

Rüzgâr Enerji Santrali Yatırımının Reel Opsiyon Yöntemleri ve Esneklik Türleri ile Değerlemesi

Duygu BIYIKLI¹, Faik Ahmet SESLİ², Pelin KASAP³

¹Kastamonu Üniversitesi, İhsangazi Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Kastamonu.

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Samsun.

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Samsun.

Sorumlu yazar e-posta*: dbiyikli@kastamonu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0220-5101>

fasesli@omu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8352-734X>

pelin.kasap@omu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1106-710X>

Geliş Tarihi: 30.09.2022

Kabul Tarihi: 14.07.2023

Öz

Rüzgâr Enerji Santrali (RES) gibi büyük bütçeli yatırımların değerlendirilmesinde geleneksel yöntemlerin kullanılması kadar reel opsiyonlar yöntemlerinin kullanılması da son yıllarda özellikle akademik çalışmalarca desteklenmektedir. Yatırımın ekonomik ömrü boyunca maliyetin, yıllık giderlerin, üretim miktarının ve buna bağlı olarak gelir miktarının, vergi ve enflasyon oranlarının değişiminin piyasa koşullarından ne kadar etkileneceğinin tam olarak bilinmesi imkânsızdır. Gelecek yıllar için de yatırıma ait risklerin ve belirsizlik durumlarının değerlendirilmesine dâhil edilmesi, proje değeri üzerinde olumlu sonuçların alınmasını sağlamaktadır. İndirgenmiş Nakit Akışları gibi geleneksel değerlendirilme yöntemlerinin her yıla ait nakit akışlarını sabit bir iskonto üzerinden indirilmesiyle, koşulların değişmesi durumunda riskin proje değeri üzerinde ki etkisini yok saymaktadır. Bu da sonuç ürün olan proje değerinin değişen koşullara rağmen statik kalması anlamına gelmektedir. Reel opsiyonlarla değerlendirilme yöntemleri riski sabit bir iskonto değeri yerine risksiz faiz oranınca, belirsizliği de değişkenlik parametresi olan volatilité değeri ile denklemlere dâhil etmektedir. Bu durumun geleneksel yöntemlere göre bir üstünlüğü olmakla birlikte, reel opsiyonların değişen piyasa koşullarına göre yatırımcıya erteleme, terk etme, genişleme gibi esneklik seçenekleri sunması da bir başka avantaj olarak görülmektedir. Bu çalışma da Sinop İlinde ki bir RES için reel opsiyon değerlendirilme yöntemlerinden Black-Scholes ve Binomial yöntem ile erteleme, terk etme ve genişleme opsiyonları kullanılarak opsiyon ve proje değerleri elde edilmiş olup, elde edilen sonuçlar her iki yöntem için de karşılaştırılarak yöntemler arası değerlendirilme yapılmıştır.

Anahtar kelimeler

Rüzgâr Enerji Santrali (RES), Reel opsiyon, Black-Scholes, Binomial, Volatilité.

Application of Flexible Investment Decisions with Real Options Method in Wind Power Plant Valuation

Abstract

The use of real options methods as well as the use of traditional methods in the valuation of large-budget investments such as Wind Power Plant (WPP) has been supported by academic studies in recent years. It is impossible to know exactly how much the cost, annual expenses, production amount and accordingly the amount of income, changes in tax and inflation rates will be affected by market conditions during the economic life of the investment. Including the risks and uncertainties of the investment in the valuation method for the coming years ensures positive results on the project value. Traditional valuation methods such as Discounted Cash Flows discount each year's cash flows at a fixed discount, ignoring the impact of risk on project value should conditions change. This means that the project value, which is the end product, remains static despite changing conditions. Real options valuation methods include risk with the risk-free interest rate instead of a fixed discount value, and uncertainty with the volatility value, which is the variability parameter, into the equations. While this situation has an advantage over traditional methods, it is seen as another advantage that real options offer flexibility options such as postponement, abandonment and expansion to the investor according

Keywords

Wind Power Plant (RES), Real option, Black-Scholes, Binomial, Volatility.

to the changing market conditions. In this study, option and project values for a WPP in Sinop Province were obtained by using real option valuation methods, Black-Scholes and Binomial methods, by using deferral, abandonment and extension options, and the results were compared for both methods.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Reel opsiyonlar ilk olarak Myers (1977) tarafından, finansal varlıklar için kullanılan opsiyon fiyatlama teorisinin büyük bütçeli yatırım projelerinde kullanılmasını ifade etmek için ortaya çıkartılmıştır. Başlarda sadece akademik çalışmalara konu olurken günümüzde hem akademik olarak hem de fiziken yatırım projeleri için uygulanabilir duruma gelmiştir (Kashani 2012). Reel opsiyonlar yatırımcıya, yıllar içerisinde karşılaşılabilecekleri olumlu ve olumsuz durumlara karşı bir takım esneklikler de sunmasıyla geleneksel değerlendirme yöntemlerine göre de üstünlük sağlamaktadır (Dixit and Pindyck 1995). Böylece yatırım için belirsizlik ve risk durumlarına karşı erteleme, vazgeçme, genişleme gibi opsiyonlar kullanılarak ve kâr, zarar dengesi gözetilerek en uygun şekilde sürecin tamamlanması sağlanabilmektedir (Trigeorgis 1993). Reel opsiyon ve İNA yöntemiyle değerlendirme arasında ki temel fark iki yöntemde de kullanılan ortak parametrelerin modeller üzerinde farklı etkiler yaratmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, risk ve belirsizlik durumları geleneksel değerlendirme yöntemi olan İNA yaklaşımı için olumsuz bir durum oluştururken, reel opsiyonlarla değerlendirme de proje değeri için olumlu bir durum oluşturmaktadır (Trigeorgis 1999). Yatırımın uzun süreli bir ekonomik ömre sahip olacağı düşünüldüğünde proje parametrelerinin sabit kalmayacağı, piyasa koşullarına göre risk ve belirsizlik durumlarından etkileneceğinin bilinmesi gerekmektedir. Belirsizliğin artması opsiyon değeri ile doğru orantılıdır, yani belirsizliğin fazla olduğu durumlar opsiyon değerini de arttırarak proje değerini olabilecek en iyi değere taşıyacaktır. Bu durum yatırımcıya, opsiyon değerinin proje değeri üzerinde ki etkisinin önemini de göstermektedir.

Black ve Scholes (1973) tarafından ilk olarak finansal varlıklar için geliştirilen opsiyon teorisi, sonrasında çeşitli yatırım varlıkları içinde kullanılmasıyla reel opsiyonlar kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram, yatırım için hesaplanan proje değeri ile opsiyon

değeri arasında ilişkiyi de tanımlamaktadır (Amram and Kulatilaka 1999).

Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde esneklik faktörünün dikkate alınmasının üç temel faydasından bahsetmek mümkündür. İlk olarak, bazı belirsizliklerden dolayı yatırımcının ilerleyen yıllarda ki kâr zarar dengesini korumak için çeşitli kararlar alabilmesini ve bu şekilde proje değerinin de artmasını sağlamaktadır. İkinci olarak esneklikler yatırım için yeni stratejilerin belirlenmesine de olanak tanımaktadır. Esnekliğin bir diğer temel faydası ise, değerlendirmeler sonrasında ki sonuçlara göre ilerleyen dönemler için optimal politikalar geliştirilebilmektedir. Geleneksel yöntemlerde parametre değerleri için tek bir değer söz konusu iken, opsiyon teorisinde ise çok sayıda karar seçeneği değerlendirilebilmektedir (Smith and McCardle 1998). Projede kullanılan esneklik çeşitleri en yaygın olarak erteleme, terk etme, genişleme, kapasiteyi değiştirme, kullanımı değiştirme, kademeli yatırım seçenekleridir.

Fischer Black ve Myron Scholes (1973) riski sabit bir oran olarak tanımlayan yöntemlerin dışına çıkarak, risksiz faiz oranının en doğru indirgeme oranı olduğunu ileri süren opsiyon teorisini yayınlamışlardır. Diğer taraftan Merton erteleme gibi bazı durumlarda temettü dağıtımının da olabileceğini düşünerek formüle getiri kısıtlılığı parametresi ekleyerek teoriyi genişletmiştir (Brach 2003). Black- Scholes yöntemi Avrupa tipi alım ve satım opsiyonlarının değerlendirilmesi için uygunken, Binomial model Amerikan tipi opsiyonlar için fiyatlanabilmektedir (Akkum 2000). Black- Scholes yöntemi sürekli zaman stokastik süreçler için çözüm önerirken, Cox-Ross ve Rubinstein'in 1979 yılında önerdiği Binomial yöntemi ise kesikli zaman stokastik süreçleri için çözüm önermektedir. Ayrıca iki olasılıklı gelecek dönem hareketinin yanında üç dönem olasılıklı gelecek dönem hareketinin trinomial daha fazla dönem hareketleri için ise multinomial modellerde sonradan geliştirilerek

birçok çalışmada kullanılmıştır (Brach 2003). Her iki yöntem ile de yapılan çalışmaların ortak özelliklerinden bir tanesi olasılık temelli opsiyon değeri hesaplaması iken bir diğeri de elde edilen değerlerin birbirlerine göre çok benzer sonuçlar veriyor olmasıdır. Binomial yöntemde ki adım sayısının artması Black-Scholes yöntemi ile elde edilen sonuç değere daha yakın olmasını da sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Sinop ilinde %35 rüzgâr kapasite faktörüne sahip bir RES için reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinden Black-Scholes ve Binomial yöntem için değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmelerin amacı projeye bugün başlanması durumunda ve sonrasında risk ve belirsizlik durumlarının piyasa koşullarına göre değiştiği durumlarda ki yatırımcının erteleme, genişleme ve terk etme opsiyonlarının kullanması ile her iki yöntem için de sonuçlar elde etmektir. Elde edilen sonuçlar ile hem projeye bugün başlanması durumuna göre esneklik durumlarından hangilerinin kullanımının yatırım için en iyisi olacağı belirlenmiş olup hem de Black-Scholes ve Binomial yöntem ile elde edilen sonuçların birbirlerine göre benzerlik karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışma ile gelecek yatırımlar için reel opsiyonlarla, geleneksel yöntemlere oranla, daha yüksek proje değeri elde edilebildiği ve opsiyonların sunduğu esneklik seçeneklerinin de projeye ekstra değer kattığı gösterilerek, kullanım alanlarının ve tercihinin daha yaygın olması sağlanmak istenmiştir. Esnek yatırım kararlarının RES gibi büyük bütçeli yatırımlar için kullanılması, değerlendirilmesi ve yatırımcıya ertelemek, terk etmek ya da zaman içerisinde yatırımı genişletmek gibi seçeneklerin ve sonuçlarının sunulması ve bu sayede geleceğin taşıdığı risk ve belirsizliğin de olabildiğince öngörülebilmesi yine bu çalışma ile gösterilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın bu bölümünde, Sinop ilinde ki bir RES yatırımının projeye bugün başlanması, ertelenmesi, genişlemesi ve terk edilmesi durumunda ki opsiyon değerlerinin projeyi nasıl etkilediğinin araştırması yapılmak istenmiştir. Araştırma da yaygın olarak kullanılan Black-Scholes

ve Binomial yöntemler kullanılarak çalışmalar değerlendirilmiştir. Aşağıda ki bölümlerde her iki yöntem içinde detaylı açıklamalar yapılmaktadır.

RES yatırım projesine ait proje parametrelerinin belirlenmesi değerlendirme işleminin en önemli işlem adımını oluşturmaktadır. Değerleme öncesi bilinmesi gereken parametreler varlığın şimdiki değeri ve kullanım fiyatı, risksiz faiz oranı, yatırımın ekonomik ömrü ve değişkenliği ifade eden volatilité parametresidir. Varlığın şimdiki değeri, geleneksel Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi ile hesaplanan bugünkü değerlerin toplamını; kullanım fiyatı ise fizibilite raporlarından faydalanılarak belirlenen ilk yatırım maliyetini ifade etmektedir. Risksiz faiz oranı olarak 2021 yılına ait 10 yıllık devlet tahvil oranı dikkate alınmış olup, ekonomik ömür için de Vergi Usul Kanunu'nun 333 sıra numaralı tebliğinin 45. Bölümünde bahsi geçen türbinlerle ilgili bölüme istinaden rüzgâr enerji santrallerinin faydalı ekonomik ömürlerinin 15 yıl olduğu bilgisinden faydalanılmıştır. Bilinmesi en zor parametre, değişkenliği ifade eden volatilité parametresidir. Kozlova (2017), volatilité değerinin hangi belirsizlik durumu için seçilmesi gerektiği ile ilgili bir çalışma yürütmüş ve en üst sırada elektrik fiyatının olduğunu tespit etmiştir. Şekil 1'de yatırımlar için değerlendirilen belirsizlik parametreleri gösterilmektedir.

Belirsizlik Kaynakları

- Elektrik fiyatı
- Teknoloji
- Üretim
- Yakıt fiyatı
- Proje değeri
- Sübvansiyon ödemesi
- Biyokütle fiyatı
- Yenilenemeyen enerji fiyatı
- Biyoyakıt fiyatı
- Talep
- Enflasyon
- Yönetmelik/Düzenlemeler
- Değişim fiyatı
- Sermaye maliyeti



Şekil 1. Yatırım değerlemesini etkileyen belirsizlik kaynakları (Kozlova 2017).

Bu çalışmada da, volatilité değeri için belirsizliği ve değişkenliği yüksek olan ve her yıl enflasyon oranınca artış gösteren birim elektrik fiyatının standart sapması hesaplanmıştır. Enflasyon oranı olarak 2007-2021 yılları arasında ki 15 yıllık, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre hesaplanan Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE)'nin 12 aylık ortalamalara göre değişim oranlarının ortalama değeri %9.9 kullanılmıştır. Çizelge 1'de hesaplanan volatilité değeri gösterilmektedir.

Çizelge 1. Volatilité hesabı.

