



RÜZGÂR ENERJİ SANTRALİ DEĞERLEMESİNDE REEL OPSİYONLARIN KULLANILMASI

Duygu BIYIKLI^{1*}, Faik Ahmet SESLİ², Pelin KASAP³

¹Kastamonu Üniversitesi, İhsangazi Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 37250, Kastamonu, Türkiye

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 55139, Samsun, Türkiye

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Anabilim Dalı, 55139, Samsun, Türkiye

Özet: Rüzgâr Enerji Santrali (RES) gibi büyük bütçeli yatırım projelerinin değerlendirilmesinde, değerlendirme yönteminin seçimi en önemli kararların başında gelmektedir. Geleneksel değerlendirme yöntemlerinin, yatırımın ekonomik ömür süresince risk ve belirsizlikleri dikkate alınmaması, herhangi bir dönemde olası durumlara karşı genişleme, terk etme ya da erteleme gibi esnek çözümler sunmaması, uygulamalarda olumsuz durumlar yaratmaktadır. Reel opsiyonlar, yatırımdaki risk ve belirsizliğin, olasılık dağılımı yoluyla çeşitli analitik yöntemler ya da simülasyonlar kullanarak ele alınmasını sağlamaktadır. Yatırıma 2021 yılı Haziran ayında başladığı düşünüldüğünde, bu konuda daha önce hazırlanmış ön fizibilite raporlarından yararlanılmıştır ve piyasa değerleri de göz önünde bulundurularak proje parametreleri belirlenmiştir. Sinop ilinde ki 5 MW elektrik üretimi kapasiteli, %35 kapasite faktörüne ve 15 yıllık ekonomik ömre sahip bu RES için, ilk olarak geleneksel değerlendirme yöntemlerinden literatürde sıklıkla kullanılan, İndirgenmiş Nakit Akışlar (İNA) yöntemi ile Net Bugünkü Değer (NBD) elde edilmiştir. İkinci olarak, reel opsiyonlarla değerlendirme sürecinde ise analitik yöntemlerden Black-Scholes değerlendirme yöntemi ile opsiyon değeri ve projenin uygulanabilir olup olmadığının değerlendirilmesi için Genişletilmiş Net Bugünkü Değer (GNBD) elde edilmiştir. Yatırım projesinin uygulanabilir olması için kullanılan değerlendirme yöntemi ile elde edilen NBD'nin pozitif sonuç vermesi ve yatırımcının da ekonomik ömür süresi sonunda kâr elde etmiş olması gerekmektedir. Negatif sonuç veren yatırım için proje uygulanabilir olmamaktadır. RES için yapılan değerlendirme çalışmasında ki amaç, NBD ile negatif sonuç elde edilmesi ile birlikte proje uygulanabilir onayı alamazken, risk ve belirsizliği projeye dahil ederek reel opsiyonlarla pozitif sonuç elde edilmesi ile birlikte projenin uygulanabilir onayı alabildiği sonucu elde edilmiştir. Bu durumda reel opsiyonların geleneksel yöntemlere göre üstünlüğü gösterilmiş olmakla birlikte geleneksel yöntemlerin uygulamalarda ki yerini reel opsiyonlara bırakması gerektiği sonucuna da varılmıştır.

Anahtar kelimeler: NBD (Net bugünkü değer), Reel opsiyon, Black-scholes, RES (Rüzgâr enerji santrali)


Using Real Options in Wind Power Plant Evaluation


Abstract: The selection of the valuation method is one of the most important decisions in the valuation of large-budget investment projects such as the Wind Power Plant (WPP). The fact that traditional valuation methods do not take risks and uncertainties into account during the economic life of the investment and do not offer flexible solutions such as expansion, abandonment or postponement against possible situations in any period creates negative situations in applications. Real options enable the risk and uncertainty in the investment to be handled by using various analytical methods or simulations through probability distribution. Considering that the investment started in June 2021, pre-feasibility reports prepared beforehand were used in this regard, and the project parameters were determined considering the market values. Firstly, Net Present Value (NPV) was obtained by using the Discounted Cash Flows (DNA) method, which is one of the traditional valuation methods, for this WPP, which has a 5 MW electricity generation capacity, a capacity factor of 35% and an economic life of 15 years in the province of Sinop. are the most commonly used methods in the literature. Secondly, in the real options valuation process, the Black-Scholes valuation method, one of the analytical methods, used the option value and the Extended Net Present Value (GNPV) to evaluate whether the project is viable or not. In order for the investment project to be viable, the NPV obtained by the valuation method used must yield positive results and the investor must have earned a profit at the end of its economic life. The project is not viable for an investment with a negative result. The aim of the valuation study for RES was that while the project could not get the applicable approval with the negative result with NPV, the project was able to get the applicable approval with the real options by incorporating the risk and uncertainty into the project. In this case, although the superiority of real options over traditional methods has been demonstrated, it has also been concluded that traditional methods should be replaced by real options in practice.


Keywords: NPV (Net present value), Real option, Black-scholes, WPP (Wind power plant)

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Kastamonu Üniversitesi, İhsangazi Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 37250, Kastamonu, Türkiye

E mail: dbiyikli@kastamonu.edu.tr (D. BIYIKLI)

Duygu BIYIKLI  <https://orcid.org/0000-0002-0220-5101>

Faik Ahmet SESLİ  <https://orcid.org/0000-0001-8352-734X>

Pelin KASAP  <https://orcid.org/0000-0002-1106-710X>

Gönderi: 23 Ağustos 2022

Kabul: 25 Eylül 2022

Yayınlanma: 01 Ekim 2022

Received: August 23, 2022

Accepted: September 25, 2022

Published: October 01, 2022

Cite as: Biyikli D, Sesli FA, Kasap P. 2022. Using real options in wind power plant evaluation. BSJ Eng Sci, 5(4): xx-xx.



