

Reel opsiyonlar teorisinin enerji sektöründeki yatırım değerlemelerine uygulanması: Jeotermal enerji santrali üzerine bir vaka analizi¹

Application of real options theory to energy sector investment valuations: A case study on a geothermal power plant

¹ Bu makale, Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde Prof. Dr. Burcu Dinçergök danışmanlığında Hasan Burak Basar tarafından yürütülmekte olan doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

Hasan Burak Basar¹ 

Burcu Dinçergök² 

¹ Doktora Öğrencisi, Atılım Üniversitesi, Ankara, Türkiye, hbbasar@vatecco.com

ORCID: 0000-0001-5970-0376

² Prof. Dr, Atılım Üniversitesi, Ankara, Türkiye, burcu.dincergok@atilim.edu.tr

ORCID: 0000-0002-7050-8163

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Hasan Burak Basar,

Atılım Üniversitesi, Ankara, Türkiye,

hbbasar@vatecco.com

Öz

Enerji sektörü, yüksek sermaye gereksinimi ve piyasa belirsizlikleri gibi dinamiklere sahiptir. Yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomik değerlendirilmesinde geleneksel İndirgenmiş Nakit Akışları ve Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemleri, yönetsel esnekliği modellemekte yetersiz kalmaktadır. Bu durum projelerin değerinin düşük tahmin edilmesine yol açabilmektedir. Reel opsiyonlar teorisi, erteleme gibi esnekliklerin değerini ölçen analitik bir çerçeve sunar. Bu çalışmada, negatif NBD değerine sahip bir jeotermal enerji santrali (JES) yatırım projesinin erteleme opsiyonu analiziyle nasıl fizibil hale gelebileceği incelenmiştir. Geleneksel yöntemle göre -654.394.201 TL olan NBD, erteleme opsiyonunun dahil edilmesiyle Genişletilmiş Net Bugünkü Değer (GNBD) olarak +374.012.236 TL seviyesine ulaşmıştır. Bulgular, erteleme opsiyonu yaklaşımının belirsizlik ve zamanlama unsurlarını dikkate alarak esnek bir yatırım değerlendirmesi sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Reel Opsiyonlar, Jeotermal Enerji, Net Bugünkü Değer, Yatırım Değerleme, Black-Scholes Modeli

JEL Kodları: G17, G31

Abstract

The energy sector is characterized by high capital requirements and market uncertainties. Traditional Discounted Cash Flow (DCF) and Net Present Value (NPV) methods fall short in modeling managerial flexibility for renewable energy investments, often underestimating project value. Real options theory addresses this by offering an analytical framework to measure flexibilities such as deferral. This article examines how a geothermal power plant (GPP) investment project with a negative NPV can become economically feasible through real options analysis. While the traditional NPV was found to be -654.394.201 TL, the inclusion of the deferral option increased the Expanded Net Present Value (ENPV) to +374.012.236 TL. The findings demonstrate that the real options approach provides a flexible investment evaluation by incorporating uncertainty and timing.

Keywords: Real Options, Geothermal Energy, Net Present Value, Investment Valuation, Black-Scholes Model

JEL Codes: G17, G31

Başvuru/Submitted: 15/06/2026

1. Revizyon/1st Revised: 11/08/2026

2. Revizyon/2nd Revised: 10/09/2026

Kabul/Accepted: 21/09/2026

Yayın/Online Published: 25/09/2026

Atıf/Citation: Basar, H. B., & Dinçergök, B., Reel opsiyonlar teorisinin enerji sektöründeki yatırım değerlemelerine uygulanması: Jeotermal enerji santrali üzerine bir vaka analizi, bmij (2026) 14 (3): 1681-1698, doi: <https://doi.org/10.15295/bmij.v14i3.2829>

Extended Abstract

Application of real options theory to investment valuations in the energy sector: A case study on a geothermal power plant

Research subject

This article aims to contribute to the decision-making processes of geothermal power plant investments and seeks to make accurate decisions by comparing traditional discounted cash flow (DCF)-based net present value analysis with real options valuation methods. To this end, the net present values of geothermal power plant investments were analyzed by comparing traditional discounted cash flow methods with real options methods.

Research purpose and importance

This study is important because it helps geothermal power plant investors or decision-makers to evaluate geothermal power plant investments by jointly considering static net present value and managerial flexibility captured through real options.

Contribution of the article to the literature

Although real options have been applied to energy investments, studies focusing specifically on geothermal power plant investments under the Turkish regulatory framework remain limited. It is thought that this study will make a significant contribution to the literature.

Design and method

The research design is quantitative. The study employs a valuation-based analytical framework combining discounted cash flow analysis and real options valuation using the Black-Scholes model.

Research type

This study is an applied quantitative research article.

Research problems

Countries want to invest in different energy sectors to benefit from the advantages of energy diversity. One of these investments is geothermal power plants. Investors and decision-makers aim to evaluate the economic feasibility and value of geothermal power plant investments under uncertainty and determine what the net present value of the investment will be when planning to invest in this field. Accordingly, this study aims to determine the extent to which the option effect influences the net present value.

Data collection method

The study utilizes secondary data obtained from official government reports, regulatory documents, and previous empirical studies and related government institutions reports.

Quantitative/qualitative analysis

The analysis is based on deterministic cash flow projections and analytical real options valuation.

Research model

The research model is a comparative valuation framework based on NPV and real options analysis that tests the hypotheses listed below.

Research hypotheses

The hypotheses regarding the variables that are believed to affect the geothermal energy investments:

H1: Incorporating real options increases project value over traditional NPV.

H2: Under high uncertainty, traditional NPV systematically underestimates project value.

Suggestions based on results

According to the results of the study, it has been determined that the inclusion of real option value increases the overall project valuation of geothermal power plant investments. It is recommended that future studies revisit the model with additional variables in different provinces and compare the results.

Limitations of the article

The research has constraints limited by deterministic assumptions, a single case application covering the 2015–2026 strategic energy policy period, and sector-specific data.

Giriş

Enerji kaynakları, farklı yöntem ve tekniklerle elde edilen enerji türlerini ifade eder. Bu kaynaklar, dönüştürülebilirliklerine göre birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılırken; sürdürülebilirlik açısından yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak da ayrılmaktadır. Birincil enerji kaynakları, doğrudan doğadan elde edilen ve herhangi bir işleme tabi tutulmamış enerji türleridir. İkincil enerji kaynakları ise birincil enerji kaynaklarının işlenmesi ve dönüştürülmesi sonucu ortaya çıkar. Yenilenemeyen enerji kaynakları, doğada sınırlı miktarda bulunan ve başka bir kaynak tarafından üretilmeyen, dolayısıyla tükenme riski taşıyan kaynaklardır. Buna karşılık, Ersen vd. (2023) ve Koç ile Şenel'in (2013) belirttikleri üzere yenilenebilir enerji kaynakları, doğada sürekli var olan ve kendini yenileyebilen kaynaklardır.

Günümüzde fosil yakıt kullanımı yüksek seviyelerde devam etmekle birlikte, Mohr ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları fizibilite çalışmaları doğalgaz dışındaki fosil yakıtların 2025 sonrası önemli ölçüde azalacağını öngörmektedir.

Küresel ölçekte yaşanan iklim değişikliği, fosil yakıt kaynaklarının tükenme riski ve enerji arz güvenliği ihtiyacı, dünya genelinde ve Türkiye'de enerji politikalarının merkezine yenilenebilir enerji kaynaklarını yerleştirmiştir. Son yıllarda ivme kazanan enerji dönüşümü sürecinde dünyadaki toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü 4.400 GW seviyesini aşarken, küresel elektrik üretim kapasitesi artışının büyük bölümü temiz enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) tarafından 2024 yılında paylaşılan verilere göre bu dönüşümün dinamik bir parçası olan Türkiye, yenilenebilir enerji hamlesiyle toplam elektrik kurulu gücünü 125.000 MW'ın üzerine çıkarmış; 1978'den 2025'e uzanan süreçte kurulu gücünü 40 katın üzerinde artırmıştır. Günümüzde Türkiye, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ile Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından 2024 yılında açıklanan raporlar doğrultusunda, toplam kurulu gücünün %60'tan fazlasını hidroelektrik, rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyokütle gibi sürdürülebilir kaynaklardan elde eder konuma ulaşmıştır.

Yenilenebilir enerji portföyü içerisinde jeotermal enerji; mevsimsel ve hava koşullarından etkilenmeyen, 7/24 kesintisiz üretim yapabilen baz yük santral yapısı ve yüksek kapasite faktörü ile stratejik bir konuma sahiptir. Nitekim Akkuş ve Yılmaz'ın 2023 yılındaki çalışması ile Şimşek'in 2022 yılındaki değerlendirmesinde vurgulandığı üzere, Türkiye 2000'li yılların başında yalnızca 15-18 MW seviyelerinde olan jeotermal kurulu gücünü; Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) teşvikleri, mevzuat düzenlemeleri ve özel sektör yatırımlarının etkisiyle 1.700 MW'ın üzerine taşımıştır. Jeotermal Elektrik Santral Yatırımcıları Derneği'nin (JESD) 2024 yılı kayıtlarında yer alan bu olağanüstü gelişim performansı sayesinde Türkiye; ABD, Endonezya ve Filipinler'in ardından jeotermal kurulu gücünde dünyada 4. sıraya yükselerek küresel ölçekte öncü bir aktör konumuna gelmiştir. Bu küresel başarı, Uluslararası Jeotermal Birliği'nin (IGA) 2023 tarihli verileri ve ThinkGeoEnergy platformunun 2024 yılı değerlendirmeleriyle de desteklenmektedir.