Yıl	Birim Elektrik Fiyatı (Y_i)	Ortalama (\bar{Y})	$(Y_i - \bar{Y})$	$(Y_i - \bar{Y})^2$
1.Yıl	0.4672	0.9818	(-0.5146)	0.2648
2.Yıl	0.5135	0.9818	(-0.4683)	0.2193
3.Yıl	0.5643	0.9818	(-0.4175)	0.1743
4.Yıl	0.6201	0.9818	(-0.3617)	0.1308
5.Yıl	0.6815	0.9818	(-0.3003)	0.0902
6.Yıl	0.7490	0.9818	(-0.2328)	0.0542
7.Yıl	0.8232	0.9818	(-0.1586)	0.0252
8.Yıl	0.9047	0.9818	(-0.0771)	0.0059
9.Yıl	0.9942	0.9818	(0.0124)	0.0002
10.Yıl	1.0927	0.9818	(0.1109)	0.0123
11.Yıl	1.2008	0.9818	(0.2190)	0.0480
12.Yıl	1.3197	0.9818	(0.3379)	0.1142
13.Yıl	1.4504	0.9818	(0.4686)	0.2196
14.Yıl	1.5939	0.9818	(0.6121)	0.3747
15.Yıl	1.7517	0.9818	(0.7699)	0.5928
Toplam				
			$(Y_i - \bar{Y})^2$	2.3265
			σ	0.4077

Çizelge 1'de hesaplanan volatilité değeri için kullanılan standart sapma formülü denklem 1 de, formüle göre volatilité değerin hesaplanması için çözüm de denklem 2 de, aşağıda gösterildiği şekildedir (Brigham 1995).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{2.3265}{14}} = \sqrt{0.1662} = 0.4077 \quad (2)$$

Proje parametrelerinin belirlenmesi sonrasında Black-Scholes ve Binomial yöntem ile elde edilen opsiyon değerlerinin proje değerine eklenmesiyle Genişletilmiş Net Bugünkü Değer (GNBD) elde edilmektedir. Reel opsiyonlarla değerleme sonucunda projeye onay verilmesinde ki asıl değer GNBD olmaktadır. Burada opsiyon değeri pozitif çıkmasına rağmen bazı projelerin NBD'si negatif

çıkabilmekte ve GNBD'de negatif sonuç verebilmektedir. Bu durumda opsiyon değerinin pozitif çıkmasına bakılmaksızın, yatırım yapılma kararı olumsuz olmaktadır. Bu RES yatırımında NBD ile elde edilen sonuç 15.855.585,49 TL olarak hesaplanmış olup, opsiyon değerine eklenecek proje değeri olarak aşağıda ki bölümlerde kullanılmaktadır.

Yukarıda açıklanan, Black-Scholes ve Binomial yöntem için kullanılacak proje parametreleri Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Proje parametreleri.

Girdi Parametreleri		
1	Yıllık Risksiz Faiz Oranı	r_f %12.28=0.1228
2	Varlığın Şimdiki Değer	S 60.810.500,15
3	Varlığın Kullanım Fiyatı	X 70.400.000,00
4	Opsiyonun Ekonomik Ömrü	T 15 yıl
5	Yıllık Standart Sapma	σ 0.4077
7	Yıllık Dönemler	Δt 1

2.1. Black-Scholes yöntemi ile değerleme

Black ve Myron Scholes tarafından opsiyona dayanak varlık olan hisse senedinin temettü dağıtmadığı varsayımı altında Avrupa tipi alım opsiyonlarının değerlemesi için bazı varsayımlar altında diferansiyel denklemler ile ürettikleri modele Black & Scholes modeli denmektedir. Literatürde ve yatırım değerleme uygulamalarında kullanılan Black-Scholes, analitik ve dinamik bir yöntem olmakla birlikte hesaplama ve çözümleme kolaylığı açısından da en yaygın kullanılan yöntemdir. Black-Scholes'un 1973 yılında opsiyonların fiyatlanması için önerdiği ve o tarihten sonra gerçek yatırım projeleri için de kullanılabilen, temettünün olmadığı varsayılan model aşağıdaki denklem 3,4,5 ve 6 da gösterildiği şekildedir.

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X e^{-r_f T} N(d_2) \quad (3)$$

$$P_0 = X e^{-r_f T} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad (4)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0 / X) + (r_f + \sigma^2 / 2)T}{\sigma \sqrt{T}} \quad (5)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T} \quad (6)$$

Modelde kullanılan terimler C_0 , alım opsiyonu değerini; P_0 , satım opsiyonu değerini; S_0 , dayanak varlığın değerini; X , kullanım fiyatını; T , opsiyonun vadesine kalan süreyi (yıl bazında); σ , dayanak varlığın standart sapmasını (volatilite); r_f , risksiz faiz oranını; $N(d)$, kümülatif standart normal dağılımı ifade etmektedir.

Merton (1973), Black & Scholes'un önerdiği modeli yeniden düzenleyerek getiri kaybını ifade eden temettü dağıtımının da olabileceğini belirtmiştir. Temettüsüz modelde açıklanan değişkenlere ek olarak getiri kısıtlılığını ifade eden " δ " değişkeni temettü dağıtımını sonrası nakit akışları veya menkul kıymetin değer kaybı derecesi için kullanılmaktadır. Bu anlamda temettüsüz Black- Scholes değerlendirme yöntemine, yatırımcıların risk yansız olduğu varsayımına karşın, riskten kaçınan yatırımcıların üstlendikleri riske karşı ekstra bir getiri elde etme beklentilerinin, opsiyon değerini ne şekilde etkileyeceğini irdelemek amacıyla, getiri kısıtlılığı parametresi (δ) Black-Scholes denklemine dâhil edilmiştir (Özoğul ve Ülengin 2006). Gecikmenin işletmeye olan maliyetinin hesaplanması ise; $1/n$ formülüne göre yapılmaktadır. Formüle eklenen parametre (δ), yatırımın ertelendiği durumlarda oluşan fırsat maliyetini ifade etmektedir. Bir başka deyişle yatırımın ertelendiği süre boyunca rakiplere kaptırılan pazar payı ve nakit akışlarının karşılığıdır. Temettülü yeni model aşağıda ki denklem 7, 8 ve 9 gösterildiği şekildedir.

$$C_0 = S_0 e^{-\delta T} N(d_1) - X e^{-r_f T} N(d_2) \quad (7)$$

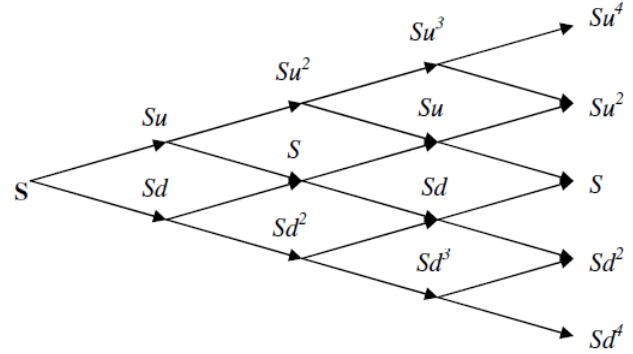
$$P_0 = X e^{-r_f T} N(-d_2) - S_0 e^{-\delta T} N(-d_1) \quad (8)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0 / X) + (r_f - \delta + \sigma^2 / 2)T}{\sigma \sqrt{T}} \quad (9)$$