1. Giriş

Yatırımcılar proje değerini etkileyen parametrelerin, piyasa koşullarına göre nasıl etkileneceklerini ve ekonomik ömür sonunda elde edecekleri kârın ne yönde olacağını bilmek isterken, değerlendirme uzmanları tarafından bu durumla ilgili çeşitli yöntemler sunulmaktadır. Geleneksel değerlendirme yöntemleri, belirlilik koşulları altında risk, belirsizlik ve esneklik faktörlerini dahil etmeden yatırım değerlemesi yapmaktadır. Bu durum, yatırımların piyasa değerine göre daha az değerlendirilmesine neden olmakla birlikte projenin de uygulanabilir olması durumu olumsuz etkilenmektedir.

Geleneksel NBD, nakit akışlarını reel indirgeme oranı yani "riske göre düzeltilmiş iskonto oranı" ile indirgeyip, bu değerlerin toplamının yatırım maliyetinden çıkartılmasıyla elde edilir. Elde edilen NBD, yatırım projesinin kabul edilebilirliğinin bir ölçütüdür. Yatırım projesi için hesaplanan NBD'nin pozitif, negatif ve sıfır olması farklı şekillerde karar alınmasına da neden olmaktadır. NBD'si sıfır olan bir projenin uygulanması yatırımcı için ne kâr ne de zarar edebileceği bir durumdur ve ekonomik ömür sonunda bu yatırımdan etkili bir sonuç elde edilememektedir. NBD'si pozitif olan projenin uygulanması yatırımın değerini arttırarak uygulanabilir bir sonuç verirken, NBD'si negatif olan projenin uygulanması halinde de yatırımın değerinde ki azalış, uygulanabilirliği olumsuz etkilemektedir (Bilir, 2012). Değerleme sonucunda istenilen ve beklenen durum ise pozitif sonuçlu bir NBD elde etmektir.

Geleneksel değerlendirme yöntemleri, özellikle büyük ölçekli yatırım projeleri için yatırımın kârlılığını doğru bir şekilde değerlendirmekte yetersiz kalmaktadır (Dzyuma, 2012). Reel opsiyonlarla değerlendirme ise iskonto oranını kullanılması yerine, risk ve belirsizlik için risksiz faiz oranı ve değişkenlik için ise volatilité parametresinin kullanılması ve bir de yönetimsel esnekliklere izin vermesi nedeniyle öne çıkmaktadır (Colwell ve ark., 2002).

Reel opsiyonlar, proje kârlılığını hesaplamının yanı sıra, ekonomik ömür boyunca yıl bazında elde edilen verimliliğe göre bir sonra ki adım için ne yapılacağını düşünme ve uygulamaya geçmeyi sağlayan da bir yöntemdir. Örneğin 15 yıllık bir RES için 3. Yılda sonra yapılan fizibilite çalışmaları sonrası küçülme, genişleme ya da projeyi devretme ya da terk etme gibi opsiyonların kullanılabilirliğini yatırımcıya sağlamaktadır. Yanlış kararlar ile projeye devam edilmesi yerine, piyasa koşullarında nakit akış kaybının tolere edilebildiği durumlar tercih edilmelidir. Bazı durumlarda projenin ertelenebilme durumu da yatırımın kârlılığı için önemli bir faktördür. Piyasa koşullarının değiştiği, öngörülemeyen durumlarda ya da nakit akış kayıplarının kazanımlardan fazla olduğu durumlarda bu esnekliği kullanmakta yine yatırım için büyük rol oynamaktadır. Geleneksel değerlendirme yöntemleri ile riskin ve belirsizliğin yarattığı bu gibi durumlara bir çözüm getirilememekte ve yatırım bu durumdan olumsuz

etkilenmektedir (Mun, 2002). Belirsizlikler opsiyonlar için avantajlı bir durum olabilmektedir. Belirsizliğin artması, esneklikle birlikte opsiyon değerini de arttırmaktadır (Uzunlar ve Aktan, 2000).

Reel opsiyon teorisinin temeli, finansal varlıklar için hazırlanan finansal opsiyon teorisine dayanmaktadır. Myron C. Scholes ve Fisher Black tarafından 1970'lerin başında geliştirilen, Avrupa tipi satın alım opsiyonlarının fiyatlandırılmasında kullanılan Black-Scholes yöntemi, finansal opsiyonların hem literatürde hem de piyasa da geniş bir kullanım alanına sahip olmasıyla birlikte reel opsiyonların da gelişimini sağlamıştır (Schulmerich, 2010).

Reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinden Black-Scholes ile birlikte Binomial yöntem ve Monte Carlo Simülasyonu da akademik çalışmalarda ve günümüzde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji tesislerinin değerlemesinde daha dinamik bir yöntem olması dolayısıyla daha sık tercih edilen Black-Scholes yöntemi kadar diğer iki yöntemle de birbirlerine çok benzer sonuçlar vermeleri ile yatırım değerlendirme de kullanımlarının uygun olduğu da literatürde desteklenmektedir.

Abadie ve Chamorro (2014) çalışmalarında proje bilgilerini İngiltere'den aldıkları bir RES'in yatırımını reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinden Monte Carlo simülasyonu yöntemi ve Binomial yöntem ile ele almış ve ekonomik ömür boyunca yaşanacak belirsizliklerden ötürü yatırımın bir süre ertelenmesi gibi bir opsiyon dahilinde değerlendirilmesini yapmıştır. Erteleme opsiyonu sonucunda vadeli işlemler piyasası üzerinde belirlenen beklenen elektrik fiyatı £ 48,91 / MWh'dan £ 85,91 / MWh'ya ulaştığını görmüş ve bunun sonucundan projenin kârlı hale geldiğini ifade etmiştir.