TEİAŞ'ın 2024 yılı güncel verileri incelendiğinde, jeotermal enerjinin Türkiye'deki toplam kurulu güç içindeki payı yaklaşık %1,4; yenilenebilir kurulu güç içindeki payı ise %2,2 civarındadır. Düşük görünen bu orana rağmen kaynak, yüksek verimliliği ve sürekli üretim kabiliyeti sayesinde ETKB'nin 2024 verilerine kıyasla ülke toplam elektrik üretiminin yaklaşık %3'ünü tek başına karşılamaktadır. Bununla birlikte, JESD'in 2024 raporlarında altı çizildiği üzere, 2010-2020 döneminde yaşanan hızlı büyüme ivmesi, son dönemde yüksek arama-sondaj maliyetleri, finansman koşulları ve çevresel lisanslama süreçlerinin etkisiyle daha kararlı fakat yavaş bir seyir izlemeye başlamıştır. Ayrıca Şimşek'in 2022 yılındaki araştırmasında belirttiği gibi, jeotermal kaynağın konut ısıtması, sera yetiştiriciliği ve termal turizm gibi doğrudan kullanım alanlarındaki yüksek potansiyeli de bu enerjinin çok yönlü değerlendirilmesine imkân tanımaktadır.

Bu çalışma; dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerjinin mevcut durumunu genel hatlarıyla ele alırken, jeotermal enerjinin tarihsel gelişimini, toplam ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki güncel payını ve sektörel potansiyelini bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Yatırım projelerinin ekonomik fizibilitesini değerlendirmek için geleneksel olarak kullanılan İNA ve bu yaklaşıma dayanan NBD gibi yöntemler, gelecekteki nakit akışlarını belirli bir iskonto oranıyla bugüne indirgeyerek projenin değerini hesaplar. Ancak bu yöntemler, projenin yaşam döngüsü boyunca yönetimin değişen piyasa koşullarına uyum sağlama yeteneğini, yani stratejik esnekliğini göz ardı ederler. Pasif bir yönetim anlayışını varsayan bu yaklaşımlar, bir projenin yatırımı yapıldıktan sonra önceden belirlenmiş bir yolda ilerleyeceğini kabul eder. Bu durum, özellikle belirsizliğin yüksek olduğu enerji sektöründe, projelerin gerçek değerinin altında tahmin edilmesine ve potansiyel olarak kârlı yatırım fırsatlarının kaçırılmasına neden olabilir.

Bu noktada, 1984 yılında Myers tarafından ortaya atılan reel opsiyonlar teorisi, geleneksel İNA yaklaşımlarının büyük bütçeli yatırımlara stratejik yaklaşım eksikliklerini gidermek için güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Finansal piyasalardaki opsiyon sözleşmelerinin mantığını reel varlık yatırımlarına uyarlayan bu teori, bir yatırım projesini bir opsiyon olarak ele alır. Proje için erteleme, genişleme, daraltma, terk etme veya teknoloji değiştirme gibi esneklikler, birer reel opsiyon olarak tanımlanır ve bu opsiyonların değeri, projenin toplam değerine dahil edilir. Bu sayede, yönetim esnekliğinin ve belirsizliğin yarattığı stratejik değer ölçülebilir hale gelir.

Yenilenebilir enerji yatırımlarının değerlemesinde reel opsiyonlar teorisinin kullanımı uluslararası literatürde hidroelektrik, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi alanlarda farklı metodolojilerle (Monte Carlo Simülasyonu, Binomiyal Yöntem vb.) sıklıkla çalışılmıştır. Monjas-Barraso ve Balibrea-Iniesta (2013), Santos vd. (2014) ve Loncar vd. (2017) çalışmalarında, bu yöntemlerin yenilenebilir enerji projelerinin esneklik değerini ve belirsizlik altındaki yatırım kararlarını nasıl optimize ettiğini ortaya koymuştur. Ancak mevcut çalışmalar incelendiğinde, Türkiye'nin kendine özgü teşvik ve regülasyon yapısı altında JES yatırımlarına odaklanan araştırmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu kapsamda, öncelikle geçmişte yapılmış olan çalışmalardan bilgiler paylaşılacak, akabinde çalışmada kullanılacak olan temel değerlendirme yöntemleri açıklanacaktır. Ardından, teori, negatif NBD değerine sahip olduğu hesaplanan bir JES yatırım projesine uygulanacaktır. Bu araştırmanın temel amacı; Türkiye'deki kendine özgü teşvik ve regülasyon yapısı altında, geleneksel statik yöntemlerle "kârsız" kabul edilen bir JES yatırımının, reel opsiyonlar teorisi (Black-Scholes modeli) ile içsel esnekliklerin dahil edilmesi sonucunda nasıl rasyonel bir yatırıma dönüşebileceğini somut bir vaka üzerinden incelemektir. Bu doğrultuda temel araştırma sorumuz, "Yatırım esnekliğinin ve belirsizliklerin jeotermal enerji yatırımlarının finansal değerlemesine ve karar süreçlerine etkisi nedir?" şeklinde belirlenmiştir. Çalışma kapsamında test edilecek hipotezler ise şunlardır:

H1: Reel opsiyonların modele dahil edilmesi, geleneksel NBD yöntemine kıyasla proje değerini artırmaktadır.

H2: Yüksek belirsizlik koşulları altında geleneksel NBD yöntemi, proje değerini sistematik olarak eksik tahmin etmektedir.

Bu çalışma, söz konusu sınırlılıkları aşmak amacıyla JES vaka analizi üzerinden alana şu özgün katkıları sunmaktadır:

- Geleneksel-Reel Opsiyon Karşılaştırmalı Fizibilite Mimarisi: Geleneksel İNA/NBD yaklaşımıyla negatif net bugünkü değere ulaşan bir JES projesinin, finansal opsiyon mantığının reel varlıklara uygulanması (erteleme opsiyonu) vasıtasıyla nasıl ekonomik olarak sürdürülebilir hale gelebileceği nicel olarak ortaya konmuştur.
- Erteleme Opsiyonu Odaklı Sentez ve Seçilen Yöntem Gerekçesi: Çalışmada erteleme opsiyonu, projenin yatırım zamanlamasına içkin bir esneklik olarak ele alınmıştır. Değerleme yöntemi olarak Black-Scholes Modeli'nin seçilme gerekçesi; modelin jeotermal yatırımlara özgü volatilité ve risk parametrelerini, yönetsel erteleme esnekliğiyle doğrudan ilişkilendiren analitik ve net bir değerlendirme çerçevesi sunmasıdır.
- Piyasa ve Stratejik Karar Odaklı Katkı: Çalışmanın bulguları, enerji sektöründeki yatırımcıların riskten kaçınma ve optimal zamanlama stratejilerine yön verirken; kamu politika yapımcıları için de yenilenebilir enerji alanındaki teşvik ve düzenleme mekanizmalarının sürdürülebilir tasarımı adına somut bir analitik araç sunmaktadır. Çalışma kapsamında test edilen H1 ve H2 hipotezleri, bu vaka analizi sınırları dâhilindeki gözlemler ve yorumlar olarak ele alınmıştır.

Literatür taraması

Yenilenebilir enerji projelerinin fizibilite değerlendirmelerinde; piyasa fiyatları, hammadde/yatırım maliyetleri ve yasal düzenlemelerden kaynaklanan belirsizlikleri dinamik bir yapıda modele dahil eden Reel Opsiyonlar Analizi (ROA), geleneksel NBD yönteminin statik ve muhafazakar yapısına karşı güçlü bir alternatif sunmaktadır. Literatürdeki çalışmalar metodolojik ve ampirik açılardan incelendiğinde; opsiyon türleri ve yönetsel esneklikler, sayısal modelleme teknikleri ile kamu politikaları ve bölgesel dinamikler olmak üzere üç temel tema etrafında şekillenmektedir.

1. Opsiyon Türleri ve Yönetsel Esneklikler Açısından Tematik Sentez.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, yönetsel esnekliklerin ele alınış biçiminde belirgin bir hiyerarşi ve odak farkı görülmektedir.

- Bekleme/Erteleme Esnekliği: Literatürdeki araştırmaların büyük bir kısmı, Anderson ve Weersink (2014), Liu vd. (2019), Penizzotto vd. (2019) ve Zhang vd. (2016) çalışmalarında ele alındığı üzere, yatırımı erteleme opsiyonuna odaklanmıştır. Bu gruptaki çalışmaların ortak bulgusu; piyasa ve teşvik belirsizliklerinin yüksek olduğu dönemlerde "bekleyip gör" esnekliğinin statik Net Bugünkü Değere kıyasla kayda değer bir GNBD ürettiğidir. Erteleme süresinin optimal uzunluğunun tesisin ölçeğine ve piyasadaki dalgalanma şiddetine göre değiştiği ise Moon ve Baran (2018) ile Ersen vd. (2023) tarafından ortaya konulmuştur.
- Ölçek Ayarlama ve Risk Sınırlama (Genişleme ve Terk Etme): Erteleme opsiyonunun aksine, projenin işletme safhasındaki esneklikleri inceleyen çalışmalar genişleme ve terk etme opsiyonlarına odaklanmaktadır. Kitzing vd. (2017) ve Gupta (2021) çalışmalarında vurgulandığı üzere, genişleme opsiyonu olumlu piyasa koşullarında kapasite artırımı imkânı tanımaktadır. Öte yandan Aquila vd. (2020) tarafından belirtildiği gibi terk etme opsiyonu, olumsuz senaryolarda projenin tasfiyesiyle zararı sınırlandıran aşağı yönlü bir risk yönetimi aracı işlevi görmektedir.
- Bileşik ve Ardışık Yapılar: Tekil opsiyonların yetersiz kaldığını savunan araştırmacılar, Loncar vd. (2017) ve Wang vd. (2022) çalışmalarında ifade edildiği üzere, erteleme, büyüme ve kademeli yatırım esnekliklerini bileşik/ardışık (compound/sequential) opsiyon mimarisiyle ele alarak yatırımın tüm yaşam döngüsünü bütünleşik bir çerçevede modellemiştir.

Ayrışan ve Eksik Yönler: Literatürde erteleme opsiyonu geniş kabul görmekle birlikte, jeotermal enerji gibi yüksek arama/sondaj riski ve uzun yatırım süreci içeren spesifik yenilenebilir kaynaklarda erteleme, genişleme ve terk etme esnekliklerini eş zamanlı inceleyen bütünleşik çalışmalar oldukça kısıtlıdır.