2.2. Binomial yöntem ile değerlendirme

Binomial model 1979 yılında Cox, Ross ve Rubinstein tarafından ilk kez ortaya konmuştur. Modelde, opsiyonun vadesi sonunda hisse senedinin sadece olası iki fiyatının olacağı varsayılmaktadır. Yukarı veya aşağı olmak üzere bu olasılıklar Binomial olasılık dağılımına göre belirlenmektedir. Binomial

yöntem tek ve çok dönemli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Adım sayısının $\Delta t = 1$ olduğu bu çalışmada 15 yıl için, 15 dönemli bir çalışma yürütüldüğü düşünüldüğünde, aşağıda sadece çok dönemli yöntem için denklemler verilmiştir. Binomial model, opsiyonun vadesi boyunca opsiyonun değerindeki muhtemel değişiklikleri ayrı bir adımda göstererek bir ağaç şekli görünümlü diyagram oluşturmaktadır (Breen 1991). Bu durum Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Çok dönemli Binomial ağaç yapısı.

Kâr payı dağıtmayan bir proje için düzenlenmiş bir opsiyonun değerlendirilmesi için, ilk olarak opsiyonun vadesini Δt uzunluğunda kısa zaman aralıklarına böleriz. Her zaman aralığında, hisse senedi fiyatının; S ilk değerinden, S_u ve S_d değerlerine vardığı kabul edilir. Bu model aşağıda gösterilmiştir. Çoğu zaman, $u > 1$ ve $d < 1$ 'dir. S 'den S_u 'ya geçiş hareketi bir 'yukarıya doğru' harekettir, S 'den S_d '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. Ayrıca, $u = 1/d$ olduğu kabul edilerek işlemler yapılmaktadır (Onar ve Kılavuz 2013). Aşağıda ki 10, 11, 12 ve 13 numaralı denklemlerde temettünün olmadığı yani getiri kaybının olmadığı durumlarda ki denklemler gösterilmektedir.

$$u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}} \quad (10)$$

$$d = e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}} \quad (11)$$

$$r = e^{r_f \Delta t} \quad (12)$$

$$p = \frac{r - d}{u - d} \quad (13)$$

Temettünün olduğunun varsayıldığı durumlarda ise r parametresine ait yeni denklem aşağıda gösterilmektedir.

$$r = e^{(r_f - \delta)\Delta t} \quad (14)$$

Artış durumunda bir dönem sonraki fiyat:

$$S_1 = S_0 u \quad (15)$$

Azalış durumunda bir dönem sonraki fiyat:

$$S_2 = S_0 d \quad (16)$$

Çok dönemli binomial yöntemde opsiyona konu olan varlığın olası fiyat hareketlerinin opsiyonun vadesi boyunca oluşturduğu fiyat diyagramındaki her bir düğüm, diyagramın sonundan başlayarak ve geriye doğru çalışarak hesaplanabilmektedir. Buna göre son düğümden başlayarak $C_0 = [(P * u) + (1 - P) * d] * e^{(-r_f * \Delta t)}$ formülü kullanılarak geriye indirgeme yoluyla tüm diyagramın düğüm noktalarının değerleri tespit edilebilmektedir. Ayrıca, son düğüm opsiyonun değerini vermektedir. Denklemlerde ki C_0 = Opsiyon fiyatının bugünkü değeri, S_0 = Dayanak varlık fiyatının bugünkü değeri, u = Dayanak varlık fiyatının artış oranı, d = Dayanak varlık fiyatının azalış oranı, p = varlığın fiyatındaki artışın subjektif olasılığı ve r = her döneme ait faiz oranını (yıllık olmayan) ifade etmektedir (Hull 2009).

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, Sinop ilinde ki RES yatırımı için önce projeye bugün başlanması durumunda ki opsiyon ve proje değeri bulunmuştur. Sonrasında olası piyasa koşullarına göre 1 yıl erteleme, 1 adet rüzgâr türbini ekleyerek genişlemesinin ve 15 yıllık ekonomik ömür içerisinde herhangi bir zaman diliminde projeyi terk etmenin ya da devretmenin yatırımı nasıl etkilediği Black-Scholes ve Binomial yöntem ile değerlendirilmiştir. Çizelge 3'te 15 yıl vadeli ve projeye bugün başlanması durumunda ki proje parametreleri verilmektedir.

Çizelge 3. Projeye bugün başlanması durumunda ki proje parametreleri.

Girdi Parametreleri			
1	Yıllık Risksiz Faiz Oranı	r_f	% 12.28=0.1228
2	Varlığın Şimdiki Değeri	S	53.189.870,29
3	Varlığın Kullanım Fiyatı	X	37.334.284,80
4	Opsiyonun Ekonomik Ömrü	T	15 yıl
5	Yıllık Standart Sapma	σ	0.4077
6	Yıllık Dönemler	Δt	1

Çizelge 3'te ki parametrelere göre, Black-Scholes yöntemi ile 15 yıl vadeli bir RES projesine bugün başlanması durumunda ki hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$d_1 = \frac{\ln(53.189.870,29 / 37.334.284,80) + (0.1228 + (0.4077)^2 / 2)15}{0.4077\sqrt{15}} \quad (17)$$

$$d_1 = 2.1802$$

$$d_2 = 2.1802 - 0.4077\sqrt{15}$$

$$d_2 = 0.6012$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen d_1 ve d_2 parametrelerinin, kümülatif normal standart dağılım tablosundan elde edilen değerleri $N(d_1) = 0.9854$ ve $N(d_2) = 0.7261$ olarak bulunmuştur. Bu durumda opsiyon değeri aşağıdaki gibidir;

$$C_0 = (53.189.870,29 * 0.9854) - (37.334.284,80 * e^{(-0.1228*15)} * 0.7261) \quad (18)$$

$$C_0 = 48.116.610,00$$

$$GNBD = 15.855.585,49 + 48.116.610,00$$

$$GNBD = 63.972.195,49$$

Binomial yöntemle göre u , d , r ve p faktörleri aşağıdaki formüller kullanılarak elde edilmiştir.

$$u = e^{0.4077\sqrt{1}} = 1.5033560867$$

$$d = e^{-0.4077\sqrt{1}} = 0.6651784024$$

$$r = e^{0.1228} = 1.1306582667$$

$$p = \frac{(1.1306582667 - 0.6651784024)}{(1.5033560867 - 0.6651784024)} = 0.5553474794$$

$$(1 - p) = 0.4446525206$$

Yukarıdaki değerlerle oluşturulan binom ve opsiyon ağacı sonrasında elde edilen opsiyon ve proje değeri aşağıda gösterilmektedir.

