulunur.

Örnek 2 olarak ifade edilen satırda piyasa fiyatı yerli türbin kullanan üreticiye sağlanan teşvik fiyatından da ithal türbin kullanan üreticiye sağlanan teşvik fiyatından da düşüktür. Bu durumda her iki yatırımcı da ürettiği elektriği devletin kendilerine garantilediği fiyatlar olan sırasıyla 0,11 dolarcent ve 0,073 dolarcent üzerinden devlete satacaktır. O halde, her iki yatırımcının da gelirleri risksiz gelir olacak ve bunlar, risksiz faiz oranıyla bugünkü değere indirgenecektir. Dolayısıyla, yerli türbin teşviği kullanan yatırımcının geliri, Garanti $Fiyat_{yerli}$ yerli üretim türbin teşvik fiyatını temsil etmek üzere,

$$Gelir_{yerli,r.siz} = \text{Aylık Üretilen Enerji (kWh)} \times \text{Garanti } Fiyat_{yerli} \quad \textbf{(5.40)}$$

fonksiyonunun düzenlenmesiyle,

$$Gelir_{yerli,r.siz} = 202.513{,}75 \times 0{,}11 = 22.276{,}51\ \$ \quad \textbf{(5.41)}$$

olarak bulunacaktır.

ithal türbin teşviği kullanması durumunda ise, Garanti Fiyatithal ithal türbin teşvik fiyatını temsil etmek üzere,

$$\text{Gelir}_{\text{ithal,r.siz}} = \text{Aylık Üretilen Enerji (kWh)} \times \text{Garanti Fiyat}_{\text{ithal}} \quad \textbf{(5.42)}$$

fonksiyonunun düzenlenmesiyle,

$$\text{Gelir}_{\text{ithal,r.siz}} = 202.513{,}75 \times 0{,}073 = 14.783{,}50\ \$ \quad \textbf{(5.43)}$$

olarak bulunacaktır.

Örnek 3 olarak belirtilen 3. satır ise teşviklerin tamamen bittiği bir yıl için elektriğin piyasa fiyatından müşterilere satıldığı bir ayı örneklemektedir. Böyle bir ayda elde edilen gelirler

$$\text{Gelir}_{\text{r.li}} = \text{Aylık Üretilen Enerji (kWh)} \times \text{Piyasa Fiyatı} \quad \textbf{(5.44)}$$

fonksiyonuyla yerli üretim türbin kullanan yatırımcı için de ithal türbin kullanan yatırımcı için de aynı değere sahip olmakta ve

$$\text{Gelir}_{\text{r.li}} = 767.525{,}40 \times 0{,}0676 = 51.873{,}90\ \$ \quad \textbf{(5.45)}$$

olarak bulunmaktadır.

5.6 Türbin Kurulum Maliyeti ve Sürekli Giderlerin Belirlenmesi

Rüzgar enerjisi yatırımlarında ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olduğundan yatırımcılar için önem taşıyan bir husustur. Bu kapsamda, tez çalışmasında ele alınan analizlerde baz alınmak üzere, türbin yatırım ve sürekli maliyetlerinin belirlenebilmesi için, türbin üreticileri ile görüşmeler yapılmış, literatürdeki makaleler ve uluslararası rüzgar enerjisi otoritelerince yayınlanan raporlar incelenmiş, bulunan sonuçlar harmanlanarak uniform dağılıma göre simüle edilmiş, yapılacak her simülasyon için ayrı maliyetler hesaplanmıştır.

Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği'nin 2009'da yayınlamış olduğu Rüzgar Enerjisi Ekonomisi adlı raporda 2 MW'lık bir türbinin kurulumu sırasında oluşabilecek harcamaların oransal dağılımı Çizelge 5.5'deki gibidir.

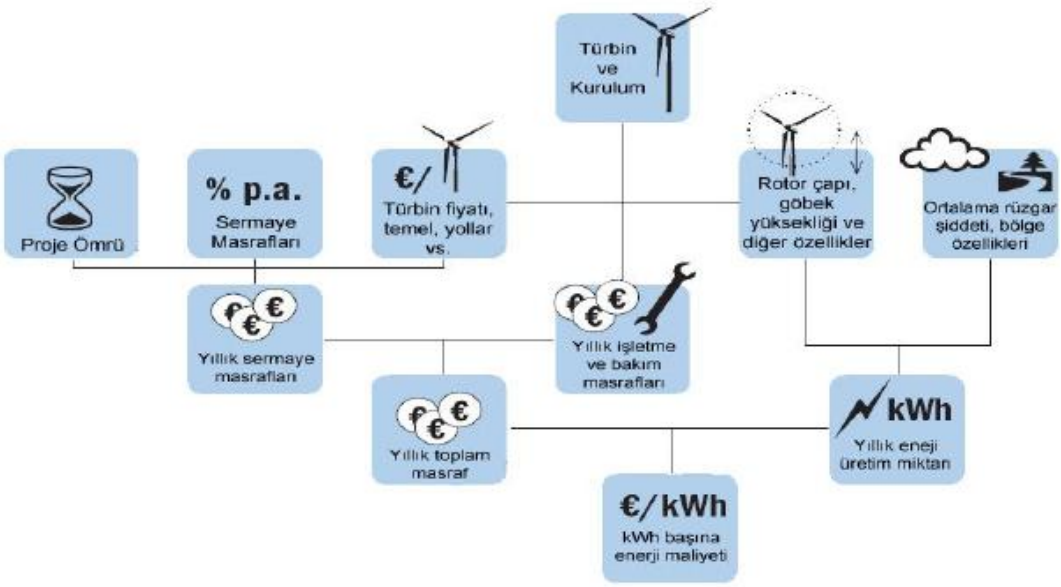
Çizelge 5.4 : Aylık üretilen enerjiden teşvikli ve teşviksiz fiyatlarla elde edilen gelirin hesaplanması.

Örnek	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	PMUM Fiyatı ($/kWh)	Yerli Üretim Garanti Fiyat ($/kWh)	İthal Türbin Garanti Fiyat ($/kWh)	Yerli Üretim T. İle Risksiz Aylık Gelir	Yerli Üretim T. İle Riskli Aylık Gelir	İthal Türbin T. İle Risksiz Aylık Gelir	İthal Türbin T. İle Riskli Aylık Gelir	Risksiz Faiz Oranı	Riskli Faiz Oranı	Yerli Üretim Türbin Teşviğiyle NBD	İthal Türbin Teşviğiyle NBD	Teşviksiz NBD
1	551.848,98	0,0855	0,11	0,073	60.703,39	0,00	40.284,98	6.872,84	0,0026	0,0109	45.293,391	32.121,470	14.156,11
2	202.513,75	0,0673	0,11	0,073	22.276,51	0,00	14.783,50	0,00	0,0026	0,0109	16.274,330	10.800,237	3.754,06
3	767.525,40	0,0676	0	0	0,00	51.873,90	0,00	51.873,90	0,0026	0,0109	12.811,252	12.811,252	12.811,25

Çizelge 5.5 : 2 MW'lık bir türbinin kurulumu sırasında oluşabilecek harcamaların oransal dağılım.

	Toplam Maliyetteki Oranı [%]
Türbin	75.6
Şebeke Bağlantısı	8.9
Temel ve Kurulum	6.5
Arazi Kiraları	3.9
Elektrik Tesisatı	1.5
Müşavirlik	1.2
Yol Yapımı	0.9
Kontrol Sistemleri	0.3
Toplam	100.0

Genel olarak bir rüzgar enerjisi projesinin kWh başına maliyeti, yıllık yoplam masrafın yıllık enerji miktarına oranlanmasıyla bulunur. Yıllık enerji üretim miktarı, kullanılan türbinin göbek yüksekliği, rotor çapı, bölgenin ortalama rüzgar şiddeti gibi parametrelerle değişirken, yıllık masraf ise türbin fiyatı, türbin temelleri, şantiye içi yol yapım masrfaları, sermaye masrafları ve proje ömrü ile ilişkilendirilebilir. Şekil 5.5'te rüzgar enerjisi projeleri için kWh başına maliyet oluşumu gösterilmiştir (Krohn, 2009).



Şekil 5.5 : Rüzgar enerjisi projeleri için kWh başına maliyet oluşumu.

Türbin kurulum maliyetleri için Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği'nin raporunda (2009) sunulan veriler kullanılmış, bilinen türbin firmalarından Vestas ve Enercon'dan

yatırım yetkilileri ile görüşülmüş, Yavuz Yalçın'ın tez çalışmasında kullanılan maliyet verileri ve Ertürk, M. (2012) makale çalışmasında bulunan kurulum maliyeti verileri alınarak, bu veriler türbin ve montaj, inşaat-elektrik-haberleşme-şantiye, kira ve finans kalemleri şeklinde kategorize edilerek derlenmiştir. Türbin firmaları, yatırım fiyatlarının gizli tutulması ilkeleri gereğince, türbin ve montaj fiyatları hariç, verileri net olarak değil, ancak yüzdesel aralıklarda ifade etmişlerdir. Vestas yetkilisiyle gerçekleştirilen görüşmede, belirtilen aralık ve yüzdelerle türbin ve montaj fiyatlarının 2 MW'lık bir türbinde 2.400.000-2.880.000$ arasında değiştiği, ayrıca finans kaleminin Türbin ve montaj fiyatının %6-8'i oranında değiştiği, inşaat, elektrik vb. masrafların ise tek türbinde %30, türbin sayısı arttıkça; örneğin 10 türbinde, %20 oranına düştüğü öğrenilmiştir. Türbin ve montaj fiyatları belirtilen kaynaklardan alındıktan sonra, diğer kalemler EWEA ve Vestas'tan alınan yüzdeler çerçevesinde şekillendirilmiş ve çeşitli türbin kurulum maliyetleri Çizelge 5.6'da sunulmuştur.

Çizelge 5.6 : Türbin Kurulum Maliyetleri.

Türbin Kurulum Maliyetleri					
Bilgi Kaynağı	**Türbin ve Montaj ($)**	**İnşaat,Elektrik, Haberleşme, Şantiye ($)**	**Kira ($)**	**Finans ($)**	**Toplam ($)**
Vestas Görüşmesi	2.400.000	720.000	123.810	144.000	3.387.810
	2.880.000	864.000	148.571	230.400	4.122.971
Terkos Tezi	2.646.650	793.995	136.534	158.799	3.735.978
Enercon Görüşmesi	2.200.000	660.000	113.492	176.000	3.149.492
Ertürk, M., (2012)	1.874.000	498.044	96.675	149.920	2.618.639
	2.070.000	334.028	106.786	165.600	2.676.413
	2.460.000	405.040	126.905	196.800	3.188.745
	1.710.000	612.000	88.214	136.800	2.547.014
	1.628.000	322.000	83.984	130.240	2.164.224
Minimum	1.628.000	322.000	83.984	130.240	2.164.224
Maximum	2.880.000	864.000	148.571	230.400	4.122.971
Ortalama	2.207.628	578.790	113.886	165.395	3.065.698
Std. Sapma	427.117	199.329	22.034	31.857	625.111

Türbin fiyatları, çizelge 5.6'da elde edilen minimum ve maksimum türbin fiyatı değerleri dahilinde uniform dağılım kullanılarak, a; minimum değeri, b; maksimum değeri, R ise uniform dağılımdan alınmış bir rassal sayıyı belirtmek üzere,

$$X = a + (b-a)\,R \qquad \textbf{(5.46)}$$

formülüyle simüle edilmiş ve 200 ayrı 20 yıllık yatırım olayı simülasyonunda kullanılmak üzere elde edilmiştir.