2. Modelleme Teknikleri ve Metodolojik Yaklaşımlar Açısından Tematik Sentez

Reel opsiyonların değerlendirilmesinde kullanılan analitik ve sayısal yöntemler; hesaplama karmaşıklığı, veri ihtiyacı ve varsayımsal esneklik açısından farklı kategorilerde değerlendirilmektedir:

- Stokastik ve Kesikli Modeller (MCS ve Binomiyal): Monjas-Barroso ve Balibrea Iniesta (2013) çalışmalarında gösterildiği üzere, deneme ve düğüm sayısı arttıkça Monte Carlo Simülasyonu (MCS) ile Binomiyal Ağaç modelleri birbirine yakın ve gerçekçi sonuçlar üretmektedir.
- Fiyat Süreçlerinin Karşılaştırılması (Geometrik Brownian Hareketi vs. Ortalamaya Geri Dönüş): Fiyat dinamiklerinin modellenmesinde Geometrik Brownian Hareketi ile Ortalamaya Geri Dönüş süreçleri kıyaslanmış; Brandao vd. (2013) ve Detert ve Kotani (2013) çalışmalarında savunulduğu üzere Geometrik Brownian Hareketi'nin esneklikleri değerlendirmede daha yüksek ve esnek opsiyon değerleri ürettiği ortaya konulmuştur.
- İleri ve Analitik Yöntemler: Ersen vd. (2023) çalışmalarında vurgulandığı üzere, veri kısıtı ve tereddüt içeren belirsizlikleri aşmak adına Sezgisel Bulanık Trinomial modeller tercih edilmektedir. Öte yandan analitik çözümlerde Eissa ve Tian (2017) tarafından belirtildiği gibi L3C2M gibi pratik yöntemler Monte Carlo Simülasyonu'na işlem süresi üstünlüğü sağlamaktadır.
- Sürekli Zamanlı Modeller (Black-Scholes): Fleten vd. (2016) ve Liu vd. (2019) çalışmalarında belirtildiği üzere, finansal opsiyon kökenli Black-Scholes modeli, özellikle zamanlama kararlarındaki analitik netliği ve parametrik duyarlılık analizlerine imkân tanınması nedeniyle yatırım fizibiliterinde etkin bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Ayrışan ve Eksik Yönler: Metodolojik araştırmalar çoğunlukla simülasyon bazlı (Monte Carlo Simülasyonu ve Binomiyal) karmaşık yaklaşımlara odaklanmış; ancak parametrik risklerin analitik olarak net tanımlanabildiği vaka analizlerinde Black-Scholes gibi kapalı formül çözümlerinin sunduğu pratik ve duyarlı değerlendirme kapasitesi gölgede kalmıştır.

3. Kamu Politikaları, Teşvikler ve Bölgesel Dinamikler Açısından Tematik Sentez

Kamu müdahaleleri ve yasal düzenlemelerin yatırımlar üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar ampirik olarak ortak bir noktada birleşmektedir:

- Teşviklerin NBD'ye Etkisi: Tarife garantileri, yeşil sertifikalar ve yerli aksam destekleri gibi mekanizmalar, statik NBD değeri negatif olan projeleri dahi kârlı ve fizibil hale getirebilmektedir.

- Bölgesel ve Yasal Düzenleme Riskleri: Türkiye örneğinde yerli aksam teşviklerinin opsiyon değerini belirgin şekilde artırdığı Onar ve Kılavuz (2015) tarafından saptanmıştır. Bununla birlikte, Sisodia vd. (2015) ile Balibrea-Iniesta (2020) çalışmalarında gösterildiği üzere, İspanya ve Fransa'daki yasal düzenleme değişiklikleri projelerin fizibilite dengelerini doğrudan değiştirmektedir. Ayrıca coğrafi ve iklimsel faktörler (ısınım, jeotermal akış vb.) ile devlet desteklerinin etkileşimli yapısı, Di Bari (2020) tarafından vurgulandığı gibi opsiyon değerini doğrudan yönlendirmektedir.

Ayrışan ve Eksik Yönler: Literatürde genel teşvik mekanizmaları sıklıkla çalışılmış olsa da, teşviklerin ve doğal kaynağa dayalı belirsizliklerin Jeotermal Enerji Santrali (JES) projelerindeki negatif NBD krizini nasıl çözebildiğine dair somut bölgesel vaka analizleri yetersizdir.

Tablo 1: Mevcut Literatürün Yöntemsel Özeti

Yazar(lar) ve Yıl	İncelemenin Yapıldığı Ülke / Sektör	Ele Alınan Belirsizlikler	Kullanılan Yöntem(ler)	Öne Çıkan Ana Bulgular
MonjasBarroso & BalibreaIniesta (2013)	Danimarka, Finlandiya, Portekiz / RES	Fiyat, enflasyon, kapasite, maliyet	MCS, Binomiyal (NBD, GNBD)	Teşvikler getiride ana faktör; MCS ve Binomiyal benzer sonuç verir.
Brandao vd. (2013)	Brezilya / Biyokütle	Girdi ve çıktı fiyatları	GBH, Ortalamaya Geri Dönüş, MCS	GBH daha yüksek opsiyon değeri üretir; esneklikler mutlaka modellenmelidir.
Detert & Kotani (2013)	Moğolistan / Rüzgâr, Güneş, Termal	Kömür fiyatı	GBH, Ortalamaya Geri Dönüş, MCS	Opsiyonlar yatırıma ek değer katar; GBH daha yüksek değer verir.
Anderson & Weersink (2014)	ABD (Kaliforniya) / Anaerobik Çürütücü	Pazar ve teşvik belirsizliği	Erteleme Opsiyonu, Statik NBD	Erteleme esnekliği projeye ~300.000\$ ek değer sağlar.
Santos vd. (2014)	Portekiz / Hidroelektrik	Elektrik fiyatı volatilitesi	Binomiyal Model, Statik NBD	5 yıllık erteleme opsiyonu proje değerini belirgin şekilde yükseltir.
Onar & Kılavuz (2015)	Türkiye / Rüzgâr (RES)	Rüzgâr hızı, elektrik fiyatı	MCS, GBH, Weibull Dağılımı	Statik NBD negatifken ROA pozitif değer verir; yerli aksam desteği değeri artırır.
Sisodia vd. (2015)	İspanya / Yenilenebilir Enerji	Düzenleme ve fiyat değişimleri	MCS, Erteleme ve Genişleme	Düzenleme risklerinde erteleme opsiyonu kritik avantaj sağlar.
Fleten vd. (2016)	Norveç / Hidroelektrik	Elektrik ve teşvik fiyatları	Black Scholes, Statik NBD	Bekleme/erteleme esnekliği negatif NBD'li projelerin getirisini optimize eder.
Zhang vd. (2016)	Çin / GES	Elektrik ve SREC fiyatları	MCS, Erteleme Opsiyonu	1 aylık erteleme dahi projelerin %76'sında ek değer oluşturur.
Eissa & Tian (2017)	Mısır / Güneş (GES)	Maliyet, değer, risk	L3C2M, Sonlu Farklar, MCS	L3C2M modeli MCS ile aynı sonucu çok daha hızlı ve pratik sunar.
Kitzing vd. (2017)	Baltık Denizi / Deniz Üstü RES	Kapasite kısıtları, pazar	Erteleme ve Kapasite Seçimi	Genişleme opsiyonu atıl kapasite ve fırsat maliyetini çözer.
Loncar vd. (2017)	Sırbistan / RES	Teşvik ve işletme süreçleri	Bileşik Opsiyon (MCS, Binom)	Ardışık karar mekanizması proje değerini ve yönetsel esnekliği artırır.
Moon & Baran (2018)	ABD, Japonya, Kore, Almanya / GES	Maliyet belirsizliği	Erteleme Opsiyonu, Binomiyal	Optimal bekleme süresi ülkelere ve tesis ölçeğine göre farklılaşır.
Liu vd. (2019)	Çin / Rüzgâr Depolama	Elektrik fiyatı	Black-Scholes (Erteleme, Terk)	5 yıllık erteleme esnekliği kârlılığı sağlar; terk opsiyonu riski sınırlar.

Penizzotto vd. (2019)	Arjantin / Çatı GES	Tarifeler ve yatırım maliyeti	GBH, MCS (PVSOL, Matlab)	Erteleme esnekliği negatif NBD'yi pozitif GNBD'ye dönüştürür.
Aquila vd. (2020)	Brezilya / RES	Pazar ve üretim riskleri	Binomiyal, Crystal Ball (MCS)	Terk etme opsiyonu proje değerini %30,29 artırarak riski düşürür.
BalibreaIniesta (2020)	Fransa / GES	Fiyat ve maliyet	MCS, Alım/Satım Opsiyonları	%59 üzerindeki tarife artışlarında satım opsiyonu kârlı hale gelir.
Di Bari (2020)	İtalya / GES	Mikro-iklim (ışınım/sıcaklık)	Binomiyal, Statik NBD	Düşük ısısımlı bölgelerde erteleme opsiyonu projeyi kârlı kılar.
Assereto & Byrne (2021)	İrlanda / GES	Elektrik fiyatı	MCS, Reel Opsiyonlar	Teşviklerin bulunmadığı senaryo ile yatırımı inceler.
Gupta (2021)	Hindistan / Rüzgâr ve Güneş	Kömür fiyatı belirsizliği	Genişleme Opsiyonlu Binom	%25 emisyon hedefleri için yıllık %7 kapasite artışı önerilmektedir.
Liu vd. (2021)	Çin / Deniz Üstü RES	Maliyet, elektrik, karbon fiyatı	Binomiyal, MCS	Erteleme ve sübvansiyonlar negatif NBD'li projeleri kârlı hale getirir.
Wang vd. (2022)	Çin / GES	Piyasa ve TGC fiyatları	MCS, Kademeli Yatırım	Kademeli yatırım, tek seferlik yatırıma göre fırsat maliyetini azaltır.
Ersen vd. (2023)	Türkiye / GES	Veri eksikliği, volatilité	Sezgisel Bulanık Trinomial	Dinamik nakit akışı volatilitésı altında 8 yıl erteleme optimaldir.