$$C_0 = 48.124.921,83$$

$$GNBD = 15.855.585,49 + 48.124.921,83 \quad (20)$$

$$GNBD = 63.980.507,32$$

Erteleme opsiyonu yatırım için piyasa koşulları iyileşinceye kadar beklemenin ya da daha kârlı bir yatırım kararına kadar yatırımı erteleme mümkün olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Projeye bugün başlanması durumunda ki hem opsiyon hem de GNBD'nin pozitif değer olarak yatırım onayı alabilecek olmasına rağmen, 1 yıllık erteleme projeyi farklı olarak nasıl etkilediği görmek istenmiştir. Erteleme opsiyonu kullanıldığında opsiyon ve GNBD, projeye bugün başlanması durumundan daha iyi bir sonuç verirse erteleme bu öngörülebilir piyasa koşullarında yatırımcı için daha kârlı olacağı sonucu da elde edilmiş olacaktır. Bu uygulamada 1 yıl ertelemeden kaynaklı nakit akış kayıplarının, formüllere eklenen getiri kısıtlılığı (1/15) parametresi ile azalacağı, proje maliyetinin de her yıl için risksiz faiz oranı üzerinden aratacağı yönünde öngörülebilir bulunularak değerlendirilmiştir. Çizelge 4'te RES projesini 1 yıl erteleme durumunda ki proje parametreleri verilmektedir.

Çizelge 4. 1 yıl erteleme durumundaki proje parametreleri.

Girdi Parametreleri			
1	Yıllık Risksiz Faiz Oranı	r_f	%12.28=0.1228
2	Varlığın Şimdiki Değeri	S	53.189.870,29
3	Varlığın Kullanım Fiyatı	X	41.918.934,97
4	Opsiyonun Ekonomik Ömrü	T	15 yıl
5	Yıllık Standart Sapma	σ	0.4077
6	Yıllık Dönemler	Δt	1
7	Getiri Kısıtlılığı	δ	(1/15)=%6.7=0.067

Çizelge 4'te ki parametrelere göre, Black-Scholes yöntemi ile RES projesinin 1 yıl ertelenmesi durumunda ki hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$d_1 = \frac{\ln(53.189.870,29 / 41.918.934,97) + (0.1228 - (1/15) + (0.4077)^2 / 2)15}{0.4077\sqrt{15}} \quad (21)$$

$$d_1 = 1.4736$$

$$d_2 = 1.4736 - 0.4077\sqrt{15}$$

$$d_2 = -0.1055$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen d_1 ve d_2 parametrelerinin, kümülatif normal standart dağılım tablosundan elde edilen değerleri $N(d_1) = 0.9297$ ve $N(d_2) = 0.4580$ olarak bulunmuştur. Bu durumda opsiyon ve proje değeri aşağıdaki gibidir;

$$C_0 = (53.189.870,29 * e^{((-1/15)*15)} * 0.9297) - (41.918.934,97 * e^{(-0.1228*15)} * 0.458) \quad (22)$$

$$C_0 = 15.148.844,00$$

$$GNBD = 15.855.585,49 + 15.148.844,00$$

$$GNBD = 31.004.429,49$$

Binomial yöntemle göre u , d , r ve p faktörleri aşağıdaki formüller kullanılarak elde edilmiştir.

$$u = e^{0.4077\sqrt{1}} = 1.5033560867$$

$$d = e^{-0.4077\sqrt{1}} = 0.6651784024 \quad (23)$$

$$r = e^{(0.1228 - (1/15))} = 1.0577387062$$

$$p = \frac{(1.0577387062 - 0.6651784024)}{(1.5033560867 - 0.6651784024)} = 0.4683497439$$

$$(1 - p) = 0.5316502561$$

Yukarıdaki değerlerle oluşturulan binom ve opsiyon ağacı sonrasında elde edilen opsiyon ve proje değeri aşağıda gösterilmektedir.

$$C_0 = 41.094.687,37$$

$$GNBD = 15.855.585,49 + 41.094.687,37 \quad (24)$$

$$GNBD = 56.950.272,86$$

Genişleme opsiyonu, piyasa şartlarına uyum sağlamak için yatırımcının faaliyet gösteren kapasitesini artırarak yeni ve kalıcı olmayan duruma çözüm getirilmesini ifade etmektedir. Projeye bugün başlandığı duruma göre yatırımın genişlemesinin nasıl bir fark oluşturacağını görmek, yatırımcı için ilerleyen yıllarda atacağı adımlar için de faydalı olmaktadır. Bu çalışma da RES yatırımına bir rüzgâr türbinin eklenmesi durumunda maliyetin 3 milyon ABD doları bununla birlikte nakit akışların da %30 artacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada son yıllarda yüksek değerlerde dalgalanan dolar kuru üzerinden ortalama bir değer kullanmak yerine sabit bir dolar kuru kullanmanın hesaplamalarımız için daha doğru olacağına karar verilmiştir. Bunun için de T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın 2020-2022 Dönemi Yatırım Programı Hazırlama Rehberi'nin 12. Maddesinde belirtilen ve yatırım kararı alınan 2021 yılı sabit kur fiyatı, 1ABD=6.40 TL'dir (SBB, 2021). Rüzgâr türbini ekleme maliyeti bu kur üzerinden işlem yapılarak hesaplanmıştır. Yatırım maliyeti ve nakit akışlardaki değişim sonrası varlığın şimdiki değerinin değişmesiyle birlikte, Çizelge 5'te RES projesine 1 adet rüzgâr türbini

ekleyerek genişleme opsiyonunun kullanılması durumunda ki proje parametreleri verilmektedir.

Çizelge 5. Genişleme durumundaki proje parametreleri.

Girdi Parametreleri			
1	Yıllık Risksiz Faiz Oranı	r_f	%12.28=0.1228
2	Varlığın Şimdiki Değeri	S	69.146.831,38
3	Varlığın Kullanım Fiyatı	X	56.534.284,80
4	Opsiyonun Ekonomik Ömrü	T	15 yıl
5	Yıllık Standart Sapma	σ	0.4077
6	Yıllık Dönemler	Δt	1

Çizelge 5'te ki parametrelere göre, Black-Scholes yöntemi ile RES projesinin genişlemesi durumunda ki hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$d_1 = \frac{\ln(69.146.831,38 / 56.534.284,80) + (0.1228 + (0.4077)^2 / 2)15}{0.4077\sqrt{15}} \quad (25)$$

$$d_1 = 2.0836$$

$$d_2 = 2.0836 - 0.4077\sqrt{15}$$

$$d_2 = 0.5046$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen d_1 ve d_2 parametrelerinin, kümülatif normal standart dağılım tablosundan elde edilen değerleri $N(d_1) = 0.9814$ ve $N(d_2) = 0.6931$ olarak bulunmuştur. Bu durumda opsiyon ve proje değeri aşağıdaki gibidir;

$$C_0 = (69.146.831,38 * 0.9814) - (56.534.284,80 * e^{(-0.1228*15)} * 0.6931) \quad (26)$$

$$C_0 = 61.650.045,88$$

$$GNBD = 15.855.585,49 + 61.650.045,88$$

$$GNBD = 77.505.631,37$$

Binomial yöntemle göre u , d , r ve p faktörleri aşağıdaki formüller kullanılarak elde edilmiştir.