Çalışmada ilk kurulum maliyeti dahilinde, Avrupa Rüzgar enerjisi Birliği'nin raporunda geçtiği şekilde türbin maliyeti, şebeke bağlantısı, temel ve kurulum maliyetleri, elektrik tesisatı, yol yapımı ve kontrol sistemleri sayılmış, arazi kirası, müşavirlik, bakım ve onarım maliyetleri ve yıllık lisans bedeli yıllar içerisinde sürekli ödenen maliyetler olarak analize dahil edilmiştir.

Enerji Piyasası Denetleme Kurumu'nun 02 Eylül 2011 tarihli ve 28042 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan ve Elektrik Piyasasında 2012 yılında uygulanacak olan lisans alma, yıllık lisans, lisans yenileme, lisans tadili ve lisans sureti çıkartma bedellerine ilişkin olarak alınan 3391 no'lu kararı gereği; 2 MW'lık bir türbinin lisans süreci ile ilgili maliyetleri Çizelge 5.7'de belirtmiştir.

Çizelge 5.7 : 2MW'lık bir türbinin lisans maliyetleri.

Lisans maliyetleri
Lisans Alma Bedeli
Yıllık Lisans Bedeli
Lisans Sureti Çıkarma
Lisans Yenileme Bedeli
Lisans Tadili

Enerji Piyasası Denetleme Kurumu'nun 02 Eylül 2011 tarihli ve 28042 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan ve Elektrik Piyasasında 2012 yılında uygulanacak olan lisans alma, yıllık lisans bedeli, lisans yenileme, lisans tadili ve lisans sureti çıkartma bedellerine ilişkin olarak alınan 3391 no'lu kararı gereğince, 2 MW'lık bir kurulu güce sahip olan bir rüzgar türbinin lisans alma bedeli 5.000 TL, yıllık lisans bedeli; üretimi yapılan kWh başına 0,003 Kr., lisans sureti çıkarma bedeli 1000 TL, lisans yenileme bedeli lisans alma bedelinin %50'si olmak üzere 2.500 TL olmaktadır. Lisans tadili bedeli ise mezkur kararda belirtildiği üzere, "kurulu güç artışlarında oluşan yeni kurulu güç değerinin tadil öncesi değer aralığını aşması halinde, tadil öncesi değer aralığına karşılık gelen yürürlükteki lisans alma bedeli ile yeni değer aralığına karşılık gelen lisans alma bedeli arasındaki fark kadar, değer aralığının aşılmadığı hallerde ve diğer tadillerde 5.000 TL olmaktadır. Ayrıca, bu hükmün yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerine uygulanmasında,

hesaplanan lisans tadil bedelinin % 1'i dikkate alınır. Ancak bu bedel 5.000 TL'den az olamaz" kaidesince, lisans tadil bedeli 5.000 TL olmaktadır.

Ancak yapılan bu tez çalışma, alınan lisanslar 49 yıl süresince geçerli olduğu ve çalışma 20 yıllık bir süre zarfını kapsadığından lisans yenileme bedeli nakit akışlarına dahil edilmemiş, aynı zamanda herhangi bir kapasite artışına gidilmediğinden lisans tadil bedeli de aynı şekilde nakit akışlarına eklenmemiştir. Lisans alma bedeli, yıllık lisans bedeli, lisans sureti çıkarma bedelleri nakit akışlarına dahil edilirken, yatırımlara yapılan teşvikler dolar üzerinden olduğundan bulunan bütün TL değerleri dolar kurunun 1.82 TL olduğu tarihte hesaplanmış olmasından ötürü, tüm TL fiyatları bu değer üzerinden dolara çevrilmiştir.

Ayrıca, 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin yenilenebilir Enerji Kanunu çerçevesinde, devletin yenilenebilir enerjiye teşviklerinden olarak, ilk 10 yıl arazi kirası bedellerine %85 indirim uygulaması bulunmaktadır. Buna ek olarak, ilk 8 yıl süresince yıllık lisans bedeli de alınmamaktadır.

Yıllar içerisinde gerçekleşen sürekli maliyetlerin değeri aynı kalmayacak ve enflasyon oranında artış gösterecektir. Ancak, bu değerleri bu gibi bir oranla orantılı olacak şekilde ileriki yıllarda gerçekleşecek değerlerini bulup, sonra enflasyon oranıyla orantılı bir faiz oranıyla tekrar bugünkü değerini bulmak anlamsız olduğundan, gelecek yıllar içerisinde gerçekleşen bütün sürekli nakit akışlarının bugünkü değerinin, bugün geçerli olan değere eşit olduğu varsayılmıştır.

Bu kapsamda, 20 yıllık yatırım süresince ödenecek kira bedeli, Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği'nce yayınlanan raporda Çizelge 5.5'te özetlendiği üzere, yıllık kira bedeli türbin kurulumunun %3,9'una karşılık gelecek şekilde, simüle edilen 200 türbin bedelinin her birinin %3,9'luk kısımları, ilk 10 yıl %85 indirimli, sonraki 10 yıl tam fiyatından sayılmak üzere kira bedeli sütunu oluşturularak bunlar sürekli maliyetlere eklenmişlerdir. Ayrıca, 8 yıl süresince yıllık lisans bedeli sürekli maliyetlere eklenmemiş, yatırımın son 12 yılında ise

$$\text{Yıllık Lisans Bedeli} = \text{Üretilen Enerji (kWh)} \times 0{,}003 \qquad \textbf{(5.47)}$$

fonksiyonuyla hesaplanarak sürekli maliyetlere dahil olmuş şekilde nakit akışlarına eklenmiştir.

Gider hesaplamasına yıllık bakım maliyeti fiyatları da dahildir. Yıllık bakım maliyetleri, Ertürk (2012) çalışmasında verilmiş olan ($/MWh) bakım maliyetlerinin ortalama değeri olan 16, 25 $ alınarak 2MW'lık bir türbin ile çalışıldığından ötürü 16,25 x 2 =32,5 $ olarak kabul edilmiştir. Aylık periyotta hesaplama yaparken nakit akışlarına 32,5/12=2,17 $ olarak eklenmiştir.

5.7 Devletin Rüzgar Türbini Yatırımcılarına Sağladığı Teşvikleri Kullanma Opsiyonunun Sağladığı Değerin Bulunması

Bu tez çalışması, içerisinde üç ayrı opsiyon değerini barındırmaktadır. Bunlardan ilki, devletin rüzgar enerjisi yatırımcılarını teşvik etmek amacıyla yatırımcıya sağladığı alım garantisi opsiyonunun değeridir. Bu çeşit devlet garantileri yatırımcılar için satma hakkı opsiyonu oluşturmaktadır.

İkinci opsiyon, yine rüzgar enerjisi yatırımcıları için geçerli olmak üzere devletin kira ve lisans maliyetlerinde yapmış olduğu indirimlerin içerdiği opsiyon değeridir.

Çalışmanın içerdiği üçüncü opsiyon değeri ise, yatırımcının, aylık ortalamanın türbinin cut-in hızı olan 4 m/s'den küçük olması durumunda o ay türbin çalıştırmamayı tercih edebilmesi ile gerçekleşmektedir. Hesaplamalara türbinin aylık ortalama hızının cut-in hızından küçük olması durumunda türbini çalıştırmama opsiyonunun değeri de dahil edilmiştir.

Garanti fiyat opsiyonunun değeri, garanti fiyat sözkonusu iken hesap edilen gelirlerden ilk yatırım maliyeti ve sürekli giderlerin çıkarılmasıyla sonucunda bulunan NBD değerinden, garanti fiyat söz konusu olmadığında hesap edilen gelirlerden ilk yatırım maliyeti ve sürekli giderlerin çıkarılmasıyla sonucunda bulunan NBD değerinin çıkarılması ile elde edilen değer olacaktır. Bu ifade aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

$$\text{Garanti Fiyat Opsiyonunun Değeri} = NBD_{teşvikli} - NBD_{teşviksiz} \quad \textbf{(5.48)}$$

Çalışmada devletin rüzgar enerjisi yatırımcılarını teşvik etmek için yatırımcıya sağladığı alım garantisi opsiyonunun değerini bulmak amacıyla, rüzgar enerjisi yatırımlarında kullanılan ve literatürde bir türbinin ekonomik ömrü olarak belirtilen ve 240 aya tekabül eden 20'şer yıllık 200 simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonlarda daha önceki bölüm başlıklarında anlatıldığı üzere öncelikle

türbinden elde edilen enerji aylık olarak hesaplanmış, daha sonra ise gelecek dönemlere ait fiyatlar 20'şer yıllık 200 simülasyonda kullanılmak üzere simüle edilmiştir.

Sonraki aşamada ise, simüle edilen fiyatlar teşvik fiyatları ile kıyaslanmış, yatırımcıya maksimum faydayı getirecek fiyat ile aynı periyotta üretilen enerji çarpılarak türbinden elde edilen gelirler hesaplanmıştır.

Sonrasında ise bunlar belirli riskli ve risksiz faiz oranları ile bugünkü değere indirgenmiştir.

Son olarak ise, yapılan bir dizi araştırma ve türbin üreticileri ile gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda elde edilen verilerin uniform dağılıma uyacak şekilde simüle edilmesiyle yirmişer yıllık 200 simülasyona girdi teşkil etmek üzere türbin ilk kurulum maliyetleri ve sürekli maliyetler hesaplanmıştır.

Yerli üretim türbin kullanarak elektrik üretme teşviği kullanan yatırımcıların elde ettiği opsiyon değerini bulmak için, öncelikle 20 yıl süresince elde ettikleri gelirlerin net bugünkü değerinden, ilk yatırım maliyeti ve teşvikli sürekli giderlerin net bugünkü değerleri çıkarılarak teşvik kullanıldığında elde edilen yatırımın net bugünkü değeri hesaplanmıştır.

Daha sonra bu şekilde hesaplanan net bugünkü değer ile teşvikler kullanılmadan piyasa fiyatı üzerinden elde edilen gelirlerin net bugünkü değerinden ilk yatırım maliyeti ve teşvik kullanılmadığında ortaya çıkan giderlerin net bugünkü değerleri çıkarılmasından elde edilen değerin farkı alınarak, formül (5.48) deki fonksiyona bağlı olarak yerli üretim türbin teşviği kullanarak elektrik üretmenin opsiyon değeri elde edilmiştir.

Yerli türbin kullanarak elektrik üretme teşviği kullanan yatırımcıların elde ettiği opsiyon değerini bulmak için yapılan 200 adet simülasyonun sonucu Çizelge 5.8'de özetlenmiştir. Buna göre, yerli üretim türbin kullanarak elektrik üreten yatırımcılara sağlanan teşvik kullanılmadığında yatırımın net bugünkü değerinin negatif sonuçlar verdiği ancak yatırımın içerdiği opsiyon değeri hesaba katıldığında ise nakit akışlarının net bugünkü değerinin ortalaması 3.786.825,2 $ ve standart sapması 2.178.701,3 $ olacak şekilde dağılan sonuçlara ulaştığı görülmektedir. Ayrıca, devletin yerli üretim türbin kullanarak elektrik üreten yatırımcılara sağladığı fiyat

garantisi teşviği ile sürekli giderlerde sağladığı teşvik ile kazanılan opsiyon değerinin ortalama 4.104.927,5$ olarak gerçekleştiği görülmektedir.