4. Araştırma Boşluğu ve Seçilen Yöntemin Gerekçesi

Enerji sektöründe reel opsiyonlar teorisine (ROT) dayalı yapılan mevcut literatür incelendiğinde, çalışmaların temel olarak yöntemsel yaklaşım, opsiyon türü ve elde edilen bulgular bakımından üç ana tema etrafında yoğunlaştığı görülmektedir.

- **Yöntemsel Yaklaşım Açısından Sentez:** Literatürdeki araştırmalar ağırlıklı olarak stokastik süreçleri simüle eden Monte Carlo Simülasyonu (MCS) veya kesikli zamanlı Binom Ağacı modellerini tercih etmektedir. Sürekli zamanlı modellemelerden biri olan Black-Scholes Modeli ise hesaplama kolaylığı sağlarken, enerji piyasalarındaki yüksek volatilité ve karmaşık esneklik yapılarında varsayımsal sınırları nedeniyle genellikle teorik değerlendirme aşamasında kalmaktadır. Ancak, dinamik risk parametrelerinin analitik ve net biçimde tanımlanabildiği JES gibi altyapı yoğun projelerde Black-Scholes modelinin sunduğu duyarlılık analizi kapasitesi yeterince somutlaştırılmamıştır.
- **Opsiyon Türleri Açısından Sentez:** Çalışmaların büyük bir kısmı erteleme opsiyonuna odaklanırken; projenin ilerleyen safhalarında ortaya çıkan genişleme veya zararı sınırlandıran terk etme opsiyonlarını eş zamanlı değerlendiren bütünleşik yaklaşımlar sınırlı kalmıştır.
- **Bulgular Açısından Sentez:** İncelemeler, geleneksel İNA ve NBD yöntemlerinin, belirsizlik altındaki yatırımlarda yönetimsel esneklikleri göz ardı ederek projelerin değerini sistematik olarak düşük tahmin ettiğini (underestimation) doğrulamaktadır.

Araştırma Boşluğu: Bu tematik sentez ışığında literatürdeki temel araştırma boşluğu şu noktada belirmektedir: Yüksek sermaye gereksinimi, uzun yatırım ufku ve yüksek piyasa belirsizliği içeren JES yatırımlarında; negatif NBD değerine sahip projelerin yönetimsel esneklikler (erteleme, genişleme, terk etme) dahil edildiğinde nasıl ekonomik olarak fizibil hale gelebildiğini, özellikle Türkiye yenilenebilir enerji piyasası bağlamında analitik ve pratik bir vaka analizi üzerinden gösteren bütünleşik çalışmaların yetersizliğidir.

Çalışmanın Özgün Katkısı ve Yöntem Gerekçesi: Bu çalışma, söz konusu sınırlılıkları aşmak amacıyla JES vaka analizi üzerinden alana şu özgün katkıları sunmaktadır:

- Geleneksel-Reel Opsiyon Karşılaştırmalı Fizibilite Mimarisi: Geleneksel İNA/NBD yaklaşımıyla negatif net bugünkü değere ulaşan bir JES projesinin, finansal opsiyon mantığının reel varlıklara uygulanmasıyla nasıl ekonomik olarak sürdürülebilir hale gelebileceği nicel olarak ortaya konmuştur.
- Çoklu Opsiyon Sentezi ve Seçilen Yöntem Gerekçesi: Çalışmada erteleme, genişleme ve terk etme opsiyonları tekil değil, projenin yaşam döngüsüne içkin esneklikler olarak ele alınmıştır. Değerleme yöntemi olarak Black-Scholes Modeli'nin seçilme gerekçesi; modelin jeotermal yatırımlara özgü volatilité ve risk parametrelerini, yönetsel karar esneklikleriyle doğrudan ilişkilendiren analitik ve net bir değerlendirme çerçevesi sunmasıdır.
- Piyasa ve Stratejik Karar Odaklı Katkı: Çalışmanın bulguları, enerji sektöründeki yatırımcıların riskten kaçınma ve optimal zamanlama stratejilerine yön verirken; kamu politika yapıcılarının de yenilenebilir enerji alanındaki teşvik ve düzenleme mekanizmalarının sürdürülebilir tasarımı adına somut bir analitik araç sunmaktadır.

Yöntem

Bu bölümde, JES projesi için hem geleneksel yöntemlerden NBD hesaplaması hem de reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinden Black-Scholes modeli kullanılarak opsiyon değeri ve opsiyon ile NBD'nin toplamı olan GNBD hesaplanacaktır.

Çalışmada reel opsiyon değerlemesinde Black-Scholes modeli tercih edilmiştir. Bunun temel nedeni, modelin analitik yapısı sayesinde yatırım projelerinin hızlı ve kapalı formda değerlendirilmesine olanak sağlamasıdır. Ayrıca literatürde enerji yatırımlarının reel opsiyon analizlerinde Black-Scholes yaklaşımının yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında karşılaştırılabilirliği artırmak ve hesaplama sürecini sadeleştirmek amacıyla Black-Scholes modeli esas alınmıştır.

Projenin uygulanabilirliği, geleneksel yöntemde yalnızca proje değerine bakılarak değerlendirilirken, reel opsiyon yaklaşımında opsiyon değeri pozitif olsa bile GNBD'nin pozitif olması gerekmektedir. Bu doğrultuda, aşağıdaki bölümlerde kullanılan değerlendirme yöntemleri, parametreler ve eşitlikler ayrıntılı şekilde açıklanacaktır.

Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi ile değerlendirme

NBD hesaplama sürecinde ilk olarak projeye ilişkin parametreler belirlenir. Daha sonra, İNA hesaplanarak 20 yıllık net nakit akışları ortaya konur ve bu nakit akışları iskonto oranı ile bugünkü değerlerine indirgenir. Son aşamada, bugünkü değerlerin toplamından proje maliyeti çıkarılarak NBD bulunur. Proje parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de verilmiş olan proje yatırım maliyeti dünya genelinde Geothermal Energy Association (GEA) (2024) tarafından yayınlanan verilere dayanılarak megawatt (MW) başına düşen yatırım maliyeti olan 4,015 MUSD/MW değeri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Operasyonel giderler ise International Renewable Energy Agency (IRENA) (2025) tarafından yayımlanan rapora göre, jeotermal enerji santrallerinde işletme ve bakım (İ&B) maliyetleri için dikkate alınan 0,03 USD/kWh verisi dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 2: Proje Parametreleri (NBD)

Proje Parametreleri	
Proje Maliyeti	1.686.701.500 TL
Projenin Yıllık Gelir Miktarı (1. Yıl)	344.300.544 TL
Ekonomik Ömrü	20 yıl
Kurulu Gücü	10 MW
Ünite Sayısı	1
Operasyonel Gider (1. Yıl)	104.534.323 TL
Amortisman Değeri	84.335.075 TL
Kurumlar Vergisi	%25
TÜFE - 2005-2024 ortalama enflasyon oranı)	%16,915
Birim Elektrik Fiyatı	5,93 TL/kWh
β (Jeotermal Enerji Sektörü, ortalama)	0,71875
Piyasa Risk Primi (Enerji Sektörü)	%5,5
AOSM	%34,2731

Tablo 2'de yer alan proje parametreleri, projenin ekonomik analiz bölümünde hesaplanmaktadır. Bir jeotermal enerji santralinin gelirinin doğru şekilde hesaplanabilmesi için öncelikle tesisin enerji üretim kapasitesinin bilinmesi gerekmektedir. Üretim miktarının belirlenmesi için, JES'in ürettiği enerji miktarı

ile santralin kurulu olduğu bölgedeki rezervuar ve kuyuların kapasite faktörü dikkate alınmalıdır. Jeotermal elektrik üretim santrallerinde yılda yaklaşık 5 gün bakım onarım faaliyetleri için üretim durdurulmaktadır. Üretim miktarı şu şekilde hesaplanmıştır: $10 \text{ MW} * 0,96 * (365-5 \text{ gün}) * 24 \text{ saat} = 82.944.000 \text{ kWh}$. Burada kapasite faktörünün %96 olarak alınması, jeotermal elektrik santralleri üretimlerinin dış hava sıcaklıklarından etkilenmesi nedeniyle yaz aylarında üretimde düşüşlerin olacağı dikkate alınmıştır.

Diğer önemli bir parametre ise elektrik fiyatıdır. JES'in 2026 yılında devreye girdiği göz önüne alınarak üretilen elektriğin yıl içinde büyük oranda kesintisiz üretileceği için 30 kWh üzerindeki tüketicilere satılacağı varsayılmıştır. Analizde baz alınan 5,93 TL/kWh birim elektrik fiyatı, EPDK'nın yayımladığı 30 kWh üstü tüketici tarifesiyle hareketle belirlenmiştir. Bu yaklaşımın temel gerekçesi, 10 MW gücündeki JES projesinin serbest piyasada ikili anlaşmalar (PPA) yoluyla büyük ölçekli tüketicilere doğrudan satış yapma potansiyeli ve serbest piyasa takas fiyatlarının (PTF) dönemsel tavan fiyat uygulamalarıyla bu tarifeyle yakınsamasıdır. Bu kabul, üreticinin spot piyasa dalgalanmalarından bağımsız olarak uzun vadeli sözleşmelerle elde edebileceği muhafazakâr nakit akışını temsil etmekte olup, sonrasında elektrik fiyatı her yıl hesaplanan enflasyon oranı mertebesinde artırılarak dikkate alınmıştır.