$$u = e^{0.4077\sqrt{1}} = 1.5033560867$$

$$d = e^{-0.4077\sqrt{1}} = 0.6651784024 \quad (27)$$

$$r = e^{0.1228} = 1.1306582667$$

$$p = \frac{(1.1306582667 - 0.6651784024)}{(1.5033560867 - 0.6651784024)} = 0.5553474794$$

$$(1 - p) = 0.4446525206$$

Yukarıdaki değerlerle oluşturulan binom ve opsiyon ağacı sonrasında elde edilen opsiyon ve proje değeri aşağıda gösterilmektedir.

$$C_0 = 61.706.127,87$$

$$GNBD = 15.855.585,49 + 61.706.127,87 \quad (28)$$

$$GNBD = 77.561.713,36$$

Terk etme opsiyonu, piyasa koşullarının kötüleşmesi sonrası projeyi sonlandırıp, fırsat maliyetinin kazanılması için yatırımcının tercih edebileceği bir durumdur. RES yatırımın herhangi bir zaman dilimi içerisinde, başka bir şirkete 20.000.000 TL karşılığında devretmenin ya da terk etmenin öngörülebilir olduğu durum değerlendirilmiştir. Nakit akışlarda bir değişiklik olmayacağı sadece yatırım maliyeti değerinin değiştiği durum için değerlendirme yapılmıştır. Çizelge 6'da RES projesi için terk etme opsiyonunun kullanılması durumunda ki proje parametreleri verilmektedir.

Çizelge 6. Terk etme durumundaki proje parametreleri.

Girdi Parametreleri			
1	Yıllık Risksiz Faiz Oranı	r_f	%12.28=0.1228
2	Varlığın Şimdiki Değeri	S	53.189.870,29
3	Varlığın Kullanım Fiyatı	X	20.000.000,00
4	Opsiyonun Ekonomik Ömrü	T	15 yıl
5	Yıllık Standart Sapma	σ	0.4077
6	Yıllık Dönemler	Δt	1

Çizelge 6'da ki parametrelere göre, Black-Scholes yöntemi ile RES projesini terk etme durumunda ki hesaplamalar aşağıdaki gibidir. Terk etme opsiyonu, diğer opsiyonlardan farklı olarak satım opsiyonuna uygunluk göstermektedir.

$$d_1 = \frac{\ln(53.189.870,29 / 20.000.000) + (0.1228 + (0.4077)^2 / 2)15}{0.4077\sqrt{15}} \quad (29)$$

$$d_1 = 2.5755$$

$$d_2 = 2.5755 - 0.4077\sqrt{15}$$

$$d_2 = 0.9965$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen d_1 ve d_2 parametrelerinin, kümülatif normal standart dağılım tablosundan elde edilen değerleri $N(d_1) = 0.9950$ ve $N(d_2) = 0.8405$ olarak bulunmuştur. Bu durumda satım opsiyonu ve proje değeri aşağıdaki gibidir;

$$C_0 = (53.189.870,29 * (0.9950 - 1)) - (20.000.000 * e^{(-0.1228*15)} * (0.8405 - 1)) \quad (30)$$

$$C_0 = 239.666,00$$

$$GNBD = 15.855.585,49 + 239.666,00$$

$$GNBD = 16.095.251,49$$

Binomial yöntemle göre u , d , r ve p faktörleri aşağıdaki formüller kullanılarak elde edilmiştir.

$$\begin{aligned}
 u &= e^{0.4077\sqrt{\Delta t}} = 1.5033560867 \\
 d &= e^{-0.4077\sqrt{\Delta t}} = 0.6651784024 \\
 r &= e^{0.1228} = 1.1306582667 \\
 p &= \frac{(1.1306582667 - 0.6651784024)}{(1.5033560867 - 0.6651784024)} = 0.5553474794 \\
 (1-p) &= 0.4446525206
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

Yukarıdaki değerlerle oluşturulan binom ve opsiyon ağacı sonrasında elde edilen opsiyon ve proje değeri aşağıda gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
 C_0 &= 50.410.377,90 - 53.189.870,29 \\
 C_0 &= -2.779.492,39 \\
 GNBD &= 15.855.585,49 - 2.779.492,39 \\
 GNBD &= 13.076.093,10
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

Çeşitli reel opsiyon yöntemlerinin dinamik olarak kullanılabilirliği yatırımcı ve değerlendirme uzmanı için

avantaj oluştururken, yöntemler arası sonuçların benzer değerler vermesi de bir başka olumlu durum olarak nitelendirilmektedir. Bunların dışında yatırımın genişleyerek kapasitesinin artması ya da ertelerek olası bir zararın yatırım için önlenabilir olması, önlenemeyeceğinin ise öngörülebildiği durumlar için de terk etme opsiyonunun sağlanması her türlü yenilenebilir enerji tesisleri gibi büyük yatırımlar için geleneksel değerlendirme yöntemlerine göre üstünlük sağlamaktadır. Çizelge 7’de farklı yenilenebilir tesisleri için erteleme, genişleme, terk etme gibi esneklik faktörlerinin Black-Scholes, Binomial ve Monte Carlo Simülasyonu gibi farklı reel opsiyon yöntemleri ile değerlendirildikleri çalışmalar gösterilmektedir.

Çizelge 7. Yenilenebilir enerji tesislerinde farklı reel opsiyon yöntemlerinin ve esneklik türlerinin kullanımı.

Yazar	Yıl	Ülke	Proje Tipi	Esneklik Türü	Değerlendirme Türü
Adkins, R. and Paxson, D.	2016	-	Yenilenebilir Enerji	Erteleme	Black-Scholes
Bruno, S., Ahmed, S., Shapiro, A. and Street A.	2015	Brazilya	Hidroelektrik Rüzgâr Enerjisi	Erteleme	Black-Scholes
De Mare, G., Manganelli, B. and Nesticò, A.	2013	İtalya	Rüzgâr Enerjisi	Terk etme	Monte Carlo Simülasyonu
Fleten, S.E., Linnerud, K., Molnár, P. and Nygaard, M.T.	2016	Norveç	Hidroelektrik Enerji	Erteleme Genişleme	Binomial
Jeon, C., Lee, J. and Shin, J.	2015	Kore	Güneş Enerjisi	Erteleme	Monte Carlo Simülasyonu Black-Scholes
Kitzing, L., Juul, N., Drud, M. and Boomsina, T.K.	2017	Baltık Denizi	Rüzgâr Enerjisi	Terk etme	Black-Scholes
Kozlova, M., Collan, M. and Luukka, P.	2017	Rusya	Rüzgâr Enerjisi Güneş Enerjisi	Erteleme	Monte Carlo Simülasyonu
Li, Y., Tseng, C.-L. and Hu, G.	2015	Amerika	Bioenerji	Terk etme	Black-Scholes
MacDougall, S. L.	2015	Kanada	Gelgit Enerjisi Rüzgâr Enerjisi	Erteleme Genişleme	Black-Scholes
Mancini, M., Sala, R., Tedesco, D. and Travaglini, A.	2016	-	Rüzgâr Enerjisi Güneş Enerjisi	Terk etme Küçülme	Binomial
Çevik Onar, S. and Kılavuz, T.N.	2015	Türkiye	Rüzgâr Enerjisi	Terk etme Genişleme Erteleme	Monte Carlo Simülasyonu
Sisodia, G.S., Soares, I. and Ferreira, P	2016	İspanya Portekiz	Rüzgâr Enerjisi Rüzgâr Enerjisi	Erteleme	Monte Carlo Simülasyonu Black-Scholes
Sisodia, G.S., Soares, I., Ferreira, P., Banerji, S. and Prasad, R.	2015	İspanya	Rüzgâr Enerjisi	Terk etme	Monte Carlo Simülasyonu Black-Scholes Black-Scholes
Torani, K., Rausser, G. and Zilberman, D.	2016	Amerika	Güneş Enerjisi	Erteleme	
Zhang, M.M., Zhou, D.Q., Zhou, P. and Chen, H.T.	2017	Çin	Güneş Enerjisi	Genişleme	Monte Carlo Simülasyonu