Bu teşviklere dahil olmak üzere yerli üretin türbin kullanmanın sürekli giderler açısından kazandırdığı opsiyon değerinin simülasyonlarının özet tablosu çizelge 5.10'da sunulmuştur. Devletin yerli üretim türbin kullanarak elektrik üreten yatırımcılara sağladığı fiyat garantisi teşviği ile sürekli giderlerde sağladığı teşvik ile kazanılan opsiyon değerinin içerisinde; sürekli giderlerde teşvikleri kullanmanın opsiyon değerinin Çizelge 5.10'da sunulduğu üzere 902.185,9 $ olduğu düşünülürse bu durumda sadece garanti fiyat teşviği kullanmanın yatırımcıya ortalama 3.202.741,6 $'lık bir opsiyon değeri kazandırdığı görülebilir.

İthal türbin kullanarak elektrik üretme teşviği kullanan yatırımcıların elde ettiği opsiyon değerini bulmak için de, öncelikle 20 yıl süresince elde ettikleri gelirlerin net bugünkü değerinden, ilk yatırım maliyeti ve teşvikli sürekli giderlerin net bugünkü değerleri çıkarılarak teşvik kullanıldığında elde edilen yatırımın net bugünkü değeri hesaplanmıştır. Daha sonra bu şekilde hesaplanan net bugünkü değerden ilk yatırım maliyeti ve teşvikler kullanılmadan piyasa fiyatı üzerinden elde edilen gelirler ve teşvik kullanılmadığında ortaya çıkan giderlerin net bugünkü değerleri çıkarılarak formül (5.15) deki fonksiyona bağlı olarak ithal türbin teşviği kullanarak elektrik üretmenin opsiyon değeri elde edilmiştir. Yapılan 200 adet simülasyon sonucu Çizelge 5.9'da özetlenmiştir. Buna göre, ithal türbin kullanarak elektrik üreten yatırımcılara sağlanan teşvik kullanılmadığında yatırımın net bugünkü değerinin negatif sonuçlar verdiği ancak yatırımın içerdiği opsiyon değeri hesaba katıldığında ise nakit akışlarının net bugünkü değerinin ortalaması 1.796.980,2$ ve standart sapması 2.364.659,8 $ olacak şekilde dağılan sonuçlara ulaştığı görülmektedir. Ayrıca, devletin yerli üretim türbin kullanarak elektrik üreten yatırımcılara sağladığı fiyat garantisi teşviği ile sürekli giderlerde sağladığı teşvik ile kazanılan opsiyon değerinin ortalama 2.640.836,9$ olarak gerçekleştiği görülmektedir. Devletin yerli üretim türbin kullanarak elektrik üreten yatırımcılara sağladığı fiyat garantisi teşviği ile sürekli giderlerde sağladığı teşvik ile kazanılan opsiyon değerinin içerisinde; sürekli giderlerde teşvikleri kullanmanın opsiyon değerinin Çizelge 5.10'da sunulduğu üzere 902.185,9 $ olduğu düşünülürse bu durumda sadece garanti fiyat teşviği kullanmanın yatırımcıya ortalama 894.794,3 $'lık bir opsiyon değeri kazandırdığı görülebilir.

Çizelge 5.8 : Yerli üretim türbin ile elektrik üretme teşviği kullanılarak elde edilen gelir, gider ve opsiyon değerleri simülasyon sonuçları.

NBD Simülasyon No.	Faiz Oranı Yıllık	Faiz Oranı Aylık	Yerli Türbin Teşvikli Gelir NBD	Teşviksiz Gelir NBD	İlk yatırım maliyeti	Yerli Teşvikli Total Net Bugünkü Değer	Teşviksiz Total Net Bugünkü Değer	Yerli yatırım teşviği kullanıldığında elde edilen opsiyon değeri
NBD-S1	3,17%	0,26%	7.073.366,3	3.678.498,1	2.507.708,0	2.969.255,1	-1.220.542,6	4.189.797,7
NBD-S2	3,17%	0,26%	8.479.532,0	3.570.429,5	2.495.668,0	4.389.646,1	-1.342.205,3	5.731.851,4
NBD-S3	3,17%	0,26%	7.389.943,1	4.355.768,4	2.525.474,8	3.224.329,5	-626.035,9	3.850.365,4
NBD-S4	3,17%	0,26%	7.823.884,1	5.332.824,1	3.182.954,0	2.683.741,3	-787.358,1	3.471.099,4
NBD-S5	3,17%	0,26%	6.600.247,2	3.041.310,3	2.814.420,1	2.028.296,2	-2.406.499,2	4.434.795,3
NBD-S6	3,17%	0,26%	6.495.696,5	3.371.807,6	2.144.695,2	2.951.375,0	-864.518,9	3.815.894,0
NBD-S7	3,17%	0,26%	6.309.653,9	2.105.790,7	3.301.997,5	992.221,3	-4.202.603,6	5.194.824,8
NBD-S8	3,17%	0,26%	8.180.157,7	5.270.706,0	3.290.601,0	2.868.859,8	-1.039.342,8	3.908.202,6
NBD-S9	3,17%	0,26%	8.486.098,8	4.820.681,7	2.542.281,3	4.320.962,8	-175.669,6	4.496.632,4
NBD-S10	3,17%	0,26%	9.493.423,7	6.487.675,2	2.813.470,8	4.935.737,8	1.057.170,5	3.878.567,4
NBD-S195	3,17%	0,26%	7.419.259,0	4.918.204,9	2.762.284,3	2.916.078,3	-432.985,5	3.349.063,9
NBD-S196	3,17%	0,26%	6.033.819,2	2.476.122,1	3.298.184,9	742.560,7	-3.797.509,3	4.540.069,9
NBD-S197	3,17%	0,26%	8.060.842,3	3.406.965,1	2.787.380,7	3.544.175,1	-2.016.837,7	5.561.012,8
NBD-S198	3,17%	0,26%	7.390.675,1	3.382.906,1	2.872.514,4	2.730.405,8	-2.196.250,3	4.926.656,1
NBD-S199	3,17%	0,26%	7.623.704,1	5.185.731,9	2.533.782,9	3.481.789,6	223.605,8	3.258.183,8
NBD-S200	3,17%	0,26%	8.248.365,6	5.463.682,7	2.980.592,7	3.424.799,9	-305.548,3	3.730.348,2
ORTALAMA			8.080.756,2	4.689.767,6	2.883.475,5	3.786.825,2	-318.102,3	4.104.927,5
STANDART SAPMA			1.993.465,3	2.375.929,5	423.035,6	2.178.701,3	2.697.165,4	821.304,4

Çizelge 5.9 : İthal türbin ile elektrik üretme teşviği kullanılarak elde edilen gelir, gider ve opsiyon değerleri simülasyon sonuçları.

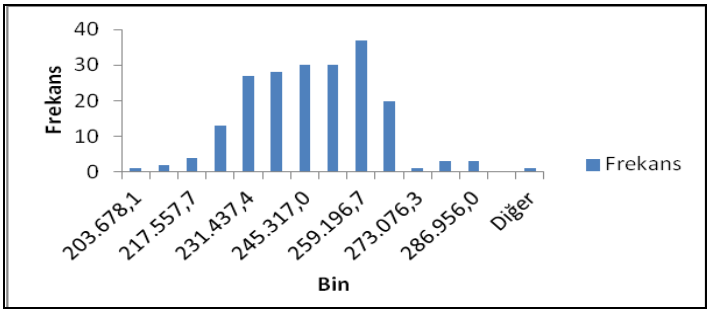
NBD Simülasyon No.	Faiz Oranı Yıllık	Faiz Oranı Aylık	Yabancı Yatırım Gelir NBD	Teşviksiz Gelir NBD	İlk yatırım maliyeti	Yabancı Teşvikli Total Net Bugünkü Değer	Teşviksiz Total Net Bugünkü Değer	Yabancı yatırım teşviği kullanıldığında elde edilen opsiyon değeri
NBD-S1	3,17%	0,26%	5.281.443,4	3.678.498,1	2.507.708,0	1.177.332,2	-1.220.542,6	2.397.874,8
NBD-S2	3,17%	0,26%	6.147.240,1	3.570.429,5	2.495.668,0	2.057.354,2	-1.342.205,3	3.399.559,5
NBD-S3	3,17%	0,26%	5.813.350,4	4.355.768,4	2.525.474,8	1.647.736,9	-626.035,9	2.273.772,7
NBD-S4	3,17%	0,26%	6.841.094,9	5.332.824,1	3.182.954,0	1.700.952,1	-787.358,1	2.488.310,2
NBD-S5	3,17%	0,26%	4.681.660,7	3.041.310,3	2.814.420,1	109.709,7	-2.406.499,2	2.516.208,9
NBD-S6	3,17%	0,26%	4.921.133,5	3.371.807,6	2.144.695,2	1.376.812,1	-864.518,9	2.241.331,0
NBD-S7	3,17%	0,26%	4.360.944,4	2.105.790,7	3.301.997,5	-956.488,2	-4.202.603,6	3.246.115,3
NBD-S8	3,17%	0,26%	6.694.017,5	5.270.706,0	3.290.601,0	1.382.719,6	-1.039.342,8	2.422.062,4
NBD-S9	3,17%	0,26%	6.539.293,2	4.820.681,7	2.542.281,3	2.374.157,2	-175.669,6	2.549.826,8
NBD-S10	3,17%	0,26%	8.001.412,5	6.487.675,2	2.813.470,8	3.443.726,6	1.057.170,5	2.386.556,2
NBD-S195	3,17%	0,26%	6.314.768,0	4.918.204,9	2.762.284,3	1.811.587,4	-432.985,5	2.244.572,9
NBD-S196	3,17%	0,26%	4.220.824,2	2.476.122,1	3.298.184,9	-1.070.434,3	-3.797.509,3	2.727.075,0
NBD-S197	3,17%	0,26%	5.618.050,2	3.406.965,1	2.787.380,7	1.101.383,0	-2.016.837,7	3.118.220,7
NBD-S198	3,17%	0,26%	5.243.169,7	3.382.906,1	2.872.514,4	582.900,4	-2.196.250,3	2.779.150,7
NBD-S199	3,17%	0,26%	6.597.111,8	5.185.731,9	2.533.782,9	2.455.197,3	223.605,8	2.231.591,5
NBD-S200	3,17%	0,26%	7.082.542,8	5.463.682,7	2.980.592,7	2.258.977,0	-305.548,3	2.564.525,3
ORTALAMA			6.440.518,6	4.689.767,6	2.883.475,5	1.796.980,2	-843.856,7	2.640.836,9
STANDART SAPMA			2.226.229,6	2.375.929,5	423.035,6	2.364.659,8	2.567.884,4	384.970,2

Çizelge 5.10 : Rüzgar türbini kullanarak elektrik üretmenin sürekli giderler açısından kazandırdığı opsiyon değerleri simülasyon sonuçları