JES için önemli bir parametre olan dolar kuru, bu çalışmada T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın 2025-2027 Dönemi Yatırım Programı Hazırlama Rehberi'nde belirtilen 2025 yılı sabit kuru olan 1 ABD Doları = 42,01 TL esas alınmıştır. Projenin yıllık geliri 82.944.000 kWh üretim miktarının, %30 iç tüketim düşürüldükten sonra kalan 58.060.800 kWh net elektrik üretim miktarının, 5,93 TL/kWh birim elektrik fiyatı ile çarpılması sonucunda 344.300.544 TL olarak hesaplanmıştır. İNA için birim elektrik fiyatı başlangıç olarak 5,93 TL olarak belirlenmiştir. Projenin giderleri, ilk yatırım maliyeti (40.150.000 USD = 1.686.701.500 TL) ve ilk yıl için operasyonel giderler (2.488.320 USD = 104.534.323 TL) olarak ikiye ayrılmıştır. JES'nin ekonomik ömrü 20 yıl olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda amortisman oranı %5,0 olarak hesaplanmıştır. Kurumlar Vergisi oranı, 2025 yılı için %25 olarak belirlenmiştir. Enflasyon oranı olarak TÜFE'nin 2005-2024 yılları arasındaki ortalaması %16,915 kullanılmıştır.

Varlığın şimdiki değeri, NBD hesaplamasında iskonto oranı kullanılarak indirgenen bugünkü değerlerin toplamından oluşur. Varlığın kullanım fiyatı, JES projesi için öngörülen yatırım maliyeti olarak belirlenirken, risksiz faiz oranı olarak GCM Yatırım Analiz Raporunda (2025) belirtilen 2025 yılı aralık ayı itibarı ile hesaplanan 10 yıllık tahvil faiz oranı olan %30,32 olarak esas alınmıştır. İskonto oranı, AOSM hesabı dikkate alınarak risksiz faiz oranı ile jeotermal enerji sektörü beta (β) katsayısı ile piyasa risk priminin çarpımının toplanması neticesinde hesaplanmaktadır.

Jeotermal enerji sektörü için belirlenmiş tek bir beta katsayısı (β) bulunmamaktadır. Borsa İstanbul (BIST)'da bulunan ve özellikle yenilenebilir enerji ağırlıklı altyapısı ile jeotermal odaklı enerji şirketleri arasında bulunan Galata Wind (GWIND), Aydem Yenilenebilir (AYDEM), Margün Enerji (MAGEN) ve Zorlu Enerji'nin (ZOREN)'nin geçmiş üç yıllık beta katsayıları Borsa İstanbul (BIST) Enerji Endeksi ve şirket verileri (2026), Kamuyu Aydınlatma Platformu (KAP) Enerji sektörü şirket finansal raporları (2026) ile TradingView (2026) BIST enerji sektörü hisse senedi fiyat serileri ve 3 yıllık beta katsayıları incelenerek Tablo 3'te bulunan verilere ulaşılmıştır.

Tablo 3: Elektrik Üretim Şirketleri 2023-2025 Dönemi Tahmini Beta Katsayıları Aralıkları

Şirket	Beta Katsayısı
Galata Wind (GWIND)	~0,60 - 0,65
Aydem Yenilenebilir (AYDEM)	~0,75 - 0,85
Margün Enerji (MAGEN)	~0,68 - 0,74
Zorlu Enerji (ZOREN)	~0,70 - 0,78
Ortalama	~0,6825 - 0,7550

Borsa İstanbul'da işlem gören yenilenebilir enerji şirketlerinin (Galata Wind, Aydem Yenilenebilir, Margün Enerji, Zorlu Enerji) son 3 yıllık kaldıraçlı beta katsayıları ortalamasının alt ve üst sınırları dikkate alınmıştır. Tablo 3'te sunulan aralıkların orta noktası ve şirketlerin dönemsel getiri serilerinin ortalaması neticesinde çalışmada 0,71875 değeri kullanılmıştır. Garanti BBVA Enerji Sektörü Raporu'na (2025) göre Türkiye'deki enerji sektörü değerlendirme raporlarına göre finansal analizlerde piyasa risk primi %5,5 seviyelerinde kabul edilmektedir. Bu çalışmada da aynı risk primi dikkate alınmıştır. Bu durumda çalışmada kullanılan iskonto oranı %34,2731 olarak hesaplanmıştır.

NBD hesaplamasında kullanılan formül Eşitlik (1)'de belirtilmiş olup projenin özkaynak ile finanse edildiği dikkate alınmıştır.

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

Burada;

- A_i , yatırımdan elde edilecek net nakit akışlarını,
- C , başlangıçta yapılan yatırımı,
- r , iskonto oranını,
- i , yılı göstermektedir.

Black-Scholes yöntemi ile değerlendirme

Reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinden biri olan Black-Scholes modeli, analitik yapısı sayesinde hesaplama ve analiz kolaylığı sunan en pratik yöntemlerden biridir. Modelin formülleri aşağıda Eşitlik (2), Eşitlik (3), Eşitlik (4) ve Eşitlik (5) ile gösterilmiştir:

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

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

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

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

Modelde kullanılan terimler şunlardır:

- C_0 : Alım opsiyonu değeri
- P_0 : Satım opsiyonu değeri
- S_0 : Dayanak varlığın değeri
- X : Kullanım fiyatı
- T : Opsiyonun vadesine kalan süre
- σ : Volatilité
- r_f : Risksiz faiz oranı
- $N(d)$: Kümülatif standart normal dağılım fonksiyonu

Black-Scholes değerlendirme yönteminde kullanılan parametreler Tablo 4'te gösterilmektedir. Türkiye'de jeotermal kaynak arama ve işletme faaliyetleri 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve ilgili Uygulama Yönetmeliği hükümleri çerçevesinde yürütülmektedir. Kanun hükümleri gereğince işletme ruhsatları başlangıçta 30 yıla kadar verilebilmektedir. Bu vaka analizinde, yatırımcının piyasa takas fiyatı dalgalanmalarını gözlemleyerek optimal yatırıma başlama kararını alabileceği yasal ve sözleşmesel esneklik penceresi (erteleme süresi), sektörel imtiyaz ve ruhsat devir/koşul süreleri dikkate alınarak ihtiyatlı bir yaklaşımla 20 yıl olarak modellenmiştir. Modelde kullanılan bu süre, projenin yasal işletme ömrü içinde yatırımın ertelenebileceği maksimum karar penceresini ifade etmektedir.

Tablo 4: Proje Parametreleri (Reel Opsiyonlar)

Girdi Parametreleri			
1	10 Yıllık Tahvil Getirisine Dayalı Risksiz Faiz Oranı	r_f	%30,32
2	Varlığın Şimdiki Değeri	S	1.032.307.299
3	Varlığın Kullanım Fiyatı	X	1.686.701.500
4	Opsiyonun Maksimum Ertelene/Bekleme Süresi	T	20 yıl
5	Yıllık Standart Sapma	σ	0,40091
6	Yıllık Dönemler	Δt	1

Reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinde en zor belirlenen parametrelerden biri olan volatilité, bu çalışmada JES yatırımını en çok etkileyen faktörlerden biri olan birim elektrik fiyatı üzerinden hesaplanmıştır. Birim elektrik fiyatı EPİAŞ yıllık bültenlerinde (2015 - 2026 arası) yayınlanmış olan ortalama piyasa takas fiyatları (PTF) dikkate alınmıştır. PTF, serbest piyasada elektriğin satış fiyatını göstermektedir. Ancak özellikle son yıllarda TL bazındaki PTF'leri oynaklığın yüksek olması sebebiyle TL bazındaki PTF, Merkez Bankası verileri üzerinden hesaplanmış olan yıllık ortalama dolar kuruna bölünmüş ve dolar bazlı yıllık ortalama birim elektrik satış fiyatları hesaplanmıştır. Her bir birim elektrik fiyatının log getirisi $\ln(Y_i/(Y_i-1))$ formülü ile hesaplanarak, toplam verinin ortalaması log getirilerden çıkarılmış ve elde edilen verilerin kareleri alınarak standart sapması bulunmuş, akabinde de volatilité değeri elde edilmiştir. Yıllara göre PTF, yıllık ortalama dolar kurları, dolar bazlı elektrik

birim fiyatları ve hesaplanan volatilité değeri Tablo 5'te sunulmuştur. Bu doğrultuda, Brigham (1995) tarafından aktarılan ve Eşitlik (6)'da verilen standart sapma formülü kullanılarak volatilité değeri hesaplanmasına ilişkin çözüm aşağıda verilmiştir.

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{1,44656}{9}} = \sqrt{0,16073} = 0,40091$$

Tablo 5: Volatilité Hesabı

	Yıllık Ortalama Elektrik Piyasa Takas Fiyatı (PTF) (TL/MWh)	Yıllık Ortalama Dolar Kuru (TL/USD)	Yıllık Ortalama Elektrik Satış Fiyatı (USD/MWh)	Log Getiri (r_i) $\ln(Y_i - Y_{i-1})$	$\bar{\mu}$	$r_i - \bar{\mu}$	$(r_i - \bar{\mu})^2$
2025	2619,81	39,5095	66,3084	-0,02622	0,02691	-0,05313	0,00282
2024	2235,52	32,8415	68,0700	-0,30149	0,02691	-0,32840	0,10785
2023	2189,30	23,7910	92,0222	-0,49804	0,02691	-0,52495	0,27557
2022	2510,72	16,5810	151,4215	0,97226	0,02691	0,94535	0,89368
2021	508,10	8,8717	57,2719	0,36580	0,02691	0,33889	0,11484
2020	278,72	7,0160	39,7263	-0,14270	0,02691	-0,16961	0,02877
2019	260,32	5,6814	45,8197	-0,04380	0,02691	-0,07071	0,00500
2018	231,64	4,8388	47,8714	0,06463	0,02691	0,03772	0,00142
2017	163,84	3,6510	44,8754	-0,03554	0,02691	-0,06245	0,00390
2016	140,59	3,0235	46,4991	-0,08579	0,02691	-0,11270	0,01270
2015	138,01	2,7240	50,6645	-	-	-	-
						σ^2	0,16073
						σ	0,40091

Bulgular ve tartışma

Bulgular, erteleme opsiyonu yaklaşımının yüksek belirsizlik altındaki yatırımlarda geleneksel NBD yönteminin eksikliklerini gidermeye yönelik vaka bazlı bir perspektif sunduğunu doğrulamaktadır. Çalışma %100 özkaynak finansmanı varsayımıyla yürütüldüğünden, analizdeki vergi etkileri yalnızca işletme faaliyetleri üzerinden hesaplanan kurumlar vergisi yükümlülüklerini ve amortismanların vergi kalkını etkisini kapsamaktadır.