Brandao ve ark. (2005) problem çözmede Black-Scholes ve Binomial değerlendirme yönteminin kullanılması ile ilgili çalışmada birden çok risk ve belirsizlik durumunda daha dinamik olduğunu, yatırım projelerinin değerlemesinin geleneksel değerlendirme yöntemlerine göre daha üstün olduğunu anlatmıştır.

Chambers (2005) çalışmada yatırım projelerinin değerlemesinde reel opsiyonlar hakkında bilgi vermiş ve İNA yöntemine göre ret edilecek bir yatırım projesini genişleme opsiyonunun kullanılması ile yeniden değerlendirmiş ve sonuçta kabul edilebilir bir proje değerine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Fernandes ve ark. (2011) çalışmalarında enerji alanındaki yatırımlarda özellikle yenilenebilir enerji alanındaki yatırımlarda meydana gelen artış ve bu alandaki yatırımların değerlendirilmesinde reel opsiyonlar yönteminin önemini açıklamıştır. Özellikle RES yatırımları ile ilgili belirsizlikler ve risklerin, proje değerlendirilmesine en etkili reel opsiyonlar yöntemi ile yansıtıldığını ve bu nedenlerle bu alandaki yatırım projelerinin değerlendirilmesinde reel opsiyonlar yönetiminin önemi üzerinde durmuşlardır.

Kapucugil İkiz ve Deveci Kocakoç (2009) çalışmada, bilişim alanındaki yatırım projelerinin değerlemesinde

reel opsiyonların kullanılmasını ele almış ve çalışmanın sonucunda büyüme opsiyonuna sahip bir bilişim projesinin reel opsiyonlar yöntemi ve geleneksel proje değerlendirme yöntemleri ile değerlemesi yapılmış ve reel opsiyonlar yönteminin proje değerlemede daha gerçekçi sonuçlar verdiğini ve geleneksel değerlendirme yöntemleri ile ret edilebilen bir projenin reel opsiyonlar yöntemi ele kabul edilebilir şekilde hesaplandığını ortaya koymuştur. Mun (2006) çalışmasında, geleneksel değerlendirme yöntemlerini reel opsiyonlar değerlendirme yöntemleri ile karşılaştırmış ve reel opsiyonlar ile ilgili literatür bilgisi vererek avantajlarını göstermiştir. Özellikle risk ve belirsizlik durumlarında reel opsiyonlar yönteminin geleneksel yöntemlere göre üstün taraflarına dikkat çekmiş ve reel opsiyonların bu üstünlüklerini çalışmasında ele aldığı uygulamalar ile de ispatlamaya çalışmıştır.

Özcan (2013), "Muğla Bölgesinde Örnek Bir Rüzgâr Elektrik Santrali (RES) Yatırım ve Res Yatırımında Reel Opsiyonların Kullanımı Üzerine Bir İnceleme" isimli çalışmasında, bir rüzgâr enerji santrali projesini indirgenmiş nakit akımları yöntemine göre değerlemiş ve negatif çıkan yatırım sonucunu yani kabul edilemez olan projeyi reel opsiyonlar yöntemine yeniden ele almış ve opsiyon sözleşmesindeki satın alma opsiyonunun kullanılması durumunda projenin pozitif nakit akım verdiğini yani kabul edilebilir olduğunu ifade etmiştir.

Safarov (2009), çalışmasında enerji sektöründeki yatırımların reel opsiyonlar yöntemi ile değerlendirilmesini ele almış ve çalışmasında reel opsiyonlar ile geleneksel proje değerlendirme yöntemlerini karşılaştırmıştır. Çalışmanın uygulama bölümünde Barmek enerji firmasına ait yatırım projesini, Socar A.Ş' ye ait terk etme opsiyonu ve Manisa enerji firmasına ait büyüme opsiyonlarının kullanılması sonucunda yatırım projesinin analiz yapmış ve çalışma sonucunda geleneksel değerlendirme yöntemi ile ret edilebilecek bir yatırım projesinin aslında yatırım yapılabilir kârlı bir proje olduğunu ispatlamıştır.

Bu araştırma makalesinde ki çalışmanın amacı, ekonomik ömrü 15 yıl olan Sinop İlinde %35 kapasite faktörüne sahip bir RES'in değerlemesinde, geleneksel değerlendirme yöntemiyle elde edilen NBD'nin negatif sonuç vermesi, bunun yanı sıra reel opsiyonlar değerlendirme yöntemleri Black-Scholes ile opsiyon ve proje değerinin pozitif sonuç vermesi ile birlikte, reel opsiyonlar değerlendirme yönteminin geleneksel yöntemlere göre üstünlüğü ve uygulanabilirliğinin gösterilmek istenmesidir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde RES için hem geleneksel yöntemlerden NBD ile proje değeri hem de reel opsiyonlar değerlendirme yöntemlerinden Black-Scholes ile opsiyon ve opsiyon ile NBD'nin toplanarak elde edilmesiyle birlikte GNBD hesaplanacaktır. Projenin uygulanabilir olup olmadığı geleneksel yöntemde proje değeri ile belirlenirken, reel opsiyonlarda opsiyon değeri pozitif olsa dahi GNBD'nin pozitif sonuç vermesi

gerekmektedir. Bu şartlar doğrultusunda aşağıdaki bölümlerde değerlendirme yöntemleri ve kullanılan parametre ve eşitlikler detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

2.1. Net Bugünkü Değer (NBD) Yöntemi ile Değerleme
NBD'nin hesaplanmasının ilk aşaması projeye ait parametrelerin belirlenmesidir. Sonra ki adım İNA'nın hesaplanarak 15 yıllık net nakit akımlarının hesaplanması ve devamında iskonto oranınca indirgenerek bugünkü değerlerin oluşturulmasıdır. Bugünkü değerlerin toplamının öngörülen proje maliyetinden çıkartılması ile de proje değerini veren NBD hesaplanmaktadır. Proje parametreleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

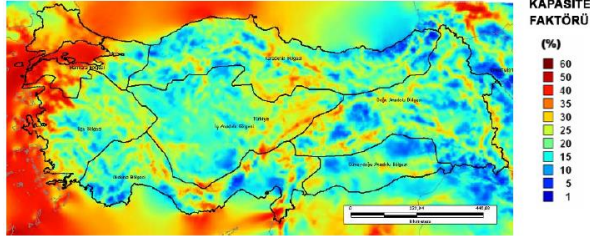
Tablo 1. Proje parametreleri (NBD).