			Teşvikli Sürekli Maliyetler 240 yıllık NBD Simülasyonları				Teşviksiz Sürekli Maliyetler 240 yıllık NBD Simülasyonları				Teşvik opsiyonunun **sürekli giderler** açısından kazandırdığı opsiyon değeri
Simülasyon No.	F.Oranı Yıllık	F.Oranı Aylık	Lisans Bedeli	Kira	O&M	Müşavirlik	Lisans Bedeli	Kira	O&M	Müşavirlik	
NBD-S1	3,17%	0,26%	232.400,7	872.542,3	650,0	466.912,3	384.256,2	1.517.464,9	650,0	466.912,3	796.778,1
NBD-S2	3,17%	0,26%	232.618,3	868.353,1	650,0	464.670,5	389.585,3	1.510.179,2	650,0	464.670,5	798.793,2
NBD-S3	3,17%	0,26%	235.180,5	879.928,0	650,0	472.689,6	387.853,2	1.536.241,2	650,0	472.689,6	808.985,9
NBD-S4	3,17%	0,26%	237.738,6	1.107.490,2	650,0	592.636,9	411.977,4	1.926.069,9	650,0	592.636,9	992.818,5
NBD-S5	3,17%	0,26%	242.064,5	979.261,0	650,0	524.019,3	382.101,8	1.703.062,6	650,0	524.019,3	863.838,9
NBD-S6	3,17%	0,26%	248.942,1	746.234,1	650,0	399.322,6	418.373,8	1.297.798,5	650,0	399.322,6	720.996,0
NBD-S7	3,17%	0,26%	251.247,9	1.148.910,7	650,0	614.801,7	396.683,4	1.998.105,5	650,0	614.801,7	994.630,3
NBD-S8	3,17%	0,26%	254.270,6	1.144.945,3	650,0	612.679,8	414.408,7	1.991.209,3	650,0	612.679,8	1.006.402,1
NBD-S9	3,17%	0,26%	232.386,2	884.571,9	650,0	473.349,5	394.790,7	1.538.385,9	650,0	473.349,5	816.218,5
NBD-S10	3,17%	0,26%	249.568,3	978.930,7	650,0	523.842,5	405.958,3	1.702.488,1	650,0	523.842,5	879.947,5
NBD-S195	3,17%	0,26%	261.387,3	1.282.950,6	650,0	686.528,8	417.132,1	2.231.218,5	650,0	686.528,8	1.104.012,6
NBD-S196	3,17%	0,26%	267.623,3	927.498,6	650,0	496.320,3	441.527,2	1.613.041,1	650,0	496.320,3	859.446,4
NBD-S197	3,17%	0,26%	224.776,6	1.026.485,3	650,0	549.289,8	363.605,9	1.785.191,8	650,0	549.289,8	897.535,8
NBD-S198	3,17%	0,26%	248.490,5	1.167.692,1	650,0	624.851,9	420.019,5	2.030.768,8	650,0	624.851,9	1.034.605,7
NBD-S199	3,17%	0,26%	248.762,4	794.319,4	650,0	425.053,9	434.852,2	1.381.425,1	650,0	425.053,9	773.195,4
NBD-S200	3,17%	0,26%	228.403,2	795.287,6	650,0	425.571,9	410.246,1	1.383.108,8	650,0	425.571,9	769.664,2
ORTALAMA			242.196,29	1.003.318,4	650,0	536.938,4	402.650,7	1.745.050,0	650,0	536.938,4	902.185,9
STANDART SAPMA			15.395,00	147.167,27	-	78.713,78	21.294,86	255.819,77	0,00	78.713,78	108.052,0

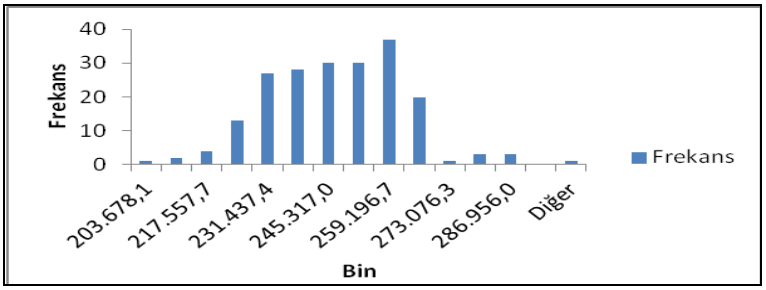
Gerçekleştirilen simülasyonların sonucunda, teşvikli lisans bedelleri ortalamalarının 243.957,844 $ ve standart sapması 15.459,11$ olacak şekilde bir dağılıma sahip olduğu ortaya konmuştur. Teşvikli lisans bedellerinin dağılımının histogramı Çizelge 5.11'de sunulmuştur.

Çizelge 5.11 : Teşvikli lisans bedellerinin dağılımı histogramı



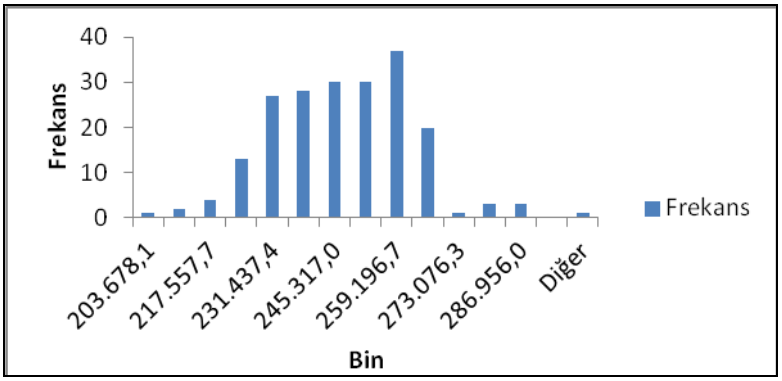
Ayrıca teşvikli kira bedeli ortalamaları 1.003.318,4 $ ve standart sapması 147.167,27$ olacak şekilde bir dağılıma sahip olduğu bulunmuştur. Teşvikli kira bedellerinin dağılımının histogramı Çizelge 5.12'de sunulmuştur.

Çizelge 5.12 : Teşvikli kira bedellerinin dağılımı histogramı



Bununla birlikte, müşavirlik masrafları ortalamaları 536.938,4 $ ve standart sapması 78.713,78$ olacak şekilde bir dağılıma sahip olduğu ortaya konmuştur. Müşavirlik masrafları bedellerinin dağılımının histogramı Çizelge 5.13'te sunulmuştur.

Çizelge 5.13 : Müşavirlik masrafları bedellerinin dağılımı histogramı



5.8 Duyarlılık Analizi

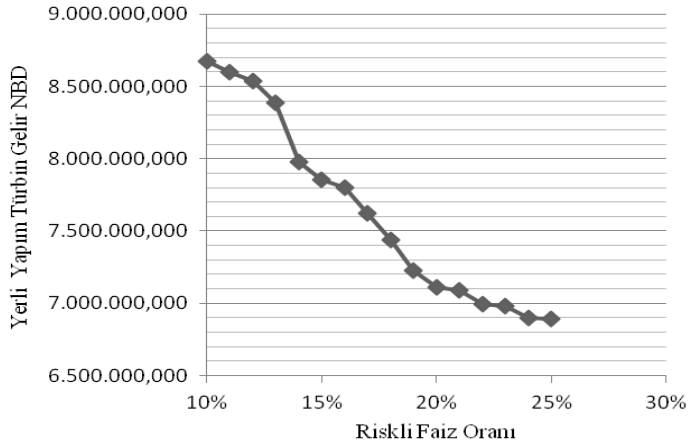
Tez çalışmasında, anlatılan şekilde ve belirli risksiz ve riskli faiz oranlarında hesaplar yapılarak simülasyon çalıştırıldıktan sonra, farklı faiz oranlarında elde edilen gelirin ve opsiyon değerinin belirlenmesi için duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, 5 ayrı duyarlılık analizinin sonuçları ve yorumları alt başlıklarda sunulmuştur.

5.8.1 Sabit %3,17 Risksiz-%10-25 Arasında Değişen Riskli Faiz Oranları

Duyarlılık analizinin ilk bölümünde, öncelikle tezde baz alınan risksiz faiz oranı olan %3,17 sabit tutularak riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında değiştirilmiştir. Bu şekilde gerçekleştirilen 40 simülasyonda elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Buna göre, yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken riskli faiz oranı %10 ile %25 arası değiştirildiğinde elde edilen ortalama gelirlerin grafiği Çizelge 5.14'te sunulmuştur.

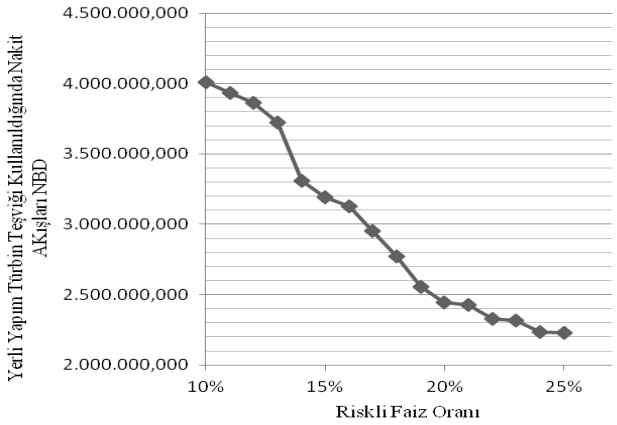
Çizelge 5.14 : Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında elde edilebilecek ortalama gelirler.



Çizelge 5.14'de görüleceği gibi risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında artan değerler aldığında, elde edilen ortalama gelirin 8.676.488,412$ ile 6.893.420, 987$ arasında sürekli bir azalma gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durumda riskli faiz oranı ile elde edilen gelirler arasında ters orantı olduğu söylenebilir.

Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken riskli faiz oranı %10 ile %25 arası değiştirildiğinde yatırımda gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü değerlerinden elde edilen grafik Çizelge 5.15'te sunulmuştur.

Çizelge 5.15 : Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında tüm nakit akışlarının NBD'si .

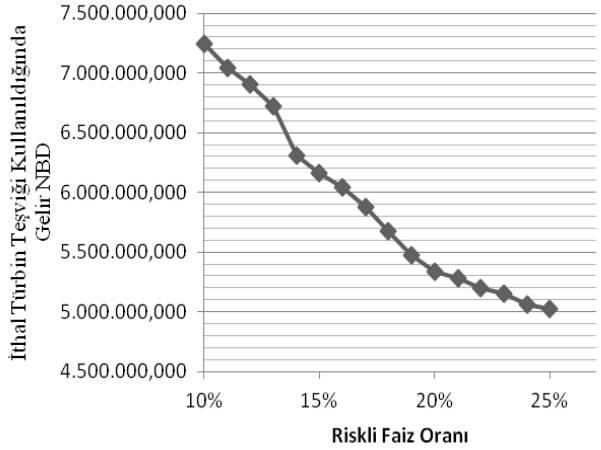


Çizelge 5.15'te, risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında artan değerler aldığında, gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü değerlerinin 4.012.204,713$ ile 2.228.937,280$ arasında azalma gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durumda, riskli faiz oranı ile gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü değerleri arasında ters orantı olduğu söylenebilir.

Öte yandan, ithal türbin teşviği kullanıldığında risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken riskli faiz oranı %10 ile %25 arası değiştirildiğinde elde edilen ortalama gelirlerin grafiği ise Çizelge 5.16'da sunulmuştur.

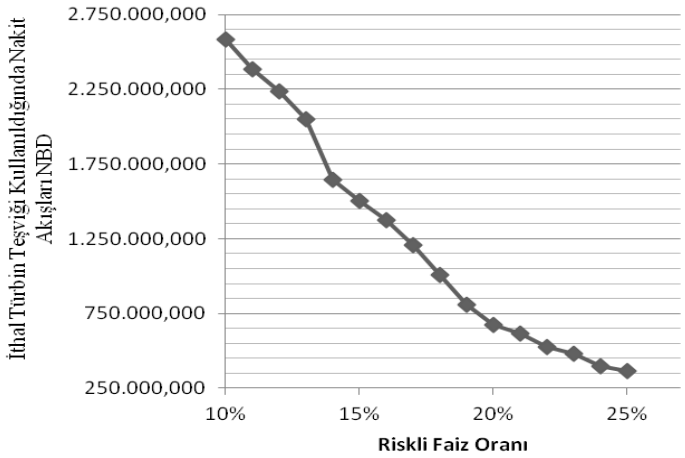
Çizelge 5.16'da görüleceği gibi risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken, riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında artan değerler aldığında, elde edilen ortalama gelirin 7.246.394,057$ ile 5.026.180,634$ arasında sürekli bir azalma gösterdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.16 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında elde edilebilecek ortalama gelirler.