Bu bağlamda araştırma bulguları, H1 hipotezini ("Reel opsiyonların modele dahil edilmesi, geleneksel NBD yöntemine kıyasla proje değerini artırmaktadır") bu vaka özelinde doğrulamaktadır. H2 hipotezi ("Yüksek belirsizlik koşulları altında geleneksel NBD yöntemi, proje değerini sistematik olarak eksik tahmin etmektedir") ise, farklı volatilité seviyeleri karşılaştırmalı olarak simüle edilmediğinden, incelenen tekil vaka verileri çerçevesindeki erteleme esnekliği gözlemleriyle sınırlı bir vaka içi yorum olarak değerlendirilmelidir.

Öte yandan, çalışmada volatilité (σ), döviz bazlı uluslararası jeotermal maliyet ve gelir denklemlerini yansıtabilmek adına Dolar cinsinden hesaplanmıştır. Buna karşın statik NBD ve Black-Scholes modelindeki dayanak varlık değeri (S_0) ile kullanım fiyatı (X) Türkiye'deki enflasyonist ortam ve kur beklentileri (T.C. SBB 2025-2027 dönemi kur öngörülleri) baz alınarak TL cinsinden türetilmiştir. Bu durum, kur volatilitésinin TL varlık değerine ve opsiyon primine yansıtılmasında gösterge niteliğinde bir parametre kullanıldığını göstermekte olup; analiz, %100 özkaynak yapısı ve 2025-2026 dönemi sabit kur/enflasyon varsayımlarıyla sınırlıdır.

Makalenin bulguları, "reel opsiyonlar yaklaşımının, yüksek belirsizlik altındaki yatırımlarda geleneksel NBD yönteminin eksikliklerini gidererek projenin esneklik değerini ortaya çıkardığı" yönündeki genel literatür çerçevesiyle örtüşmektedir. Makaleyi mevcut literatürden ayıran ve özgün kılan temel unsur ise, bu teorik altyapıyı Türkiye'deki güncel ekonomik parametreler (yüksek enflasyonist ortam, reel vergi yükü etkisi) çerçevesinde bir jeotermal enerji santraline uygulanan erteleme opsiyonu özelinde incelemiş olmasıdır.

Yüksek enflasyon ve vergi yükünün, erteleme opsiyonunun net bugünkü değerini daraltıcı yönlü etkileri ele alınarak çalışmanın kapsamı sayısallaştırılmış bu opsiyona odaklandırılmıştır. Bu doğrultuda, elde edilen bulgular jeotermal yatırımların stratejik esneklik boyutunun değerlendirilmesine katkı sunmakta ve mevcut literatürü bu çerçevede desteklemektedir.

Öte yandan, vergi kalkanının projenin genel risk profili AOSM ile indirgenmesi tercihi, Miles-Ezzell (1980) ve Harris-Pringle (1985) gibi öncü çalışmaların hedef sermaye yapısı varsayımlarıyla uyumludur. Borç maliyeti yerine AOSM'nin kullanılması, vergi kalkanı nakit akışlarının operasyonel risklerle aynı düzeyde risk taşıdığı varsayımına dayanır. Bu yöntemsel tercih, vergi kalkanının bugünkü değerinin olduğundan yüksek hesaplanmasını engellemekte; böylece projenin NBD üzerinde muhafazakar (conservative) bir baskı yaratarak olası bir aşırı değerlemeyi (overvaluation) sınırlamaktadır. Çalışmanın bu kısıtlılığı, gelecekteki araştırmalarda projenin operasyonel riski ile vergi/teşvik risklerini ayırıştırarak ve düzeltilmiş bugünkü değer gibi alternatif yaklaşımları entegre eden modellerin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Yatırımın sonraki aşamasında, ekonomik ömür boyunca piyasa riskleri ve belirsizliklerinin de dikkate alındığı reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinden Black-Scholes modeli kullanılarak projenin erteleme opsiyon değeri hesaplanmıştır. Tablo 4'te verilen parametreler doğrultusunda, 20 yıl vadeli bir JES projesine bugün başlanması durumunda Black-Scholes yöntemiyle yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 6: İndirgenmiş Nakit Akışları (İNA) Analizi

	Üretim Miktarı (kWh)	Birim Elektrik Fiyatı (TL)	Gelir (TL)	Gider (TL)	FAVÖK (TL)	Amortisman (-TL)	FVÖK (TL)	Vergi (%25) (TL)	Net Faaliyet Karı (TL)
1. Yıl	58.060.800	5,93	344.300.544	104.534.323	239.766.221	84.335.075	155.431.146	38.857.786	116.573.359
2. Yıl	58.060.800	6,93	402.538.981	122.216.304	280.322.677	84.335.075	195.987.602	48.996.901	146.990.702
3. Yıl	58.060.800	8,11	470.628.450	142.889.192	327.739.258	84.335.075	243.404.183	60.851.046	182.553.137
4. Yıl	58.060.800	9,48	550.235.252	167.058.899	383.176.353	84.335.075	298.841.278	74.710.320	224.130.959
5. Yıl	58.060.800	11,08	643.307.545	195.316.911	447.990.634	84.335.075	363.655.559	90.913.890	272.741.669
6. Yıl	58.060.800	12,95	752.123.016	228.354.767	523.768.249	84.335.075	439.433.174	109.858.294	329.574.881
7. Yıl	58.060.800	15,15	879.344.624	266.980.976	612.363.649	84.335.075	528.028.574	132.007.143	396.021.430
8. Yıl	58.060.800	17,71	1.028.085.767	312.140.808	715.944.960	84.335.075	631.609.885	157.902.471	473.707.413
9. Yıl	58.060.800	20,70	1.201.986.475	364.939.425	837.047.050	84.335.075	752.711.975	188.177.994	564.533.981
10. Yıl	58.060.800	24,20	1.405.302.487	426.668.929	978.633.558	84.335.075	894.298.483	223.574.621	670.723.862
11. Yıl	58.060.800	28,30	1.643.009.403	498.839.978	1.144.169.424	84.335.075	1.059.834.349	264.958.587	794.875.762
12. Yıl	58.060.800	33,08	1.920.924.443	583.218.761	1.337.705.682	84.335.075	1.253.370.607	313.342.652	940.027.956
13. Yıl	58.060.800	38,68	2.245.848.813	681.870.214	1.563.978.599	84.335.075	1.479.643.524	369.910.881	1.109.732.643
14. Yıl	58.060.800	45,22	2.625.734.139	797.208.561	1.828.525.579	84.335.075	1.744.190.504	436.047.626	1.308.142.878
15. Yıl	58.060.800	52,87	3.069.877.069	932.056.389	2.137.820.680	84.335.075	2.053.485.605	513.371.401	1.540.114.204
16. Yıl	58.060.800	61,82	3.589.146.775	1.089.713.727	2.499.433.048	84.335.075	2.415.097.973	603.774.493	1.811.323.480
17. Yıl	58.060.800	72,27	4.196.250.952	1.274.038.804	2.922.212.148	84.335.075	2.837.877.073	709.469.268	2.128.407.805
18. Yıl	58.060.800	84,50	4.906.046.801	1.489.542.468	3.416.504.333	84.335.075	3.332.169.258	833.042.315	2.499.126.944
19. Yıl	58.060.800	98,79	5.735.904.617	1.741.498.576	3.994.406.041	84.335.075	3.910.070.966	977.517.742	2.932.553.225
20. Yıl	58.060.800	115,50	6.706.132.884	2.036.073.060	4.670.059.823	84.335.075	4.585.724.748	1.146.431.187	3.439.293.561

Tablo 7: Net Bugünkü Değer (NBD) Tablosu

	Net Kar + Amortisman	Yatırım Tutarı	Nakit Akım	İndirgeme Oranı	Bugünkü Değer	Net Bugünkü Değer
Başlangıç		-1.686.701.500	-1.686.701.500		-1.686.701.500	
1. Yıl	200.908.434		200.908.434		149.626.691	
2. Yıl	231.325.777		231.325.777		128.305.666	
3. Yıl	266.888.212		266.888.212		110.245.813	
4. Yıl	308.466.034		308.466.034		94.896.668	
5. Yıl	357.076.744		357.076.744		81.811.825	
6. Yıl	413.909.956		413.909.956		70.627.087	
7. Yıl	480.356.505		480.356.505		61.043.581	
8. Yıl	558.042.488		558.042.488		52.814.661	
9. Yıl	648.869.056		648.869.056		45.735.686	
10. Yıl	755.058.937		755.058.937		39.636.006	
11. Yıl	879.210.837		879.210.837		34.372.646	
12. Yıl	1.024.363.031		1.024.363.031		29.825.294	
13. Yıl	1.194.067.718		1.194.067.718		25.892.304	
14. Yıl	1.392.477.953		1.392.477.953		22.487.490	
15. Yıl	1.624.449.279		1.624.449.279		19.537.532	
16. Yıl	1.895.658.555		1.895.658.555		16.979.878	
17. Yıl	2.212.742.880		2.212.742.880		14.761.018	
18. Yıl	2.583.462.019		2.583.462.019		12.835.073	
19. Yıl	3.016.888.300		3.016.888.300		11.162.627	
20. Yıl	3.523.628.636		3.523.628.636		9.709.753	
				%34,2731		1.032.307.299 - 1.686.701.500 = -654.394.201 TL

Hesaplamalarda d1 ve d2 değerlerinin formülasyonu Eşitlik (7) ve Eşitlik (8)'de verilmiştir.

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + (r_f + \sigma^2/2) * T}{\sigma \sqrt{T}} \quad \text{Eşitlik (7)}$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{1.032.307.299}{1.686.701.500}\right) + (0,3032 + 0,40091^2/2) * 20}{0,40091\sqrt{20}}$$

$$d_1 = 4,0048$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T} \quad \text{Eşitlik (8)}$$

$$d_2 = 4,0048 - 0,40091\sqrt{20}$$

$$d_2 = 2,2119$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen d1 ve d2 parametrelerinin, kümülatif normal standart dağılım tablosundan elde edilen değerleri $N(d_1)=0,999969$ ve $N(d_2)=0,986513$ olarak bulunmuştur. Bu durumda opsiyon değeri Eşitlik (9)'daki gibi hesaplanır.