Proje Parametreleri	
Proje Maliyeti	11.000.000 USD=70.400.000 TL
Projenin Yıllık Gelir Miktarı	7.064.640 TL
Ekonomik Ömrü	15 yıl
Kurulu Gücü	5 MW
AOSM	%10
Türbin Sayısı	2
Operasyonel Gider	306.000 USD=1.958.400 TL
Elektrik Satış Fiyatı (TL/ kWh)	(0,073*6,40TL) =0,4672 kuruş
Amortisman Değeri	4.693.333,33 TL
Kurumlar Vergisi (KV)	%25=0,25
TÜFE (Enflasyon Oranı)	%9,90=0,099
Birim Elektrik Fiyatı	0,073USD*6,40TL/USD=0,4672TL

Tablo 1'de gösterilen proje parametrelerinin hesaplanması projenin ekonomik analizi kısmında belirlenmektedir. Bir rüzgâr enerji santralinin proje gelirinin hesaplanabilmesi için öncelikle tesisin ürettiği enerji kapasitesinin bilinmesi gerekmektedir. Üretim miktarının hesaplanabilmesi için de RES'in ürettiği enerji miktarının ve santralin kurulduğu bölgeye ait rüzgâr kapasite faktörünün bilinmesi şarttır. Kapasite faktörü bölgede yapılan 1 senelik rüzgâr ölçümlerinin haricinde Rüzgâr Enerji Potansiyeli Atlası (REPA) da yatırımcılara bu bilgiyi vermektedir. Şekil 1'de Türkiye geneli 50m yükseklikteki ortalama kapasite faktörü (%) dağılımı gösterilmiştir (Çalışkan, 2020). REPA'ya göre Sino pili kapasite faktörünün %35 olduğu görülmektedir. Üretim miktarı için; 5 MW*0,35*360 gün*24 saat=15.120.000 kWh hesaplanmıştır. Burada 1 yılın 360 gün olarak alınmasının nedeni yılda 5 günün bakım onarım ile geçebileceği ve bu zaman diliminde üretimin duracağına öngörülmesindedir.

Bir diğer bilinmesi gereken parametre ise elektrik

fiyatıdır. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) tarafından düzenlenen cetvellerdeki teşvik fiyatları, enerji üretim tesislerinin elektrik fiyatlarını tanımlamaktadır. RES' in 2021 yılı haziran ayı içerisinde uygulamaya girdiği düşünüldüğünde, Ek-1 sayılı cetvelinde yer alan, üretilecek elektriğin 1kWh'nin 7,3 UScent/kWh teşvik fiyatı üzerinden değerlendirilmeye alınacağı belirlenmiştir.



Şekil 1. REPA kapasite faktörü dağılımı (%) (Çalışkan, 2020).

Burada rüzgâr enerji santralleri için bilmemiz gereken bir diğer parametre değeri ise dolar kurudur. 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). Buradan proje geliri $15.120.000\text{kWh} \times 0.073\text{USD} \times 6,40\text{TL/USD} = 7.064.064\text{ TL}$ olarak hesaplanmıştır. İndirgenmiş nakit akışları hesaplanırken birim elektrik fiyatı, $0.073\text{USD} \times 6,40\text{TL/USD} = 0,4672\text{ TL}$ olarak hesaplanmıştır. RES projesinin gider unsurlarını, ilk yatırım maliyeti harcamaları ve sonrasında yatırımın sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için yıllık operasyonel giderler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bu proje de ilk yatırım maliyeti 11.000.000 \$ yani 70.400.000 TL, operasyonel giderler için de 306.000 \$ yani 1.958.400 TL olarak belirlenmiştir. 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 belirtilmektedir. Bu bilgi doğrultusunda bu projede ekonomik ömür (T) 15 yıl olarak alınmıştır. Ekonomik ömür süresinin 15 yıl olması ve proje için normal amortisman oranı kullanılacak olmasından dolayı (1/n), bu projede ki amortisman oranı $(1/15) \cong 0,067 \cong \%6,7$ olarak hesaplanmıştır. Kurumlar Vergisi (KV) oranı olarak ise, Kurumlar Vergisi Kanunu'na eklenen geçici 13. Madde uyarınca "%20 olan kurumlar vergisi oranı 2021 yılı için %25 oranınca uygulanacaktır" ifadesi üzerine, %25 olarak belirlenmiştir. Projede enflasyon oranı olarak, ticari yatırımlar için tercih edilen Tüketici Fiyat Endeksinin (TÜFE) kullanılması uygun görülmüştür. Bunun için

2007-2021 yılları arasındaki 15 yıllık ve her yılın her ayı için "on iki aylık ortalamalara göre değişim oranı" kullanılarak, en son ortalama değer bulunmuştur. Projede hem gelirlerin hem de operasyonel giderlerin yıllık artış oranı olarak kullanıldığı TÜFE oranı %9,90 olarak hesaplanmıştır. Reel indirgeme oranı olarak kullanılan iskonto oranı için herhangi bir şirket esas alınmadığından ülke taban primi ile AOSM hesaplamak ya da Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası'nın (TCMB) yayınladığı altı aylık iskonto faiz oranlarını dalgalanmalardan dolayı kullanmak yerine, %10'luk genel bir iskonto oranı tercih edilmiştir. NBD için kullanılan formül "Eşitlik 1'de gösterilmektedir (Bilir, 2012).

$$A = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{(1+r)^i} \right) - C \quad (1)$$

A, nakit girişlerinin şimdiki değeri toplamını; A_i , yatırımdan sağlanacak net nakit akımları; C, başlangıçtaki yatırımı; r, iskonto oranını; i, yılı ifade etmektedir.