İthal türbin ile elektrik enerjisi üretme teşviği kullanıldığında risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken, riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında artan değerler aldığında, türbinden elde edilebilecek tüm nakit akışlarındaki değişim Çizelge 5.17'de sunulmuştur.

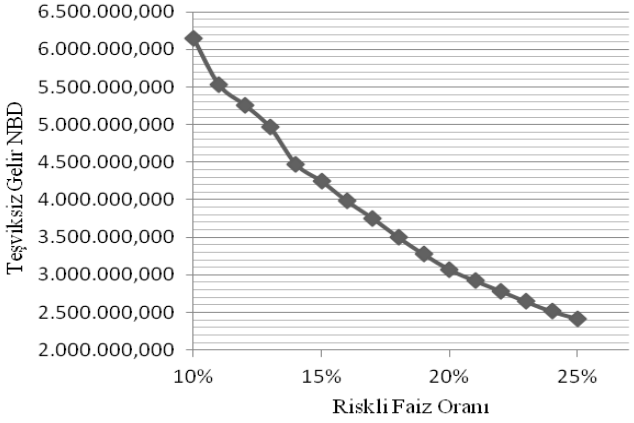
Çizelge 5.17 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında tüm nakit akışlarının NBD'si .



Buna göre, Çizelge 5.17'de, risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında artan değerler aldığında, ithal türbin teşviği kullanıldığında gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü değerlerinin 2.582.110,358$ ile 361.696,927$ arasında azalma gösterdiği gözlemlenmiştir.

Buna ek olarak, teşvik kullanılmadığında risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken riskli faiz oranı %10 ile %25 arası değiştirildiğinde elde edilen ortalama gelirlerin grafiği ise Çizelge 5.18'de sunulmuştur.

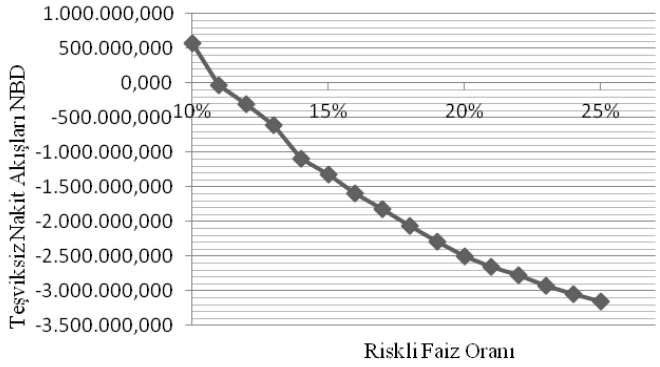
Çizelge 5.18 : Farklı riskli faiz oranlarında teşviksiz elde edilebilecek ortalama gelirler.



Buna göre, Çizelge 5.18'de görüleceği gibi risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken, riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında artan değerler aldığında, elde edilen ortalama gelirin 6.147.645,082$ ile 2.421.188,619$ arasında sürekli bir azalma gösterdiği gözlemlenmiştir.

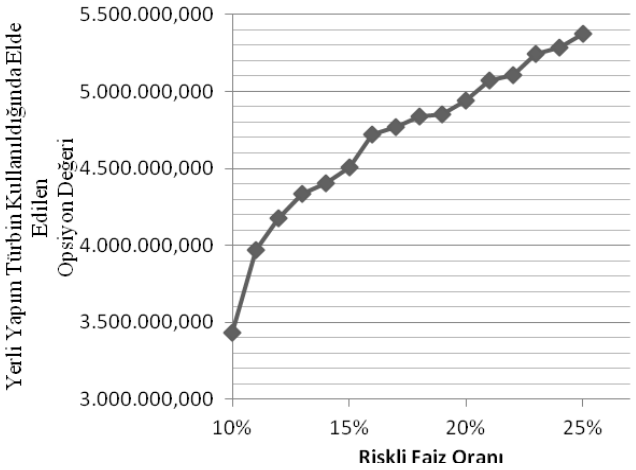
Çizelge 5.19 ise risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında artan değerler aldığında, teşviksiz gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü değerlerini göstermektedir. Bu çizelgeye göre, teşvik kullanılmadığında, elde edilen gelirlerden tüm giderler çıkarıldığında yatırımın net bugünkü değerinin, teşvik kullanılarak elde edilen yatırım NBD'lerinden oldukça düşük olduğu ve çoğunlukla da negatif değerler verdiği görülmektedir.

Çizelge 5.19 : Farklı riskli faiz oranlarında teşviksiz tüm nakit akışlarının NBD'si .



Yerli üretim türbin teşviğine sahip olmanın opsiyon değerinin, risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken %10 ile %25 arasında artan riskli faiz oranlarında simüle edildiğinde ortaya çıkan değerleri Çizelge 5.20'de gösterilmiştir.

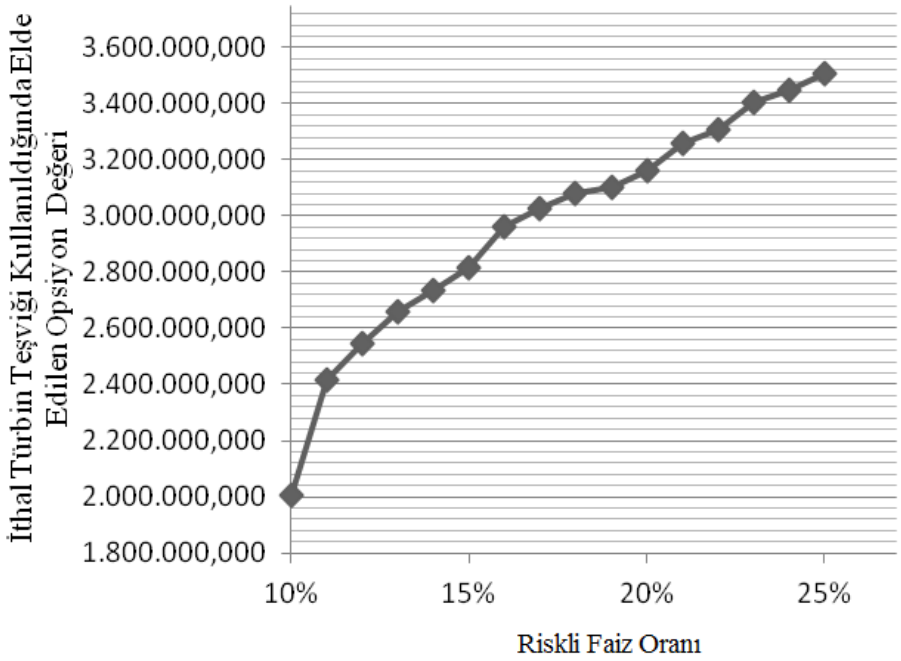
Çizelge 5.20 : Yerli yatırım türbin teşviği kullanıldığında Farklı faiz oranlarında elde edilen opsiyon değeri.



Buna göre, risksiz faiz oranı %3,17'de sabitken riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında artan değerler aldığında yerli üretim türbin teşviği kullanmanın opsiyon değeri 3.433.922,024$ ile 5.377.286,745$ aralığında artmaktadır. Buna göre, riskli faiz oranı ile yerli üretim türbin kullanarak elektrik üretimi yapmanın kazandırdığı opsiyon değeri arasında doğru orantı olduğu sonucuna varılabilir.

Ayrıca, aynı koşullarda ithal türbin teşviği kullanıldığında elde edilen opsiyon değeri ise Çizelge 5.21'de sunulmuştur.

Çizelge 5.21 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı faiz oranlarında elde edilen opsiyon değeri.



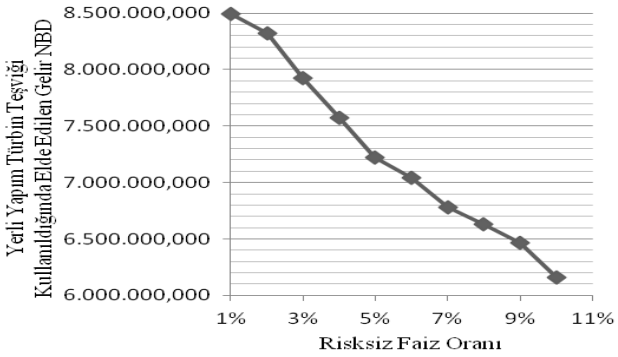
Buna göre, bahsedilen koşullarda, ithal türbin yatırımıyla elde edilen teşviğin opsiyon değeri 2.003.827,669$ ile 3.510.046,392$ arasında artmaktadır.

5.8.2 %1- %10 Arasında Değişen Risksiz-%15 Sabit Riskli Faiz Oranları

Duyarlılık analizinin ikinci bölümünde, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında değişirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulmuştur. Bu şekilde gerçekleştirilen 40 simülasyonda elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Buna göre, yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında değişirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda elde edilen ortalama gelirlerin grafiği Çizelge 5.22'de sunulmuştur.

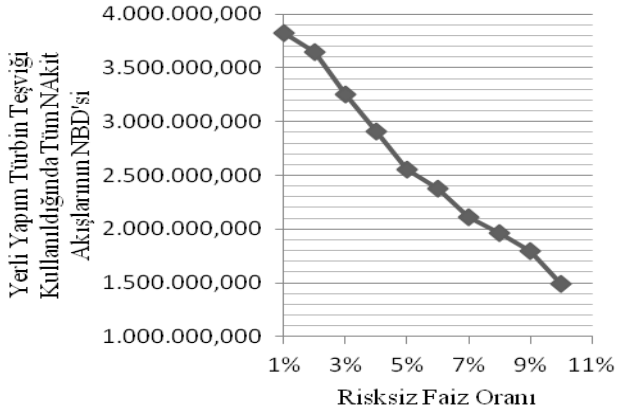
Çizelge 5.22 : Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında elde edilebilecek ortalama gelirler.



Çizelge 5.22'de görüleceği gibi risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında artarken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda elde edilen ortalama gelirin 8.492.126,037$ ile 6.157.513,398$ arasında sürekli bir azalma gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durumda risksiz faiz oranı ile elde edilen gelirler arasında ters orantı olduğu söylenebilir.

Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında değişirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda yatırımda gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü değerlerinden elde edilen grafik Çizelge 5.23'te sunulmuştur.

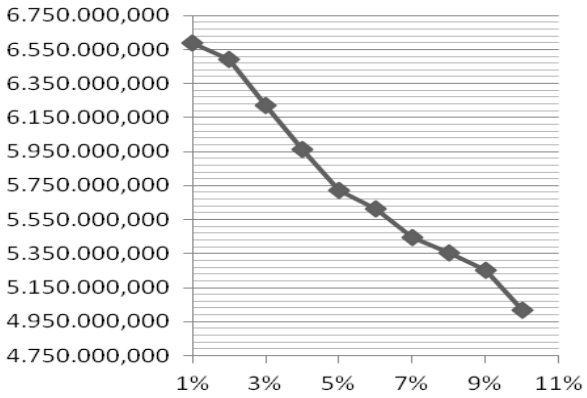
Çizelge 5.23 : Yerli yapım türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında tüm nakit akışlarının NBD'si .



Çizelge 5.23'te, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında artış gösterirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda, gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü değerlerinin 3.822.541,440$ ile 1.492.965,009$ arasında değişerek azalan bir trend izlediği gözlemlenmiştir. Bu durumda, risksiz faiz oranı ile gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü değerleri arasında ters orantı olduğu sonucuna varılabilir.