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X e^{-r_f T} N(d_2) \quad \text{Eşitlik (9)}$$

$$C_0 = 1.032.307.299 * 0,999969 - 1.686.701.500 * e^{(-0,3032*20)} 0,986513$$

$$C_0 = 1.028.406.437$$

Görüldüğü üzere, Black-Scholes değerlendirme yöntemi ile hesaplanan opsiyon değeri pozitif çıkarken, geleneksel yöntemle bulunan - 654.394.201 TL tutarındaki negatif NBD değerinden daha yüksek bir değer elde edilmiştir. Geleneksel NBD yönteminde elde edilen negatif sonuç, projenin mevcut piyasa koşullarında uygulanabilir olmadığını göstermektedir. Ancak, opsiyon değeri ile birlikte hesaplanan yeni proje değeri olan GNBD'nin pozitif olması, JES yatırımının uygulanabilirliğini desteklemektedir. Genel GNBD formülü ile bu çalışmaya ait JES projesinin GNBD değerinin hesap yöntemi Eşitlik (10)'da gösterilmiştir.

$$GNBD = \text{Statik NBD} + \text{Opsiyon Değeri} \quad \text{Eşitlik (10)}$$

$$GNBD = - 654.394.201 + 1.028.406.437$$

$$GNBD = 374.012.236$$

Statik NBD projenin bugünden koşulsuz başlatılması durumundaki net bugünkü değerini (-654.394.201 TL) temsil ederken, Black-Scholes modeliyle hesaplanan alım opsiyonu değeri yöneticiye tanınan esnekliğin toplam değerini göstermektedir. C0'ın ekonomik anlamına uygun olarak, statik NBD'ye doğrudan eklenen kısım toplam opsiyon değeri değil, opsiyonun statik duruma kıyasla sağladığı erteleme opsiyonunun projeye kattığı esneklik değeri (1.028.406.437 TL) olmalıdır. Bu doğrultuda GNBD, Statik NBD ile net esneklik priminin toplanmasıyla (374.012.236TL) hesaplanmıştır. Bu formülasyon, erteleme opsiyonunun projeye kazandırdığı saf fırsat değerinin statik projeye eklenen marjinal katkısını net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar incelendiğinde, reel opsiyonlarla yapılan değerlemenin geleneksel yöntemle kıyasla üstünlüğü, geleneksel yöntemde negatif çıkan proje değerinin reel opsiyonlarla daha yüksek olarak hesaplanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu durum yalnızca JES projeleri için değil, diğer yenilenebilir enerji santralleri ve farklı yatırım projeleri için de dikkate alınması gereken önemli bir husustur. Literatürde hem geleneksel yöntemler hem de reel opsiyon yöntemleri kapsamında analitik ve simülasyon gibi çeşitli tekniklerin kullanıldığı sıkça görülmekte olup reel opsiyon değerlendirme yöntemleri kullanılarak farklı yenilenebilir enerji santralleri için gerçekleştirilen proje değerlendirme çalışmaları bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda geleneksel değerlendirme yöntemleri yerine farklı reel opsiyon değerlendirme tekniklerinin tercih edildiği ve bu yöntemlerin literatürde geniş bir uygulama alanı bulduğu da açıkça görülmektedir. Bu JES projesinde olduğu gibi, geleneksel yöntemlerin yerine yatırımcılara daha esnek çözümler sunan, risk ve belirsizlikleri göz ardı etmeyip değerlemeye dahil eden reel opsiyonlar, yatırım kararlarının daha onaylanabilir ve uygulanabilir olmasını sağlayarak, geleneksel yöntemlere göre daha fazla tercih edilmektedir.

Bu çalışmanın bulguları, reel opsiyonlar yaklaşımının yüksek belirsizlik altındaki yatırımlarda geleneksel NBD yönteminin eksikliklerini giderdiği yönündeki teorik temel ile genel hatlarıyla örtüşmektedir (örn., Di Bari, 2020; Fleten ve ark., 2016; Santos ve ark., 2014). Örneğin, Santos vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen yenilenebilir enerji yatırımları analizinde de vurgulandığı üzere, piyasa oynaklığının yüksek olduğu dönemlerde esneklik opsiyonlarının projeye katma değer sağladığı sonucu bu araştırmanın bulgularıyla paralellik göstermektedir. Bununla birlikte, mevcut literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğu genellikle istikrarlı makroekonomik koşullara veya gelişmiş piyasalara

odaklandığından (örn., Fleten ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2016; Monjas-Barroso & Balibrea-Iniesta, 2013; Moon & Baran, 2018; Sisodia ve ark., 2015) söz konusu çalışmaların aksine bu araştırmada Türkiye ekonomisinin güncel dinamikleri merkeze alınmıştır. Özellikle yüksek ve kalıcı enflasyonist ortam ile reel vergi yükü etkisinin modele dahil edilmesi, geleneksel reel opsiyon modellerinden farklı olarak bu vaka kapsamında sayısallaştırılan erteleme opsiyonunun değerini ve yatırım zamanlamasına ilişkin değerlendirmeleri etkilediğini ortaya koymuştur. Bu yönüyle bulgularımız Di Bari (2020)'nin istikrarlı piyasa varsayımlarına dayanan sonuçlarıyla farklılık göstermekte; yüksek enflasyon ve vergi baskısının, erteleme opsiyonunun değerini törpüleyerek yatırım kararını geciktirici yönlü bir baskı yarattığını göstermektedir.

Makalenin bulguları, "reel opsiyonlar yaklaşımının, yüksek belirsizlik altındaki yatırımlarda geleneksel NBD yönteminin eksikliklerini gidererek reel opsiyonların belirsizlik altında yatırım değerlemesine ek bir esneklik perspektifi sağlayabileceğini gösteren literatürle bu vaka özelinde genel olarak uyumludur. Makaleyi mevcut literatürden ayıran ve özgün kılan temel unsur ise, bu teorik altyapıyı Türkiye'deki güncel ekonomik parametreler (yüksek enflasyonist ortam, reel vergi yükü etkisi) çerçevesinde bir jeotermal enerji santraline uygulanan erteleme opsiyonu özelinde incelemiş olmasıdır. Bu doğrultuda, yüksek enflasyon ve vergi yükünün erteleme opsiyonunun değerine olan etkileri ele alınarak elde edilen bulgular, jeotermal yatırımların stratejik esneklik boyutunun değerlendirilmesine katkı sunmakta ve mevcut literatürü bu çerçevede desteklemektedir.

Sonuç

Bu vaka analizinde elde edilen bulgular, yüksek belirsizlik ve sermaye yoğunluğu içeren jeotermal enerji yatırımlarında geleneksel NBD yaklaşımının zamanlama esnekliklerini göz ardı edebileceğini göstermiştir. Projeye entegre edilen erteleme opsiyonunun Black-Scholes modeliyle değerlendirilmesi, Genişletilmiş Net Bugünkü Değerin (GNBD) statik değerden yüksek olabileceğini ortaya koymuştur. Elde edilen bu çıkarımlar, benzer nitelikteki stratejik enerji projelerinin değerlendirilmesinde yatırımcılara vaka-sınırlı ve ihtiyatlı bir esneklik perspektifi sunmaktadır.

Bu çalışmada projenin taşıdığı erteleme opsiyonu, opsiyonun minimum değerini hızlı ve analitik olarak tahmin etmek amacıyla baz senaryo olarak seçilmiştir. Gelecek çalışmaların, farklı esneklikleri (genişleme, terk etme vb.) ve farklı belirsizlik düzeylerinin karşılaştırmalı etkilerini kapsayacak şekilde Binomiyal Ağaç modellerine odaklanması önerilmektedir. Birim elektrik fiyatının yıllar içinde değişmesi, gelir ve maliyetlerin risk ve belirsizliklere maruz kalması, yatırımın kârını etkileyen önemli faktörlerdir. Sabit iskonto oranı yerine risksiz faiz oranı ve volatilité gibi değişken parametrelerin projeye dahil edilmesi, yatırımın daha gerçekçi değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Araştırma bulguları, büyük yatırımlarda belirsizlikleri ve zamanlama opsiyonunu dikkate alan reel opsiyon değerlendirme yöntemlerinin (bu vaka özelinde erteleme opsiyonunun) yatırımcılar için daha bütüncül sonuçlar sunduğunu göstermiş olup, bu tür analitik yaklaşımların yatırım değerlemesinde yaygın şekilde kullanılması önerilmektedir.

Hakem Değerlendirmesi / Peer-review:

Dış bağımsız

Externally peer-reviewed

Çıkar Çatışması / Conflict of interests:

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

The authors have no conflict of interest to declare.

Finansal Destek / Grant Support:

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

The authors declared that this study has received no financial support.

Yazar Katkıları / Author Contributions:

Fikir/Kavram/Tasarım - *Idea/Concept/ Design*: **H.B.B.** Veri Toplama ve/veya İşleme - *Data Collection and/or Processing*: **H.B.B.** Analiz ve/veya Yorum - *Analysis and/or Interpretation*: **H.B.B.** Kaynak Taraması - *Literature Review*: **H.B.B.** Makalenin Yazımı - *Writing the Article*: **H.B.B.** Eleştirel İnceleme - *Critical Review*: **H.B.B., B.D., Onay - Approval**: **H.B.B., B.D.**

Veri Erişilebilirlik Beyanı / Data Availability Statement:

Bu çalışmada kullanılan ikincil veriler (PTF verileri, döviz kurları, EPDK raporları ve şirket finansal raporları) Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPIAŞ), Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB), Kamuyu Aydınlatma Platformu (KAP) ve ilgili resmi kurumların açık erişimli veri tabanlarından elde edilmiştir. Model parametrelerine ve hesaplamalara ilişkin detaylar talep edilmesi hâlinde yazarlardan temin edilebilir.