2.2. Black-Scholes Yöntemi ile Değerleme

Reel opsiyonlarla değerlendirme yöntemlerinden Black-Scholes, analitik bir yöntem olmakla birlikte hesaplama ve çözümleme kolaylığı açısından kullanımı en rahat yöntemdir. Black-Scholes'un 1973 yılında opsiyonların fiyatlanması için önerdiği ve o tarihten sonra gerçek yatırım projeleri için de kullanılabilen model aşağıdaki "Eşitlik 2, 3, 4 ve 5"te gösterildiği şekildedir.

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X e^{-r_f T} N(d_2) \quad (2)$$

$$P_0 = X e^{-r_f T} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad (3)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0 / X) + (r_f + \sigma^2 / 2)T}{\sigma \sqrt{T}} \quad (4)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T} \quad (5)$$

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 (volatilesi); r_f , risksiz faiz oranını; $N(d)$, kümülatif standart normal dağılımı ifade etmektedir. Black-Scholes değerlendirme yöntemi için kullanılan parametreler Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Proje parametreleri (Reel opsiyonlar)

Girdi Parametreleri			
1	Yıllık Risksiz Faiz Oranı	r_f	%12,28=0.1228
2	Varlığın Şimdiki Değeri	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

Varlığın şimdiki değerini, NBD hesabında iskonto oranınca indirgenen bugünkü değerlerin toplamı oluşturmaktadır. Varlığın kullanım fiyatını, RES için öngörülen yatırım maliyeti oluştururken, risksiz faiz oranı içinde 2021 yılı için 10 yıllık tahvil oranı kullanılmıştır. Reel opsiyonlarla değerlendirme yöntemlerinde bilinmesi en zor parametre, değişkenliği ifade eden volatilité parametresidir. Bu çalışmada, RES yatırım projesini en çok etkileyen faktörlerinden biri olan birim elektrik fiyatı üzerinden volatilité değeri belirlenmiştir. Her yıl enflasyon oranınca artan birim elektrik fiyatının standart sapmasının bulunmasıyla elde edilmiştir. Tablo 3'te yıllara ait elektrik birim fiyatı ve

hesaplanan volatilité değeri gösterilmektedir.

Tablo 3'te hesaplanan volatilité değeri için kullanılan standart sapma formülü "Eşitlik 6" da, formüle göre volatilité değerinin hesaplanması için çözüm de "Eşitlik 7"de, aşağıda gösterildiği şekildedir (Brigham, 1995).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{2.3265}{14}} = \sqrt{0.1662} = 0.4077 \quad (7)$$

Tablo 3. Volatilité hesabı

	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		

3. Bulgular ve Tartışma

Geleneksel değerlendirme yöntemi ile reel opsiyonlarla değerlendirme yöntemi arasındaki farkları ve üstünlükleri göstermek için yapılan bu çalışma da hesaplanan İNA ve NBD Tablo 4 ve Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5'te görüldüğü üzere RES yatırımına ait NBD - 9.589.499,85 TL olarak negatif değer olarak, projenin bu piyasa şartları altında uygulanabilir olmadığı sonucunu vermiştir. Yatırımın bundan sonra ki aşamasında ekonomik ömür süresince piyasada ki risk ve belirsizliklerin de projeye dahil edildiği reel opsiyonlarla değerlendirme yöntemlerinden Black-Scholes yöntemi ile proje değeri hesaplanmıştır. Tablo 2'de verilen parametre değerlerine göre, 15 yıl vadeli bir RES projesine bugün başlanması durumunda ve Black-Scholes yöntemine göre yapılan hesaplamalar "Eşitlik 8"de gösterildiği gibidir.

$$d_1 = \frac{\ln(60.810.500,05 / 70.400.000) + (0.1228 + (0.4077)^2 / 2)15}{0.4077\sqrt{15}} \quad (8)$$

$$d_1 = 1.8633$$

$$d_2 = 1.8633 - 0.4077\sqrt{15}$$

$$d_2 = 0.2843$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen d_1 ve d_2 parametrelerinin, Ek 1'de gösterilen kümülatif normal standart dağılım tablosundan elde edilen değerleri $N(d_1)=0,9688$ ve $N(d_2)=0,6119$ olarak bulunmuştur. Bu durumda opsiyon değeri "Eşitlik 9" da ki gibidir;

$$C_0 = (60.810.500,15 * 0.9688) - (70.400.000 * e^{(-0.1228 * 15)} * 0.6119) \quad (9)$$

$$C_0 = 52.085.382,91$$

Görüldüğü üzere Black-Scholes değerlendirme yöntemiyle hesaplanan hem opsiyon değeri pozitif hem de geleneksel yöntemle bulduğumuz negatif sonuçlu-9.589.499,85 TL NBD'den büyük çıkmıştır. Geleneksel NBD yöntemiyle elde edilen negatif değer sonucunda, projenin uygulanabilirliği onaylanmamış olup, opsiyon değeriyle birlikte yeni proje değerinin yani GNBD'nin aşağıda gösterildiği gibi pozitif çıkması sağlanarak, RES yatırımının uygulanabilirliğine karar verilmiştir. "Eşitlik 10" da genel GNBD'nin formülü, "Eşitlik 11"de de bu çalışmada ki RES'e ait GNBD gösterilmektedir.