Zhang, M.M., Zhou, D.Q., Zhou, P. and Liu, G.Q.	2016	Çin	Güneş Enerjisi	Terk etme	Monte Carlo Simülasyonu
Zhang, M.M., Zhou, P. and Zhou, D.Q.	2016	Çin	Güneş Enerjisi	Erteleme	Monte Carlo Simülasyonu

4. Sonuç

RES yatırımı değerlendirilmesi için yapılan bu çalışmada, Black-Scholes ve Binomial yöntem ile erteleme, genişleme ve terk etme opsiyonları öngörülebilir koşullar doğrultusunda değerlendirilerek, projeye bugün başlanması durumuna göre nasıl sonuçlar verdikleri araştırılmıştır. İlk olarak projeye bugün başlanması durumunda ki opsiyon ve proje değeri hesaplanmıştır. Black-Scholes yöntemi ile opsiyon değeri 48.116.610,00 TL, Binomial yöntem ile de 48.124.921,83 TL değer elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle elde edilen NBD'nin 15.855.585,49 TL olduğu bu yatırımda her iki yöntemle elde edilen opsiyon değerinin NBD'den fazla çıkması yatırımcı için çok daha olumlu bir sonuç olmuştur. Opsiyon ve proje değerinin toplanarak elde edildiği GNBD ise Black-Scholes yöntemi ile 63.972.195,49 TL olurken, Binomial yöntemde 63.980.507,32 TL değerini almıştır. NBD ile GNBD arasında ki büyük farka bakıldığında, reel opsiyonlarla değerlendirilmesinin yatırım için çok daha avantajlı bir durum olduğu görülmektedir. Bir diğer sonuç ise iki yöntem ile elde edilen opsiyon değerlerinin birbirlerine göre çok yakın sonuçlar vermiş olmasıdır. Bu durum genel olarak yenilenebilir enerji tesisi gibi büyük bütçeli yatırımlar için değerlendirme yöntemi seçiminde farklılık doğmamasından kaynaklı da bir kolaylık oluşturmaktadır. Bir sonraki uygulama, yatırımın piyasa koşullarına göre 1 yıl ertelendiğinde, bugün başlanması durumuna göre daha kârlı bir nakit akışının elde edilip edilemeyeceğinin araştırılması olmuştur. Black-Scholes yöntemi ile elde edilen proje değeri 31.004.429,49 TL iken, Binomial yöntemle bu değer 56.950.272,86 TL olmuştur. Erteleme opsiyonu projede kullanılırken, yatırımcının 1 yıl için fırsat maliyetine karşılık getiri kısıtlılığı parametresi 1/15 oranında formüllere eklenerek hesaplama yapılmıştır. Nakit akış kaybının olduğu kadar maliyetlerde de bir değişim olabileceği öngörülerek risk yansız oranımız olan risksiz faiz oranınca maliyet artışı gösterilmiştir. Bu şekilde yapılan uygulamada,

Black-Scholes ve Binomial yöntem arasındaki fark oldukça fazla olmuştur. Binomial yöntemle elde edilen sonuç projeye bugün başlanması durumundaki sonuçlara daha yakinken Black-Scholes yönteminde elde edilen sonuç çok daha farklı bir değer almıştır. Bu duruma, Black-Scholes yöntemi için getiri kısıtlılığı parametresinin formüllere uygulanma şeklinin yeniden yorumlanması ya da fırsat maliyetinin getiri kısıtlılığı parametresi ile formüllere uygulanması yerine, sayısal olarak başka yollarla ifade edilmesi gerektiği şeklinde bir öneride bulunulabilir. Erteleme opsiyonunun kullanıldığı Çizelge 7'de ki uygulamalarda da her proje için getiri kısıtlılığı parametresinin kullanılmadığı gözlemlenmiştir. Bazı uygulamalar nakit akış kaybının henüz yatırıma başlanmadığı düşünülerek sayısal bir değer olarak hâli hazırda ki projeyi etkilemediği için fırsat maliyetini, yatırım maliyetinde ki artış ya da azalış ile temsil etmiştir. Bazı uygulamalarda ise nakit akış kaybının proje ve parametre değerlerine göre uygun bir yüzdelik oran belirleyerek sayısal olarak bir azalma ile ifade edildiği gözlemlenmiştir. Erteleme opsiyonunun uygulanma şeklinin araştırmacılar ve değerlendirme uzmanları tarafından farklı yorumlanarak değerlendirilmesi de yöntem keskinlik kazandıracak yeni bir öneri ile revize edilmesi gerektiği sonucunu vermektedir. Bir diğer uygulama RES yatırımının ilerleyen dönemlerde 1 adet rüzgâr türbininin eklenmesiyle birlikte genişleme opsiyonunun kullanılması durumu olmuştur. Bu opsiyon Black-Scholes yöntemiyle 77.505.631,37 TL değer alırken Binomial yöntemle 77.561.713,36 TL değer almıştır. Bu durumda genişleme opsiyonunun kullanılması projeye bugün başlanması durumundaki mevcut hâlden daha yüksek bir opsiyon ve proje değeri sağladığı için yatırımın genişlemesinin bu şartlar altında olumlu bir karar olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak herhangi bir zaman diliminde projeyi terk etmenin kârlı mı yoksa zarar ederek mi sonuçlanacağı değerlendirilmiştir. Terk etme opsiyonu diğer opsiyonlardan farklı olarak alım