The secondary data used in this study (MCP data, exchange rates, EMRA reports, and corporate financial reports) were obtained from open-access databases of Energy Markets Operation Inc. (EPIAŞ), the Central Bank of the Republic of Turkey (CBRT), the Public Disclosure Platform (KAP), and relevant official institutions. Details regarding the model parameters and calculations are available from the authors upon request.

Etik Beyan / Ethical Statement:

Bu çalışmada insan veya hayvan katılımcılar üzerinde herhangi bir deney ya da veri toplama süreci gerçekleştirilmemiş olup, araştırma tamamen ikincil veriler ve finansal modelleme/simülasyon tekniklerine dayandığından etik kurul izni gerekmemektedir.

No experiments or data collection processes involving human or animal participants were conducted in this study; as the research is based entirely on secondary data and financial modeling/simulation techniques, ethics committee approval is not required.

Yapay Zeka (AI) Kullanım Beyanı / AI Usage Disclosure:

Bu metin yazımında, dil düzenlemesinde veya kod/analiz süreçlerinde yapay zeka araçlarından yararlanılmamıştır.

No artificial intelligence tools were used in the creation, language editing, or coding/analysis processes of this text.

Kaynakça / References

- Aquila, G., de Queiroz, A. R., Balestrassi, P. P., Junior, P. R., Rocha, L. C. S., Pamplona, E. O., & Nakamura, W. T. (2020). Wind energy investments facing uncertainties in the Brazilian electricity spot market: a real options approach. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100876. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100876>
- Akkuş, Ö., & Yılmaz, H. (2023). Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji piyasasındaki yeri. *Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi*, 18(2), 45-58.
- Anderson, R. C., & Weersink, A. (2014). A real options approach for the investment decisions of a farm-based anaerobic digester. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 62(1), 69-87.
- Assereto, M., & Byrne, J. (2021). No real option for solar in Ireland: A real option valuation of utility scale solar investment in Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110892. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110892>
- Balibrea-Iniesta, J. (2020). Economic analysis of renewable energy regulation in France: A case study for photovoltaic plants based on real options. *Energies*, 13(11), Article 2760. <https://doi.org/10.3390/en13112760>
- Borsa İstanbul. (2026). *BIST Enerji Endeksi ve şirket verileri*. Borsa İstanbul Resmi Yayınları. <https://www.borsaistanbul.com>
- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). *Principles of corporate finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.

- Brigham, E. F. (1995). *Fundamentals of financial management* (7th ed.). The Dryden Press.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637–654. <https://doi.org/10.1086/260062>
- Brandão, L. E. T., Penedo, G. M., & Bastian-Pinto, C. (2013). The value of switching inputs in a biodiesel production plant. *The European Journal of Finance*, 19(7-8), 674–688. <https://doi.org/10.1080/1351847X.2012.733026>
- Damodaran, A. (2012). *Investment valuation: Tools and techniques for determining the value of any asset* (3rd ed.). Wiley.
- Detert, N., & Kotani, K. (2013). Real options approach to renewable energy investments in Mongolia. *Energy Policy*, 56, 136–150. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.064>
- Di Bari, A. (2020). A real options approach to valuate solar energy investment with public authority incentives: The Italian case. *Energies*, 13(16), Article 4181. <https://doi.org/10.3390/en13164181>
- Eissa, M. A., & Tian, B. (2017). Lobatto-Milstein numerical method in application of uncertainty investment of solar power projects. *Energies*, 10(1), Article 43. <https://doi.org/10.3390/en10010043>
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu [EPDK]. (2026). *Elektrik piyasası sektörel raporları, 30 kWh üstü tüketici tarifeleri ve tarife tabloları*. <https://www.epdk.gov.tr>
- Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (2015–2025). *Elektrik piyasası sektörel raporları ve tarife tabloları*. <https://www.epias.com.tr>
- Ersen, H. Y., Tas, O., & Ugurlu, U. (2023). Solar energy investment valuation with intuitionistic fuzzy trinomial lattice real option model. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(7), 2584–2593. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3153960>
- Fleten, S. E., Linnerud, K., Molnár, P., & Nygaard, M. T. (2016). Green electricity investment timing in practice: Real options or net present value? *Energy*, 116, 498–506. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.124>
- Garanti BBVA Araştırma ve Strateji Departmanı. (2025, Eylül). *Türkiye enerji sektörünün dönüşümü ve gelecek projeksiyonları: Eylül 2025 raporu*. Ekonomi ve Sektörel Analizler Grubu.
- GCM Yatırım. (2025, 22 Aralık). *Yurt içi piyasalar gün ortası bülteni*. <https://www.gcmyatirim.com.tr/arastirma-analiz/yurtici-piyasalar-gun-ortasi/2025-12-22>
- Geothermal Energy Association. (2024). *Geo basics: Plant cost*. http://www.geo-energy.org/geo_basics_plant_cost.aspx
- Gupta, S. D. (2021). Using real options to value capacity additions and investment expenditures in renewable energies in India. *Energy Policy*, 148, Article 111916. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111916>
- Harris, R. S., & Pringle, J. J. (1985). Risk-adjusted discount rates – Extensions from the average-risk case. *Journal of Financial Research*, 8(3), 237–244. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6803.1985.tb00406.x>
- International Geothermal Association. (2023). *Global geothermal power generation status report 2020–2023*. IGA Publications.
- International Renewable Energy Agency. (2024). *Renewable capacity statistics 2024*. International Renewable Energy Agency.
- International Renewable Energy Agency. (2025). *Renewable power generation costs in 2024*. International Renewable Energy Agency.
- Jeotermal Elektrik Santral Yatırımcıları Derneği. (2024). *Türkiye jeotermal enerji sektörü durum analizi ve gelecek vizyonu raporu*. JESD Yayınları.
- Kamuyu Aydınlatma Platformu. (2026). *Galata Wind, Aydem Yenilenebilir, Margün Enerji ve Zorlu Enerji dönemsel finansal raporları*. Erişim tarihi 23 Eylül 2026, <https://www.kap.org.tr>
- Kitzing, L., Juul, N., Drud, M., & Boomsma, T. K. (2017). A real options approach to analyse wind energy investments under different support schemes. *Applied Energy*, 188, 83–96. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.111>
- Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu – Genel değerlendirme. *Mühendis ve Makine*, 54(639), 32–44.

- Liu, Y., Zheng, R., Chen, S., & Yuan, J. (2019). The economy of wind-integrated-energy-storage projects in China's upcoming power market: A real options approach. *Resources Policy*, 63, Article 101434. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101434>
- Liu, Q., Sun, Y., Liu, L., & Wu, M. (2021). An uncertainty analysis for offshore wind power investment decisions in the context of the national subsidy retraction in China: A real options approach. *Journal of Cleaner Production*, 329, Article 129559. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129559>
- Loncar, D., Milovanovic, I., Rakic, B., & Radjenovic, T. (2017). Compound real options valuation of renewable energy projects: The case of a wind farm in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 354–367. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.005>
- Miles, J. A., & Ezzell, J. R. (1980). The weighted average cost of capital, perfect capital markets, and project life: A clarification. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 15(3), 719–730. <https://doi.org/10.2307/2330405>
- Mohr, S. H., Wang, J., Ellem, G., Ward, J., & Giurco, D. (2015). Projection of world fossil fuels by country. *Fuel*, 141, 120–135. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.10.030>
- 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 Policy*, 55, 335–352. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.019>
- Moon, Y., & Baran, M. (2018). Economic analysis of a residential PV system from the timing perspective: A real option model. *Renewable Energy*, 125, 783–795. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.003>
- Myers, S. C. (1984). Finance theory and financial strategy. *Interfaces*, 14(1), 126–137. <https://doi.org/10.1287/inte.14.1.126>
- Onar, S. Ç., & Kılavuz, T. N. (2015). Risk analysis of wind energy investments in Turkey. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21(5), 1230–1245. <https://doi.org/10.1080/10807039.2014.981855>
- Penizzotto, F., Pringles, R., & Olsina, F. (2019). Real options valuation of photovoltaic power investments in existing buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, Article 109308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109308>
- Santos, L., Soares, I., Mendes, C., & Ferreira, P. (2014). Real options versus traditional methods to assess renewable energy projects. *Renewable Energy*, 68, 588–594. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.046>
- Sisodia, G. S., Soares, I., Ferreira, P., Banerji, S., & Prasad, R. (2015). Projected business risk of regulatory change on wind power project: Case of Spain. *Energy Procedia*, 79, 1054–1060. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.609>
- Şimşek, Ş. (2022). Jeotermal enerjinin doğrudan ve dolaylı kullanım alanları: Türkiye örneği. *Yerbilimleri ve Enerji Dergisi*, 34(1), 12–27.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *Türkiye elektrik enerjisi kurulu güç son durum raporu*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı [SBB]. (2024). *2025–2027 dönemi yatırım programı hazırlama rehberi (Makroekonomik göstergeler, sabit kur ve fiyat varsayımları)*. <https://www.sbb.gov.tr>
- ThinkGeoEnergy. (2024). *Top 10 geothermal countries power generation capacity (2023–2024 update)*. ThinkGeoEnergy Research.
- TradingView. (2026). *BIST enerji sektörü hisse senedi fiyat serileri ve 3 yıllık hareketli beta göstergeleri*. Erişim tarihi 23 Eylül 2026, <https://tr.tradingview.com>
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2024). *Aylık elektrik üretim-tüketim ve kurulu güç istatistikleri*. TEİAŞ İstatistik ve Raporlama Dairesi Başkanlığı.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası [TCMB]. (2015–2026). *Döviz kurları (Gösterge niteliğindeki ortalama kurlar) ve Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE) veri serileri [Veri seti]*. Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (EVDS). <https://evds2.tcmb.gov.tr>
- Wang, B., Feng, Z., Feng, J., Yu, P., & Cui, L. (2022). Decision making on investments in photovoltaic power generation projects based on renewable portfolio standard: Perspective of real option. *Renewable Energy*, 189, 1033–1045. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.048>

Zhang, M. M., Zhou, P., & 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.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.07.028>