İthal türbin teşviği kullanıldığında, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında değişirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda elde edilen ortalama gelirlerin grafiği ise Çizelge 5.24'te sunulmuştur.

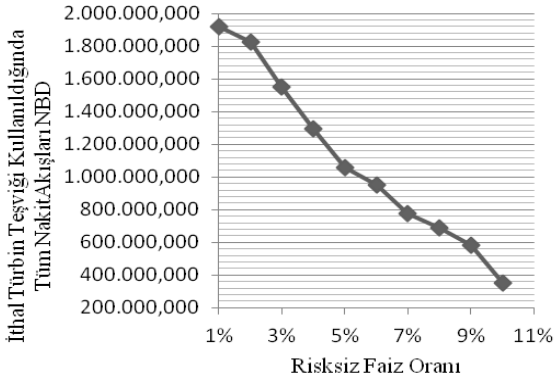
Çizelge 5.24 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında elde edilebilecek ortalama gelirler.



Çizelge 5.24'te görüleceği gibi risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında artarken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda elde edilen ortalama gelirin 6.590.580,971$ ile 5.017.338,638$ arasında sürekli bir azalma gösterdiği gözlemlenmiştir.

İthal türbin teşviği kullanıldığında, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında değişirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda yatırımda gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü değerlerinden elde edilen grafik ise Çizelge 5.25'de sunulmuştur.

Çizelge 5.25 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında tüm nakit akışlarının NBD'si.

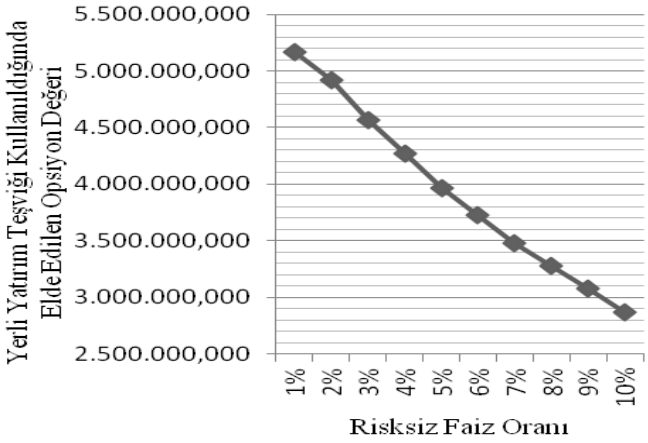


Çizelge 5.25'de, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında artış gösterirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda, gerçekleşen tüm nakit akışlarının net bugünkü

değerlerinin 1.920.996,373$ ile 352.790,248$ arasında değişerek azalan bir trend izlediği gözlemlenmiştir.

Yerli üretim türbin teşviği kullanıldığında, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında değişirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda elde edilen opsiyon değerlerinin grafiği gerçekleştirilen 40 simülasyon sonucunda Çizelge 5.26'daki gibi şekillenmiştir.

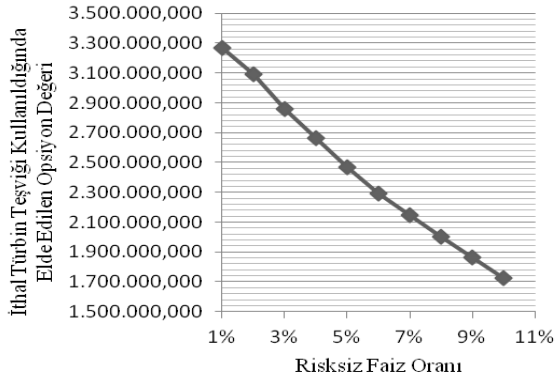
Çizelge 5.26 : Yerli üretim türbin teşviği kullanıldığında farklı risksiz faiz oranlarında elde edilen opsiyon değeri.



Çizelge 5.26'da, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında artarken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda yerli yatırım türbin teşviğiyle elde edilen ortalama gelirin 5.169.408,413$ ile 2.867.418,909$ arasında azalan bir trend izlediği gözlemlenmiştir.

İthal türbin teşviği kullanıldığında, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında değişirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda elde edilen opsiyon değerlerinin grafik ise Çizelge 5.27'de sunulmuştur.

Çizelge 5.27 : İthal türbin teşviği kullanıldığında farklı riskli faiz oranlarında elde edilen opsiyon değeri.



Çizelge 5.28'de, risksiz faiz oranı %1 ile %10 aralığında artış gösterirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda, elde edilen opsiyon değerlerinin 3.267.863,347$ ile 1.727.244,148$ arasında değişerek azalan bir trende sahip olduğu görülmüştür.

5.8.3 %5 -%10 Arasında Değişen Risksiz-%15-%25 Riskli Arasında Değişen Riskli Faiz Oranları

Duyarlılık analizinin son bölümünde, risksiz ve riskli faiz oranları tez çalışmasında referans olarak alınan makalede belirtilen %3,17 risksiz ve %13,12 riskli faiz oranlarıyla orantılı olacak şekilde birlikte değiştirilerek yerli üretim türbin ve ithal türbin ile elektrik üretme teşviklerine sahipken elde edilen gelirleri, tüm nakit akışları ve elde edilen opsiyon değerlerinin ortalama ve standart sapmaları bulunmuştur. şekilde gerçekleştirilen 40 simülasyonda elde edilen sonuçlar

Buna göre, yerli üretim türbin ile elektrik üretme teşviğine sahipken elde edilen gelirlerin, tüm nakit akışlarının ve elde edilen opsiyon değerlerinin ortalama ve standart sapmaları Çizelge 5.29'da sunulmuştur.

Çizelge 5.29'da belirtildiği gibi, değişen bu riskli ve risksiz faiz oranlarıyla, yerli üretim türbin teşviği kullanılmadığında yatırımların net bugünkü değerleri negatif değerler verirken, devlet teşvikleri kullanıldığında elde edilen gelirler faiz oranları arttıkça azalan bir seyir izleyerek ortalaması 6.583.064,1$ ve standart sapması 1.775.756,0$ ile, bütün nakit akışlarının net bugünkü değeri ise ortalaması 1.957.072,2$ standart sapması 1.818.239,9$ olacak şekilde dağılım göstermektedir. Ayrıca, bu teşviği kullanmanın yatırımcılara kazandırdığı opsiyon değeri ortalama 4.330.016,7$ olarak gerçekleşmektedir. İthal türbin ile elektrik üretme teşviğine sahipken elde edilen gelirlerin, tüm nakit akışlarının ve elde edilen opsiyon değerlerinin ortalama ve standart sapmaları ise Çizelge 5.30'da gösterilmiştir. Buna göre, değişen bu riskli ve risksiz faiz oranlarıyla, ithal türbin teşviği kullanılmadığında yatırımların net bugünkü değerleri negatif değerler verirken, devlet teşvikleri kullanıldığında elde edilen gelirler faiz oranları arttıkça azalan bir seyir izleyerek ortalaması 5.020.249,8$ ve standart sapması 1.702.815,3$ ile, bütün nakit akışlarının net bugünkü değeri ise ortalaması 355.412,6$ standart sapması 1.704.576,8$ olacak şekilde dağılım göstermektedir. Buna ek olarak, ithal türbin kullanarak elektrik üretme teşviği kullanmanın yatırımcılara kazandırdığı opsiyon değeri ortalama 2.846.434,0$ olarak gerçekleşmektedir.

riskli/risksiz faiz oranlarında yerli türbin teşviğiyle yatırım NBD'leri ve opsiyon değerleri simülasyon sonuçları.

Veri seti	Yıllık Risksiz Faiz Oranı	Yıllık Riskli Faiz Oranı	Yerli Üretim Türbin Gelir NBD	Teşviksiz Gelir NBD	Teşvikli Total Net Bugünkü Değer	Teşviksiz Total Net Bugünkü Değer	Yerli Üretim Türbin Teşviği Kullanıldığında Elde Edilen Opsiyon Değeri
1	0,02	0,0827	10.288.735,8	7.182.650,1	5.619.411,5	1.610.698,2	4.008.713,3
2	0,0317	0,1312	8.080.756,2	4.689.767,6	3.786.825,2	-318.102,3	4.104.927,5
3	0,04	0,1655	7.452.855,3	3.851.024,2	2.786.708,5	-1.719.488,6	4.506.197,1
4	0,0500	0,2069	6.623.983,4	2.983.495,8	1.953.843,0	-2.588.575,4	4.542.418,4
5	0,06	0,2483	6.101.708,5	2.438.951,5	1.434.886,6	-2.595.083,7	4.029.970,3
6	0,07	0,2897	5.557.483,3	1.991.140,2	887.207,6	-3.578.481,7	4.465.689,3
7	0,08	0,3311	5.335.073,0	1.728.079,2	670.134,9	-3.839.417,0	4.509.551,9
8	0,09	0,3725	4.975.061,0	1.471.553,7	309.162,0	-4.094.877,0	4.404.039,1
9	0,1	0,4138	4.831.920,6	1.338.019,7	165.470,7	-4.233.172,3	4.398.643,0
Ortalama			6.583.064,1	3.074.964,6	1.957.072,2	-2.372.944,4	4.330.016,7
Standart Sapma			1.775.756,0	1.906.321,6	1.818.239,9	1.957.166,1	218.206,2

Çizelge 5.28 : Farklı riskli/risksiz faiz oranlarında ithal türbin teşviğiyle yatırım NBD'leri ve opsiyon değerleri simülasyon sonuçları.

Veri seti	Yıllık Risksiz Faiz Oranı	Yıllık Riskli Faiz Oranı	Yabancı Yatırım Gelir NBD	Teşviksiz Gelir NBD	Teşvikli Total Net Bugünkü Değer	Teşviksiz Total Net Bugünkü Değer	Yabancı yatırım teşviği kullanıldığında elde edilen opsiyon değeri
1	0,02	0,0827	8.645.405,9	7.182.650,1	3.976.081,7	1.610.698,2	2.365.383,5
2	0,0317	0,1312	6.440.518,6	4.689.767,6	1.796.980,2	-843.856,7	2.640.836,9
3	0,04	0,1655	5.778.331,3	3.851.024,2	1.112.184,5	-1.719.488,6	2.831.673,0
4	0,0500	0,2069	4.995.104,4	2.983.495,8	324.964,0	-2.588.575,4	2.913.539,4
5	0,06	0,2483	4.517.623,2	2.438.951,5	-149.198,7	-3.132.022,2	2.982.823,4
6	0,07	0,2897	4.044.654,2	1.991.140,2	-625.621,4	-3.578.481,7	2.952.860,3
7	0,08	0,3311	3.826.321,0	1.728.079,2	-838.617,1	-3.839.417,0	3.000.799,9
8	0,09	0,3725	3.531.342,3	1.471.553,7	-1.134.556,7	-4.094.877,0	2.960.320,3
9	0,1	0,4138	3.402.946,9	1.338.019,7	-1.263.503,0	-4.233.172,3	2.969.669,3
Ortalama			5.020.249,8	3.074.964,6	355.412,6	-2.491.021,4	2.846.434,0
Standart Sapma			1.702.815,3	1.906.321,6	1.704.576,8	1.909.224,3	212.224,9

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Finansal teorinin temel taşları üzerine kurgulanmış olan gerçek opsiyon yönteminin anlaşılırlığının ve uygulama alanlarının artmasıyla, kullanımı da artmıştır. Özellikle enerji yatırımları gibi riskli ve maliyetli yatırımlarda, bu ve bunun gibi daha bir çok stratejinin kurulmasında ve risklerden korunulmasında gerçek opsiyon yöntemi oldukça etkili yönetimsel bir araç olarak karşımıza çıkmakta ve yöneticiler için yönetim esnekliğini hayata geçirmekte yardımcı olmaktadır. Gerçek opsiyonlar yöntemi kullanılmadığında, projeye değerinden daha az değer biçilmiş olacaktır zira sahip olduğu ama piyasa durumu optimal hale gelmedikçe gerçekleştirmek zorunda olmadığı stratejik opsiyonları bulunmaktadır. Yüksek derecede belirsizlik içeren iş çevrelerinde bu tür opsiyonlara sahip olmak oldukça değerlidir.