yerine satım opsiyonu olarak işlem yapmaktadır. Bu durumda Black-Scholes yöntemi ile 16.095.251,49 TL, Binomial yöntemle de 13.076.093,10 TL sonuç elde edilerek, terk etme opsiyonunun kullanımının pozitif sonuç vermesiyle kabul edilebilir bir durum olduğu sonucuna varılmıştır. Bu opsiyon çeşitinde de iki yöntem arasında ki sonuçlar birbirlerine çok yakın olmasalar da, Binomial yöntemde ki düğüm sayısı 15'in katları olacak şekilde arttırıldığında Black-Scholes yöntemiyle benzer sonuçlar alınabilecektir. Büyük bütçeli yatırımların ekonomik ömür süreleri uzundur ve proje parametrelerinin gelecekte ki değişimleri tam olarak bilinmemektedir. Risk ve belirsizliğe sahip parametrelerle değerlendirme yapılırken, bu iki faktörün hesaplamaya dâhil edilmesi gerekliliği ve projeye ekstra değer katmaları, bu çalışma ile gösterilmiştir. Opsiyonların yatırımcıya olasılıklar dâhilinde hesaplama yaparak proje değeri sunması da yöntemin bir başka avantajıdır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, erteleme opsiyonu için getiri kısıtlılığı parametresinin kullanım şekli ya da ertelemeyen kaynaklı kaybedilen fırsat maliyetinin yatırıma yansıtılması şekli ile ilgili kesin bir yargının olmaması, bazı durumlarda gerçek proje değerini yansıtamayabilecektir. Bu durum ile ilgili özellikle Black-Scholes yönteminde, algoritmada bir düzeltme yapılması önerilebilir. Erteleme, genişleme ve terk etme opsiyonları için de geleceğe dair öngörülen proje parametreleri ile çalışılması sonuçlarda avantaj sağlamış olsa da, benzer çalışmalar ya da fizibilite raporları gibi referans veriler mutlaka altık olarak değerlendirilmelidir. Bu durum, parametrelerin öngörülmesinde oldukça olumlu ve proje değerinin gerçeğe en yakın sonuçla elde edilmesini sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma sorumlu yazarın "Reel Opsiyonlarla Yenilenebilir Enerji Tesislerinin Değerlemesi" başlıklı doktora tezinden üretilmiş olup, çalışmaya katkı sunan çok değerli tez danışmanlarıma teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

- Adkins, R., and Paxson, D., 2015. Subsidies for renewable energy facilities under uncertainty. *The Manchester School*, **84(2)**, 222-250.
- Akkum, T., 2000. Döviz opsiyonları ve opsiyon fiyatlandırma modelleri. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, **29**, 47-74.
- Amram, M. and Kulatilaka, N., 1999. Real options: managing strategic investment in an uncertain World. Boston, MA.: Harvard Business School Press.
- Black, F. and Scholes, M., 1973. The pricing of options and corporate liabilities. *The Journal of Political Economy*, **81 (3)**: 637-654.
- Brach, M.T., 2003. Real Options in Practice. Wiley Finance, New Jersey, USA.
- Breen, R., 1991. The accelerated binomial option pricing model. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, **26(2)**, 153-164.
- Brigham, E., 1995. Fundamentals of financial management. 7th Edition, The Dryden Press, USA.
- Bruno, S., Ahmed, S., Shapiro, A. and Street, A., 2016. Risk neutral and risk averse approaches to multistage renewable investment planning under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, **250(3)**, 979-989.
- Çevik Onar, S. and Kılavuz T.N., 2015. Risk analysis of wind energy investments in Turkey. *Human and ecological risk assessment: an international journal*, **21(5)**.
- De Mare, G., Manganelli, B. and Nestico, A., 2013. The economic evaluation of investments in the energy sector: A model for the optimization of the scenario analyses. *Computational Science and Its Applications*, 359-374.
- Dixit, A.K. and Pindyck, R.S., 1995. The option approach to capital investment. *Harvard Business Review*, **73**, 105-115.
- Fleten, S.E., Linnerud, K., Molnar, P. and Nygard, M.T., 2016. Green electricity investment timing in practice: Real options or net present value? *Energy*, **116(1)**, 498-506.

- Hull, J., 2009. Options, future and other derivatives. *Pearson Prentice Hall*, New Jersey.
- Jeon, C., Lee, J. and Shin, J., 2015. Optimal subsidy estimation method using system dynamics and the real option mode: Photovoltaic technology case. *Applied Energy*, **142**, 33-43.
- Kashani, H., 2012. A real options model for the financial valuation of infrastructure systems under uncertainty. Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, 108.
- Kitzing, L., Juul, N., Drud M. and Boomsina, T.K., 2017. A real options approach to analyse wind energy investments under different support schemes. *Applied Energy*, **188**, 83-96.
- Kozlova, M., 2017. Real option valuation in renewable energy literature: Research focus, trends and design. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, **80**, 180-196.
- Kozlova, M., Collan, M. And Luukka, P., 2017. Russian mechanism to support renewable energy investments: Before and after analysis. *ECCOMAS 2015: Computational Methods and Models for Transport*, 243-252.
- Li, Y., Tseng, C.L. and Hu G.i 2015. Is now a good time for Iowa to invest in cellulosic biofuels? A real options approach considering construction lead times. *International Journal of Production Economics*, **167**, 97-107.
- MacDaugall, S.L., 2015. The value of delay in tidal energy development. *Energy Policy*, **87**, 438-446.
- Mancini, M., Sala, R., Tedesco, D. and Travaglini, A., 2016. A real options investment model for the evolution of wind and photovoltaic plants. *2016 IEEE International Conference On Industrial Engineering and Engineering Management*, 2157-362x.
- Myers, S., 1977. Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics*, **5**, 147-175.
- Özoğul, S.T. ve Ülengin, B. 2006. Reel opsiyonlar ile bilişim teknolojileri yatırımlarının değerlendirilmesi. *İTÜ Dergisi/b, Sosyal Bilimler*, **3(1)**.
- Sisodia, G.S., Soares, I. and Ferreira, P., 2016. Modeling business risk: The effect of regulatory revision on renewable energy investments- The Iberian case. *Renewable Energy*, **95**, 303-313.
- Sisodia, G.S., Soares, I., Ferreira, P., Banerji, S. and Prosad, R., 2015. Projected business risk of regulatory change on wind power project: Case of Spain. *Energy Procedia*, **79**, 1054-1060.
- Smith, J.E. and McCardle, K.F., 1999. Options in the real world: lessons learned in evaluating oil and gas investments. *Operations Research*, **47(1)**.
- Torani, K., Rausser, G. and Zilberman, D., 2016. Innovation subsidies versus consumer subsidies: A real options analysis of solar energy. *Energy Policy*, **92**, 255-269.
- Trigeorgis, L., 1993. Real options and interactions with financial flexibility. *Financial Management*, **22(3)**, 202-224.
- Trigeorgis, L., 1999. Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation. *The MIT Press*, Cambridge, MA.
- Zhang, M.M., Zhou, D.Q., Zhou, P. and Chen, H.T., 2017. OPTIMAL design of subsidy to stimulate renewable energy investments: The case of China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **71**, 873-883.
- Zhang, M.M., Zhou, D.Q., Zhou, P. and Liu, G.Q., 2016. Optimal feed-in tariff for solar photovoltaic power generation in China: A real options analysis. *Energy Policy*, **97**, 181-192.
- Zhang, M.M., Zhou, P. and Zhou, D.Q., 2016. A real options model for renewable energy investment with application to solar photovoltaic power generation in China. *Energy Economics*, **59**, 213-226.