$$\text{Statik NBD+Opsiyon değeri} \quad (10)$$

Tablo 4. İndirgenmiş nakit akışları (İNA) analizi

	Üretim Miktarı(kWh)	Birim Fiyat/TL	Gelir/TL	Giderler/TL	Fvök/TL	Amortisman (-)/TL	Fvök/TL	Vergi %25/TL	Net Faaliyet Kârı/TL
1.Yıl	15.120.000	0,4672	7.064.064	1.958.400	5.105.664	4.693.333,33	412.330,67	103.082,67	309.248,00
2.Yıl	15.120.000	0,5135	7.763.406,34	2.152.281,60	5.611.124,74	4.693.333,33	917.791,41	229.447,85	688.343,56
3.yıl	15.120.000	0,5643	8.531.983,56	2.365.357,48	6.166.626,08	4.693.333,33	1.473.292,75	368.323,19	1.104.969,56
4.yıl	15.120.000	0,6201	9.376.649,94	2.599.527,87	6.777.122,07	4.693.333,33	2.083.788,74	520.947,18	1.562.841,56
5.yıl	15.120.000	0,6815	10.304.938,28	2.856.881,13	7.448.057,15	4.693.333,33	2.754.723,82	688.680,95	2.066.042,87
6.yıl	15.120.000	0,7490	11.325.127,17	3.139.712,36	8.185.414,82	4.693.333,33	3.492.081,48	873.020,37	2.619.061,11
7.yıl	15.120.000	0,8232	12.446.314,76	3.450.543,88	8.995.770,88	4.693.333,33	4.302.437,55	1.075.609,39	3.226.828,16
8.yıl	15.120.000	0,9047	13.678.499,92	3.792.147,73	9.886.352,19	4.693.333,33	5.193.018,86	1.298.254,71	3.894.764,15
9.yıl	15.120.000	0,9942	15.032.671,41	4.167.570,35	10.865.101,06	4.693.333,33	6.171.767,73	1.542.941,93	4.628.825,80
10.yıl	15.120.000	10,927	16.520.905,88	4.580.159,82	11.940.746,06	4.693.333,33	7.247.412,73	1.811.853,18	5.435.559,55
11.yıl	15.120.000	12,008	18.156.475,56	5.033.595,64	13.122.879,92	4.693.333,33	8.429.546,59	2.107.386,65	6.322.159,94
12.yıl	15.120.000	13,197	19.953.966,64	5.531.921,61	14.422.045,03	4.693.333,33	9.728.711,70	2.432.177,92	7.296.533,78
13.yıl	15.120.000	14,504	21.929.409,34	6.079.581,85	15.849.827,49	4.693.333,33	11.156.494,16	2.789.123,54	8.367.370,62
14.yıl	15.120.000	15,939	24.100.420,86	6.681.460,45	17.418.960,41	4.693.333,33	12.725.627,08	3.181.406,77	9.544.220,31
15.yıl	15.120.000	17,517	26.486.362,53	7.342.925,03	19.143.437,50	4.693.333,33	14.450.104,17	3.612.526,04	10.837.578,13

Tablo 5. Net bugünkü değer (NBD) tablosu

	Net Kâr + Amortisman	Yatırım Tutarı	Net Nakit Akım	İndirgeme Oranı	Bugünkü Değer	Net Bugünkü Değer
Başlangıç		-70.400.000	-70.400.000		-70.400.000	
1.Yıl	5.002.581,33		5.002.581,33		4.547.801,21	
2.Yıl	5.381.676,89		5.381.676,89		4.447.666,85	
3.yıl	5.798.302,89		5.798.302,89		4.356.350,78	
4.yıl	6.256.174,89		6.256.174,89		4.273.051,63	
5.yıl	6.759.376,20		6.759.376,20		4.197.040,81	
6.yıl	7.312.394,44		7.312.394,44		4.127.656,03	
7.yıl	7.920.161,49		7.920.161,49		4.064.295,17	(60.810.500,15-70.400.000)=-9.589.499,85
8.yıl	8.588.097,48		8.588.097,48	%10,00	4.006.410,86	TL
9.yıl	9.322.159,13		9.322.159,13		3.953.505,49	
10.yıl	10.128.892,88		10.128.892,88		3.905.126,68	
11.yıl	11.015.493,27		11.015.493,27		3.860.863,19	
12.yıl	11.652.367,11		11.989.867,11		3.820.341,16	
13.yıl	13.060.703,95		13.060.703,95		3.783.220,71	
14.yıl	14.237.553,64		14.237.553,64		3.749.192,86	
15.yıl	15.530.911,46		15.530.911,46		3.717.976,72	

$$GNBD = -9.589.499,85 + 52.085.382,91$$

$$GNBD = 42.495.883,06$$

(11)

Her iki yöntemle de elde edilen sonuçlara bakıldığında reel opsiyonlarla yapılan değerlemenin geleneksel yöntemle göre üstünlüğü negatif çıkan proje değerinin pozitif çıkmasıyla görülmektedir. Bu durum sadece RES'ler için değil, diğer yenilenebilir enerji santralleri ve farklı yatırım projeleri için de değerlendirilmesi gereken bir durumdur. Hem geleneksel yöntemlerle hem de reel opsiyonlar yöntemleriyle değerlendirme de analitik ve simülasyonlar gibi farklı yöntemlerin kullanımına da literatürde sıkça rastlanmaktadır. Tablo 6'da reel opsiyonlar değerlendirme yöntemleri ile farklı yenilenebilir enerji santralleri için yapılan proje değerlendirme çalışmaları gösterilmektedir. Tablo'da değerlendirme üzerine geleneksel değerlendirme yöntemlerinin tercih edilmesi yerine farklı reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinin kullanımının literatürde geniş bir kullanım alanına sahip olduğu da görülmektedir. Bu RES projesinde olduğu gibi geleneksel yöntemlerin yerine yatırımcıya daha esnek çözümler sunabilen, risk ve belirsizlik durumlarını göz ardı etmeden değerlemeye dahil eden reel opsiyonlar, yatırım için daha onaylanabilir ve uygulanabilir sonuçlar vererek, geleneksel yöntemlere oranla daha çok tercih edilebilir.