Bu çalışmada da, enerji yatırımları gibi geniş ölçekli yatırımların da büyük riskler içermesi ve esnek yatırım kararlarına ihtiyaç duyması sebebiyle, rüzgar türbininden elektrik üretme yatırımı üzerinde gerçek opsiyon yöntemini uygulamak ve böylelikle yüksek riske ve belirsizliğe sahip böyle yatırımların sahip olacağı riskleri bertaraf edebilecek opsiyon değerlerinden faydalanmak amaçlanmıştır. Çalışmada bu kapsamda gerçek opsiyonlar yöntemi, 2 MW'lık bir türbin yatırımı üzerinde, yasal mevzuatlar, lisans bedelleri, devletin yenilenebilir enerji yatırımcılarına sağladığı teşvikler gibi bir çok konuyu kapsayacak şekilde ele alınarak modellenmiştir.

Çalışmanın içerdiği, devletin sağladığı teşvik opsiyonuna sahip olmanın değeri ve rüzgâr enerjisi kullanarak elektrik enerjisi üretebilme opsiyonuna sahip olmanın değerleri irdelenmiş ve bu değerlerin yatırım ortamı oldukça belirsiz olan enerji yatırımlarının barındırdığı sürekli değişken piyasa ortamının risklerine karşı yüksek kazanımları ortaya konulmuştur.

Çalışmada %3,17 risksiz faiz oranı ve %13,12 riskli faiz oranları kullanılarak yapılan 200 simülasyon sonucunda, yerli üretim türbin kullanarak elektrik üreten yatırımcılara devletin sağladığı alım garantisi teşviği kullanıldığında elde edilen opsiyon değeri 4.104.927,5$, ithal türbin kullanarak elektrik üreten yatırımcılara devletin sağladığı alım garantisi teşviği kullanıldığında elde edilen opsiyon değeri ise

2.640.836.9$ olarak bulunmuştur. Bunlara dahil olmak üzere, devletin sağladığı teşviklerin sürekli giderler açısından kazandırdığı opsiyon değeri ise ortalama 902.185,9$ olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca yapılan simülasyonlar sonucunda teşvikli lisans bedellerinin ortalama 243.957,844$, teşvikli kira bedellerinin ortalama 1.003.318,4$ ve müşavirlik masrafları bedellerinin ise ortalama 536.938,4$ olduğu bulunmuştur.

Bunlara ek olarak, riskli ve risksiz faiz oranlarının, teşviklerin kullanıldığı yatırım durumlarında elde edilen gelirler, tüm nakit akışlarının net bugünkü değeri ve opsiyon değeri üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

Risksiz faiz oranı %3,17'de sabit tutulurken riskli faiz oranı %10 ile %25 arasında artırılarak değiştirildiğinde, hem yerli üretim türbin ile enerji üretimi yapma teşviği kullanan yatırımcıların hemde ithal türbin ile enerji üretimi yapma teşviği kullanan yatırımcıların gelirlerinin ve elde edilen tüm nakit akışlarının azalan bir trend izlediği gözlemlenirken, bu devlet teşviğine sahip olma opsiyonunun değerinin riskli faiz oranı arttıkça arttığı ortaya konmuştur.

Ancak diğer taraftan, risksiz faiz oranı %1 ile %10 arasında artarak değiştirilirken, riskli faiz oranı %15'te sabit tutulduğunda ise, hem yerli üretim türbin ile enerji üretimi yapma teşviği kullanan yatırımcıların hemde ithal türbin ile enerji üretimi yapma teşviği kullanan yatırımcıların gelirlerinin, elde edilen tüm nakit akışlarına ek olarak opsiyon değerinin de azalan bir trendi takip ettiği ortaya konmuştur.

Hem risksiz faiz oranı hem de riskli faiz oranı %3,17 risksiz ve %13,12 riskli faiz oranıyla orantılı olacak şekilde artırıldığında elde edilen opsiyon değeri ise 4.330.016,7$ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu çalışma, devlet tarafından sağlanan teşvikler kullanılmadığında yatırımdan elde edilen NBD'lerin negatif değerler vermekte olduğu ve yatırım yapmanın uygun olmadığı sonuçlarını verirken, teşvikler kullanıldığında bu değerlerin pozitif değerlere ulaştığını, ve aslında yatırımın gerçekleştirilebilir halde olduğunun sonuçlarını açığa çıkarmıştır. Ayrıca, çalışmayla kullanılan devlet teşviklerinin oldukça yüksek seviyelerde opsiyon değerlerine sahip olduğu ispatlanmıştır.

Yenilenebilir enerjinin ülkemizdeki geçmişi çok eski değildir ve ülkemizde, çalışmaya konu olan türbin için kabul edilen ve literatürde geçen şekilde 20 yıllık ekonomik ömrünü tamamlamış bir türbin bulunmamaktadır. Dolayısıyla verileri bulmak oldukça zor ve bulunan verilerde oldukça kısıtlıdır. Verilerin kısıtlı olmasının yanında zaman kısıtı da bulunmaktadır. Bu kısıtlardan dolayı, veriler bir takım simülasyon yada tahmin yöntemleriyle elde edilmiştir. Çalışmada, %3,17 risksiz ve %13,12 riskli faiz oranıyla türbinin ekonomik ömrü olan 240 aylık süreyi kapsayan 200 simülasyon yapılmış, duyarlılık analizleri ise 40'ar simülasyon üzerinden gerçekleştirilmiştir. Daha kesin sonuçlara ulaşmak adına, yapılan simülasyon sayıları 1000'e tamamlanabileceği gibi, karşılaştırılabilecek gerçek bir 20 yıllık yatırım olmamasından dolayı elde edilen veriler, ülkemizde gerçekten kurulan türbinlerin verileriyle, yada yurtdışında kurulmuş olan türbinlerle karşılaştırılıp doğruluğu kontrol edilebilir.

Ayrıca, rüzgar enerjisi yatırımlarında, kurulan türbin sayısı arttıkça ve yatırım genişledikçe ilk kurulum maliyetlerinde nisbi azalışlar görülmektedir. Yatırımcılar, başa baş noktasını geçtikten sonra yeni yatırımları gözden geçirerek bu tür maliyet avantajlarınından faydalanmak suretiyle elde edilen geliri ve opsiyon değerini artırabilirler.

Genel anlamda rüzgâr enerjisi yatırımları, ilk yatırım maliyetini bir şekilde karşılayabilecek yatırımcılar için, kendisini 6-8 yıl arasında geri döndüren yatırımlardır. Bu bağlamda, önerilen model esnek bir yapıda olduğundan, bu çalışmada önerilen model baz alınarak optimal yatırım zamanının hesaplanması ve yatırım zamanı içerisinde yatırımcının karşılaşabileceği kapasiteyi genişletme opsiyonunun kullanılması değerleri de ayrıca hesaplanabilir. Böylece yatırımıncıya yeni ufuklar açarken, yatırım adımlarının daha kararlı bir şekilde atılması sağlanabilir.

Ayrıca, daha çaplı yatırımlarda problem, yatırımın elektrik fiyatları üzerindeki etkisini dikkate almak durumunda olduğunda daha komplike bir hal almaktadır. Küçük yatırımcılar düşünüldüğünde, yani yeni bir tesisin kurulması elektrik spot fiyatını etkilemeyecekse problem Dixit ve Pindyck (1994) yöntemiyle çözülmektedir. Ancak, yeni kurulan tesis piyasa kapasitesini belli ölçüde artırması durumunda yatırım kararı elektrik fiyatını etkiliyor olabilir. Genellikle artan kapasite elektrik piyasa fiyatı azaltmaktadır bundan dolayı yatırım ertelenebilir. Ayrıca, eğer firma en

azından bir tane güç tesisine sahipse fiyat değişimi sadece yeni tesisin değerini değil, var olan diğer tesisleri de etkiler. Bu yüzden karar sadece yeni tesisin NPV'si yerine bütün firmanın değeri üzerinden verilecektir. Böyle bir firmada yatırıma başlama zamanı ve üretim süreçleri firmanın değerini maksimize edecek şekilde seçilir ve portfolyo süreçleri elektrik üretiminin maliyetlerini finanse etmiş olur. Böylelikle üretim kaynaklı nakit akışlarındaki belirsizliği bir çeşit finansal riskten korunma stratejisiyle elimine etmiş olmaktadır. Yani;bu şekilde bir finansal riskten korunma stratejisi optimal yatırım ve üretim politikasının içerdiği riskleri ortadan kaldırmış olmaktadır. Dolayısı ile, enerji şirketi optimal politikasını risklerden koruduğu takdirde, bütün yıl boyunca ne kadar gelir elde edeceğini daha yıl başında emin olacaktır.

Bunun haricinde, bu kapasitede yada farklı kapasitelerdeki bir rüzgar türbiniyle elektrik üretme hakkına sahip olmanın opsiyon değeri, yeni türbin kurulumlarıyla yatırımı genişletme opsiyonu kullanmanın değeri, yatırımı gerçekleştirmek için en uygun yatırım zamanının bulunması, elektrik fiyatlarının yatırımı çekici hale getirdiği minimum eşik fiyatın bulunması gibi yaklaşımlar ileriki çalışmalarda kullanılması mümkün olan ve literatüre oldukça büyük katkılar sağlayabilecek çalışmalar olacaktır.

Bu ve daha bunun gibi birçok örnekte, hem yenilenebilir enerji kaynaklarının hem de gerçek opsiyonların uygulamaları artmaktadır. Enerjinin, belirsizlik ve riskle başa çıkmanın gittikçe önem kazandığı günümüzde de uygulamaların artarak devam edecektir. Ayrıca, gelecek çalışmalarda, yenilenebilir enerji kaynaklarından hidroelektrik, güneş enerjisi, jeotermal ve biyokütle enerjisi gibi yatırımlardaki teşviklerle birlikte bu yatırımların yatırımcılara sağlayacağı farklı opsiyon değerlerinin araştırılması da literatüre önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Akdağ, S., and Güler, Ö., 2010. Evaluation of Wind Energy Investment Interest and Electricity Genereation Cost Analysis for Turkey, *Applied Energy*, Vol. 87, pp. 2574-2580.

Akdağ, S., and Güler, Ö., 2008. Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme Metotlarının Karşılaştırılması, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu,* 17-19 Aralık, İstanbul.

Banks, J, Carson, J. S.,Nelson, B. L., Nicol, D., 2005. *Discrete Event System Simulation,* Fourth edition, Prentice Hall, NJ.

Barutçu, B., 2010. *Wind Energy and Conversion Technology* Ders Notları, İTÜ, Enerji Enstitüsü

Barutçu, B., 2012. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Kişisel Görüşme.

Benhani, Y., Shan, L., Jinlong, Z., Tao, C., 2007. Fuzzy Real Option Analysis for IT Investment in Nuclear Power Station, *ICCS*, Bölüm III, sf. 953-959.

Blank, L., Tarquin, A., 2005. *Engineering Economy, 6*, The McGraw Hill, NY.

Boer, F. P., 2002. *Real Option Solutions- Finding Total Value in a High-Risk World,* John Wiley & Sons, Inc, NY.

Cheng, C. T., Lo, S. L., Lin, T. T., 2011. Applying real options analysis to assess cleaner energy development strategies, *Energy Policy,* 39, sf 5929-5938.

Çelik, A. N., 2007. A techno-Economic Analysis of Wind Energy in Southern Turkey, *International Journal of Green Energy,* 4, 233-247.

DWIA, 2009. Danish Wind Industry Association, *Guided Tour,* http://www.talentfactory.dk/en/tour.htm

Dal, V., 2009. *Farklı Kişilik Özelliklerine Sahip Kişilerin Risk Algılarının Tüketici Davranışları Açısından İncelenmesi: Üniversite Öğrencileri Üzerinde Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Durak, M., Özer, S., 2010. *Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2009 Yılı Sonu İtibari İle Dünya'da ve Ülkemizde Rüzgar Elektrik Santral (RES) Projelerinin Son Durumu*, İstanbul.

Durak, M., Özer, S., 2008. *Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama*, İmpress, Ankara.

Erdoğan, S., 2008. *Sermaye Bütçelemesinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak reel opsiyonlar yöntemi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri**.**

Ertürk, M., 2012. The evaluation of feed-in tariff regulation of Turkey for onshore wind energy based on the economic analysis, *Energy Policy*, **45**, 359-367.

EWEA, 2011. The European Wind Energy Association, *Wind in Power, 2010 European statistics*.

Fan, Y., Zhu, L., 2010, A real options based model and its application to China's overseas oil investment decisions, *Energy Economics*, Vol.32, sf 627-637.

Fernandes, B., Cunha, J., Ferreira, P., 2011. The use of real options approach in energy sector investments, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, doi:10.1016/j.rser.2011.07.102

GWEC, 2011. Global Wind Energy Council, *Global Wind Statistics 2010*.

GWEC, 2012. Global Wind Energy Council, *Global Wind Statistics 2011*.

Gökçe, G. A., 2006. *Opsiyon değerlemenin temelleri ve temel opsiyon değerleme modelleri ile stokastik değişkenliğin İMKB hisse senedi piyasalarında geçerliliklerinin araştırılması*, Doktora Tezi, İÜ, İstanbul.

Guthrie, G. A., 2009. *Real Options in Theory and Practice*, Oxford University Press, Oxford

Güler, Ö., Akdağ, S. A., 2009. Calculation of Wind Energy Potential and Economic Analysis by Using Weibull Distribution— A Case Study from Turkey. Part 1: Determination of Weibull Parameters, *Energy Sources*, Part B, 4: 1-8.

Güler, Ö., Akdağ, S. A., 2008. Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme Metotlarının Karşılaştırılması, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu,* 17-19 Aralık, İstanbul.

Güney, E., 2008. *Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) yatırımının gerçek opsiyonşar yöntemi ile değerlendirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Maçka.

Halaç, O., 1998. *İşletmelerde Simülasyon Teknikleri,* **3,** s. 97-135,Alfa Basım Yayın Dağıtım,İstanbul.

Hatem, E. 2012. RES'lerde Özkaynak ve Proje Finansmanı, *Türkiye Rüzgar Enerjisi Kongresi*, İstanbul, 7-8 Kasım.

İlkiliç, C., Türkbay, İ., 2010. Determination and utilization of wind energy potential for Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, sf. 2202-2207.

Kahraman, C., Tolga, Ç., 2008. Fuzzy multiattribute evaluation of R&D projects using a real options valuation model, *International Journal of Intelligent Systems,*Vol.23, No.11, pp. 1153-1176..

Kjærland, F., 2007. A real option analysis of investments in hydropower— The case of Norway, Energy Policy,35, pp. 5901-5908.

Krogsgaard, L. B, 2012. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği Özel Oturumu, Dünya'da RES'lerin Durumu ve Türkiye RES Sektörü Değerlendirmesi, *Türkiye Rüzgar Enerjisi Kongresi*, İstanbul, 7-8 Kasım.

Krohn, S., Morthorst, P. E., Awerbuch, S., 2009. *The Economics of Wind Energy- The European Wind Energy Association Report.*

Kumbaroğlu, G., Madlener, R., Demirel, M., 2008. A real options evaluation model for the diffusion prospects of new renewable power generation Technologies, *Energy Economics*, 30, sf 1882-1908.

Lee, S.C., 2011. Using real option analysis for highly uncertain technology investments: The case of wind energy technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* doi:10.1016/j.rser.2011.07.107

Liang, Y. Y., 2003. Demand Modeling with the Geometric Brownian Motion Process, *Technical Report NTU-IE-Chou-2003-T001*

Lin, T. T., Huang S.L., 2011. Application of the modified Tobin's q to an uncertain energy-saving project with the real options concept, *Energy Policy,* 39, p. 408-420.

Lub. H., Keppoa, J., 2003. Real options and a large producer: the case of electricity markets, *Energy Economics,* 25, sf 459-472.

Malkoç, Y., 2007. Türkiye Rüzgar Enerjisi İhtiyacının Karşılanmasında Rüzgar Enerjisinin Yeri, *IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu,* 23-24 Kasım, Kayseri.

Mc Donald, R., Siegel, D., 1986. The value of waiting to invest, *Quarterly Journal of Economics,* 101, pp. 707-728.

Menteş, Ş., S., 2008. *Rüzgar enerjisi ve sistemleri ders notları,* İ.T.Ü. Uçak Uzay Fakültesi, İstanbul

Mun, J., 2002. *Real Option Analysis- Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions,* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

Mun, J., 2003. *Real Option Analysis Analysis Course – BusinessCases and Software Applications,* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

Mun, J., 2010. *Real Option Analysis- Applying Monte Carlo Risk Simulation, Strategic Real Options, Stochastic Forecasting and Portfolio Optimization,* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

Mutale., J., Martinez, E. A., 2011. Application of an advanced real options approach for renewable energy generation projects planning, *Renewable and Sustainable Energy Rewiews,* 15, sf. 2087-2094

Myers, S.C., Turnbull, S.M., 1977. Capital budgeting and the capital asset pricing model: good news and bad news. *The Journal of Finance*, 32 (2), 321–333.

Nathwani, J.,Ng, A. W., 2011. Strategic development and growth of emerging renewable energy ventures from China - Real options through mergers and acquisitions, *Journal of Technology Management,* Vol. 6 No. 2, pp. 116-124.

Nezir, A., 2012. RES'ler açısından PMUM ve Gün Öncesi Piyasalar, *Türkiye Rüzgar Enerjisi Kongresi*, İstanbul, 7-8 Kasım.

Onar, S. 2009. *Stratejik kararların gerçek opsiyonlarla incelenmesi,* Doktora Tezi, İTÜ, Maçka.

Özerdem, B., Özer, S., Tosun, M., 2006. Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey,*Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* 94, sf 725-743.

Özoğul, S. A. 2006. *Yatırım kararlarının değerlendirilmesinde reel opsiyonlar: Bilişim teknolojileri yatırım uygulaması,* Doktora Tezi, İTÜ, Maçka.

Özoğul, C. O. 2008. *Kurumsal Kaynak Planlaması sistemlerinin değerlendirilmesinde reel opsiyon yaklaşımı: Hastane bilgi sistemi uygulaması,* Doktora Tezi, İTÜ, Maçka.

Pindyck, R.S., 1991. Irreversibility, uncertainty, and investment. *Journal of Economic Literature,* 29 (3), 1110–1148.

Prelipcean, G., Boscoianu, M., 2008. Computational Framework For Acessing Decisions in Energy Investments Based On a Mixed Between Real Option Analysis (ROA) and Artificial Neural Networks (ANN), *9th WSEAS Int. Conf. on Methematics & Computers in Business and Economics (MCBE '08),* Bucharest, Romania, June 24-26.

Reedman, L., Graham, P., Coombes, P., 2006. Using a real options approach to model technology adoption under carbon price uncertainity: An application to the Australian electricity generation sector, *The Economic Record,* Vol. 82, Special Issue, S64-S73.

Ross, S., 1978. A simple approach to the valuation of risky streams. *Journal of Business,* 51 (3), 453–475.

Selim, E. 2012. RES'lerde Özkaynak ve Proje Finansmanı, *Türkiye Rüzgar Enerjisi Kongresi*, İstanbul, 7-8 Kasım.

Siddiqui, A., Fleten, S.E., 2010. How to proceed with competing alternative energy technologies: A real options analysis, *Energy Economics,* 32, p. 817-830.

Szolgayova, J., Fuss, S., 2010. Fuel price and technological uncertainty in a real options model for electricity planning, *Applied Energy,* 87, sf. 2938-2944.

Şimşek, V., 2007. *Rüzgar enerjisi ve Sivas şartlarında bir rüzgar santrali tasarımı,* Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Takizawa, S., Omori, R., Suzuki, A., Ono, K., 2001. Analysis of Critical Electricity Price fort he investment for Constructing a Nuclear Power Plant using Real Options Approach, *Journal of Nuclear Science and Technology,* Vol. 38, No.10, sf 907-909.

Trigeorgis, L., 1993**.** Real Options and Interactions with Financial Flexibility, *Financial Management,* Autumn, 22 (3), pp. 202-24.

Trigeorgis, L., 1996**.** *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation,* The MIT Press, Cambridge, MA, US.

Tolga, A.Ç., 2008**.** Real Fuzzy multicriteria R&D project selection with a real options valuation model, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 19, pp. 359–371.

Venetsanos, K., Angelopoulou, P., Tsoutsos. T., 2002. Renewable Energy Sources Project Appraisal Under Uncertainty: The Case of Wind energy Exploitation Within a Changing Energy Market Environment, *Energy Policy*, **30**, 293-307.

Vestas, 2012**.** Vestas V80-2.0 MW- Teknik Özellikler Kataloğu.

Wang, C. H., Min, K. J., 2006. Electric Power Generation Planning for Interrelated Projects: A Real Options Approach, *Transactions on Engineering Management*, Vol. 53, No.2, 312-322.

Yalçın, Y., 2010. *İstanbul Terkos Bölgesi'nde Kurulması Planan Bir Rüzgar Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Potansiyeli, Kurulum Maliyeti ve Geri Ödeme Süresinin Belirlenmesi*, Master Tezi, İTÜ, İstanbul.

Yıldız, T., 2011. *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Enerji Politikalarımız* Ankara, Türkiye, Kasım 1.

Yıldız, T., 2011. 2011 yılı bütçesinin TBMM genel kuruluna sunumu- *Enerji yatırımları verileri*

URL1<http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Turkiye_Enerji_Politikalarimiz.pdf , 15.10.2012.>

URL 2 <Siddiqui, A., Fleten, S.E., 2008. How to proceed with the thorium nuclear technology; A real option analysis, http://www.ucl.ac.uk/statistics/research/pdfs/rr297.pdf, 02.11.2012.>

URL3<http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=ruzgar&bn=231&hn=&nm=384&id=40696, 03.11.2012>

URL4<BP Statistical Review of World Energy, June 2011, http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=ruzgar&bn=231&hn=&nm=384&id=40696, 03.11.2012>

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Tuba KILAVUZ

Doğum Yeri ve Tarihi: İZMİR – 24.08.1988

E-Posta: tugbanurkilavuz@gmail.com

Lisans: Bahçeşehir Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Turgut Aydın Holding Bütçe Raporlama Uzm. Yrd. , IS0 9001 : 2008 Kalite Yönetim Sistemi Sertifikası Eğitimi**,** IS0 9001 : 2008, İç Tetkikçi Eğitimi**,** ISO 22000 : Gıda Güvenliği SistemiEğitimi