4. Sonuç

Yatırım değerlemesinde sıklıkla kullanılan geleneksel yöntemlerle negatif sonuç elde edilmesi ile birlikte, opsiyon değerinin yatırım hesaplamasında kullanılması projeyi onaylanabilir duruma getirmiştir. Birim elektrik fiyatının, enflasyon oranının bunlara bağlı olarak gelir miktarının ve maliyetlerin yıllara göre değişimi, 15 yıl içerisinde çeşitli risk ve belirsizlere maruz kalarak yatırım sonunda ki kâr miktarını değiştirebilen faktörlerdir. Bu durumun öngörülebilmesi için sabit bir iskonto oranı yerine risk ve belirsizler için risksiz faiz oranı, değişken durumlar içinde volatilité değerinin projeye dahil edilmesinin yatırıma daha sayısal olarak ta olumlu bir bakış açısı kazandırdığı görülmektedir. Bu proje de NBD'nin negatif çıktığı durum da, opsiyon değeriyle pozitif proje değerinin edildiği gösterilmiştir. NBD'si pozitif çıkan bir yatırım projesi içinde, opsiyon değerinin eklenmesiyle proje değeri yine daha kârlı olabilecek bir proje değeri verecektir. Buradan sadece negatif sonuçlu NBD elde edilen projeler için değil pozitif sonuçlu olabilecek yatırım projeleri için de reel opsiyonların kullanımının önemli olduğu belirtilmektedir. Bir başka sonuç olarak ta, geleneksel yöntemlerin büyük yatırımlı projelerin değerlendirilmesinde kullanımının yetersiz kaldığı ve belirsizliklere çözüm

sağlayacak reel opsiyonlar değerlendirme yöntemlerinin yatırımcı için daha çözüm odaklı ve olumlu sonuçlar verdiği sonuca varılarak, kullanımlarının akademik

çalışmalarda olduğu kadar yatırım değerlemede de kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 6. Reel opsiyonlar değerlendirme yöntemlerinin yenilenebilir enerji tesislerinde ki kullanımı

Yazar	Yıl	Ülke	Proje Tipi	Değerleme Yöntemi
Anderson R. C., Weersink A.	2014	Amerika	Bioenerji	Black-Scholes
Bruno S., Ahmed S., Shapiro A., Street A.	2016	Brezilya	Hidroelektrik Rüzgâr Enerjisi	Black-Scholes
De Mare G., Manganelli B., Nesticò A.	2013	İtalya	Rüzgâr Enerjisi	Monte Carlo Simülasyonu Black-Scholes
Eissa M. A., Tian B.	2017	Mısır	Güneş Enerjisi	Monte Carlo Simülasyonu
Fleten S. E., Linnerud K., Molnár P., Nygård M. T.	2016	Norveç	Hidroelektrik Enerji	Binomial
Fleten S. E., Molnár P., Nygård M.T., Linnerud, K.	2016	Norveç	Hidroelektrik Enerji	Black-Scholes
Jeon C., Lee J., Shin J.	2015	Kore	Güneş Enerjisi	Monte Carlo Simülasyonu Black-Scholes
Kim K. T., Lee D. J., Park, S. J.	2014	Kore	Rüzgâr Enerjisi	Binomial
Kitzing L., Juul N., Drud M.	2017	Baltık Denizi	Rüzgâr Enerjisi	Black-Scholes
Li Y., Tseng C. L., Hu G.	2015	Amerika	Bioenerji	Black-Scholes
Monjas-Barroso, M., Balibrea-Iniesta, J.	2013	Danimarka Finlandiya	Rüzgâr Enerjisi	Binomial Black-Scholes
Sisodia G. S., Soares I., Ferreira P.	2016	İspanya Portekiz	Rüzgâr Enerjisi	Monte Carlo Simülasyonu Black-Scholes
Sisodia G. S., Soares I., Ferreira P., Banerji S., Prasad R.	2015	İspanya	Rüzgâr Enerjisi	Monte Carlo Simülasyonu Black-Scholes
Torani K., Rausser G., Zilberman D.	2016	Amerika	Güneş Enerjisi	Black-Scholes

Katkı Oranı Beyanı

Konsept: D.B. (%40), F.A.S. (%30) ve P.K. (%30), Tasarım: D.B. (%40), F.A.S. (%30) ve P.K. (%30), Denetim: D.B. (%40), F.A.S. (%30) ve P.K. (%30), Veri toplama ve/veya işleme: D.B. (%40), F.A.S. (%30) ve P.K. (%30), Veri analizi ve/veya yorumlama: D.B. (%40), F.A.S. (%30) ve P.K. (%30), Kaynak taraması: D.B. (%40), F.A.S. (%30) ve P.K. (%30), Yazım: D.B. (%40), F.A.S. (%30) ve P.K. (%30), Eleştirel inceleme: D.B. (%40), F.A.S. (%30) ve P.K. (%30), Gönderim ve revizyon: D.B. (%40), F.A.S. (%30) ve P.K. (%30). Tüm yazarlar makalenin son halini incelemiş ve onaylamıştır.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma sorumlu yazarın "Reel Opsiyonlarla Yenilenebilir Enerji Tesislerinin Değerlemesi" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Abadie LM, Chamorro JM. 2014. Valuation of wind energy projects: a real options approach. *Energies*, 7(5): 3218-3255.
- Anderson RC, Weersink A. 2014. A real options approach for the investment decisions of a farm-based anaerobic digester. *Canadian J Agri Econ*, 62: 69-87.
- Bilir H. 2012. Enerji yatırım projelerinin değerlendirilmesinde reel opsiyon yaklaşımı. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, Türkiye, pp.30.
- Black F, Scholes M. 1973. The pricing of options and corporate liabilities. *J Polit Econ*, 81(3): 637-654.
- Brandao LE, Dyer JS, Hahn WJ. 2005. Using binomial decision trees to solve real-option valuation problems. *Decis Anal*, 2(2): 69-88.
- Brigham E. 1995. *Fundamentals of Financial Management*, 7th Ed., The Dryden Press, New York, US.
- Bruno S, Ahmed S, Shapiro A, Street A. 2016. Risk neutral and risk averse approaches to multistage renewable investment planning under uncertainty. *European J Oper Res*, 250(3): 979-989.
- Chambers N. 2005. Gerçek opsiyonların fiyatlandırılması. *Muhas Finans Derg*, 26: 70-80.
- Colwell D, Henker T, Ho J, Fong K. 2002. Real options valuation of Australian gold mines and mining companies. *J Alter Invest*, 6(1): 23-38.

- Çalışkan M. 2020. Türkiye rüzgâr enerji potansiyeli. URL: https://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/retsseminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf (erişim tarihi: 20 Eylül 2021).
- De Mare G, Manganelli B, Nestico A. 2013. The economic evaluation of investments in the energy sector: a model for the optimization of the scenario analyses. *Comput Sci Its Appl*, 2013: 359-374.
- Dzyuma U. 2012. Real options compared to traditional company valuation methods: possibilities and constraints their use. *Financ Internet Quart*, 8(2): 51-68.
- Eissa MA, Tian B. 2017. Lobatto-Milstein numerical method in application of uncertainty investment of solar power projects. *Energies*, 10(1): 43.
- Fernandes B, Cunha J, Ferreira P. 2011. The use of real options approach in energy sector investments. *Renew Sust Energy Rev*, 15(9): 4491-4497.
- Fleten SE, Linnerud K, Molnar P, Nygard MT. 2016. Green electricity investment timing in practice: real options or net present value? *Energy*, 116(1): 498-506.
- Fleten SE, Molnar P, Nygard MT, Linnerud K. 2016. Green certificates and investments in small hydro power plants. 13th International Conference on the European Energy Market, 6-9 June 2016, Porto, Portugal, pp: 1-6.
- Jeon C, Lee J, Shin J. 2015. Optimal subsidy estimation method using system dynamics and the real option mode: photovoltaic technology case. *App Energy*, 142: 33-43.
- Kapucugil İ. 2009. Bilişim teknolojisi projelerinde reel opsiyonlar. *Dokuz Eylül Üniv Sos Bil Enst Derg*, 11(4): 17-51.
- Kim KT, Lee DJ, Park SJ. 2014. Evaluation of R&D investments in wind power in Korea using real option. *Renew Sustain Energy Rev*, 40: 335-347.
- Kitzing L, Juul N, Drud M, Boomsina TK. 2017. A real options approach to analyse wind energy investments under different support schemes. *App Energy*, 188: 83-96.
- Li Y, Tseng CL, Hu G. 2015. Is now a good time for Iowa to invest in cellulosic biofuels? A real options approach considering construction lead times. *Int J Prod Econ*, 167: 97-107.
- Monjas-Barroso M, Balibrea- Iniesta J. 2013. Valuation of projects for power generation with renewable energy: A comparative study based on real regulatory options. *Energy Pol*, 55: 335-352.
- Mun J. 2006. Real options analysis tools and techniques for valuing strategic investments and decisions. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, US, pp: 704.
- Özcan D. 2013. Muğla bölgesinde örnek bir rüzgâr elektrik santrali(res) yatırımı ve res yatırımında reel opsiyonların kullanımı üzerine bir inceleme. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Muğla, Türkiye, pp: 82.
- Safarov S. 2009. Yatırım projelerinin değerlendirilmesi reel opsiyon yöntemi ve enerji sektöründe bir uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Finansman Programı, İzmir, Türkiye, pp: 98.
- SBB. 2021. 2020-2022 Dönemi Yatırım Programı Hazırlama Rehberi. URL: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/10/2020/2022_Donemi_Yatirim_Programi_Hazirlama_R_ehberi.pdf (erişim tarihi: 01 Ekim 2021).
- Schulmerich M. 2010. Real options valuation the importance of interest. Second Ed., Springer, Munich, Germany, pp: 387.
- Sisodia GS, Soares I, Ferreira P, Banerji S, Prosad R. 2015. Projected business risk of regulatory change on wind power project: case of Spain. *Energy Procedia*, 79: 1054-1060.
- Sisodia GS, Soares I, Ferreira P. 2016. Modeling business risk: The effect of regulatory revision on renewable energy investments- The Iberian case. *Renew Energy*, 95: 303-313.
- Torani K, Rausser G, Zilberman D. 2016. Innovation subsidies versus consumer subsidies: A real options analysis of solar energy. *Energy Pol*, 92: 255-269.
- Uzunlar E, Aktan M. 2000. Finansal opsiyonlar, gerçek opsiyonlar ve uygulamaları. Gazi Kitabevi, Ankara, Türkiye, pp: 85.