

ENERJİ KAYNAKLARININ TÜKENEBİLİRLİĞİNİN EKONOMİK VE FİNANSAL AÇIDAN İNCELENMESİ*

A REVIEW ON THE EXHAUSTION OF ENERGY RESOURCES FROM THE ECONOMIC AND FINANCIAL PERSPECTIVE

Dr. Mustafa GÖZEN

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, mgozen@epdk.org.tr, Ankara/TÜRKİYE

ÖZ

Enerji kaynakları sınırlı rezerve sahip olup günümüzde ekonomik hayatın vazgeçilmez girdisi haline gelmiştir. Ancak uygarlığın ve yaşamın bugünkü üretim ve tüketim kalıplarıyla sürdürülüp sürdürülemediği çok sık tartışılmaktadır. Bu kapsamda sınırlı kaynakların tükenmesinin, ekonomik yaşamı nasıl etkileyeceği tartışılan konuların başında gelmektedir. Enerji kaynaklarının tükenmesinin kaçınılmaz bir sonuç olduğu genel kabul görmektedir. Buradan hareketle, bu çalışmanın amacı enerji kaynaklarının tükenebilirliği olgusunun ekonomik ve finansal açıdan incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda tarihsel olarak enerji kaynaklarının tükenebilirliğine ilişkin farklı yaklaşımlar tanıtılmıştır. Bunun yanında tükenebilirlik olgusu Hotelling Kuralı, Hubbert Eğrisi ve opsiyon fiyatlandırma teorisi çerçevesinde tartışılmıştır. Opsiyon fiyatlandırma teorisi enerji kaynaklarına ilişkin projelerin değerlendirilmesinde esnekliklerin dikkate alınmasını sağlamaktadır. Bu şekilde opsiyon fiyatlandırma teorisi ile ekonomik olmayan kaynaklar yapılabilir olarak sınıflandırılıp değerlendirilebilmektedir. Kaynakların tükenebilirliği konusunda yapılan tartışmalar, tükenebilirliğin fiziksel ya da ekonomik boyutu bazında yapılmaktadır. Her iki yaklaşımın enerji kaynaklarının tükenebilirliğini tek başına açıklamakta yeterli olmayacağı değerlendirilmektedir. Yeni kaynak ve rezervlerin keşfedilmesi ile ekonomik olmayan kaynakların ekonomiye kazandırılması için yenilikçi gelişmelerin, bugün için kaynak tükenmesinden daha öncelikli bir konu olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan enerji kaynaklarının tükenmesinden gelecek neslin en az etkilenmesi ve kalkınmada sürdürülebilirliğin devamı açısından teknolojik çalışmalara ağırlık verilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Kaynakları, Tükenebilir Kaynaklar, Tükenmeyen Kaynaklar

ABSTRACT

Energy resources have limited reserves and nowadays become an indispensable input to economic life. However, it is often argued that civilization and life can not be sustained by the current production and consumption patterns. In this context, how the depletion of limited resources will affect the economic life is at the forefront. It is generally accepted that the exhaustion of energy resources is an inevitable result. From this point of view, the aim of this study is to review energy resource availability from the economic and financial perspectives. To this end, historically different approaches to the exhaustion of energy resources have been introduced. Besides this, the case of exhaustion is discussed in the framework of Hotelling Rule, Hubbert Curve and option pricing theory. The option pricing theory ensures that flexibility is taken into account when evaluating projects related to energy resources. In this way, non-economic resources can be classified and evaluated as feasible with option pricing theory. Discussions on the exhaustion of energy resources are based on the physical or economic dimension of exhaustion. It is estimated that both approaches alone will not be enough to explain the exhaustion of energy resources. The discovery of new resources and reserves together with innovative developments for bringing non economical resources into the economy are considered to be a priority over resource depletion today. Technological studies should be given more importance in terms of sustainable development and in order to ensure that the next generation is least influenced by this result.

* Bu çalışma, Mustafa Gözen tarafından hazırlanan ve Enerji Piyasası Bülteninin 2012 yılı Nisan ayı sayısında yayımlanan "Enerji Kaynaklarının Tükenebilirliği Üzerine" başlıklı çalışmanın geliştirilmiş halidir.

Keywords: Energy Resources, Exhaustible Resources, Inexhaustible Resources

1. GİRİŞ

Uygarlığın sürdürülmesi için enerji kaynakları çok eski tarihlerden itibaren kullanılmaktadır. Ülke nüfuslarındaki artış ve ekonomilerdeki büyüme ile birlikte enerji tüketimi de artmaktadır. Herhangi bir ülke veya bölgede medeniyetin geldiği seviye, kişi başına enerji tüketiminde geline aşama ile ölçülmektedir. Dünyada teknolojik gelişme ile birlikte enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Nitekim dünyada son beş yüzyılda nüfus artışı ve enerji yoğun üretim tekniklerinin geliştirilmesi sonucunda enerji tüketiminde yüksek artışlar görülmüştür. Bu çerçevede; ABD, Avrupa Birliğine üye ülkeler ile Japonya gibi gelişmiş ülkelerin belli başlı enerji tüketicisi oldukları görülmektedir. Diğer taraftan, son yıllarda Çin ve Hindistan başta olmak üzere, gelişmekte olan ülkelerde de enerji talebi gittikçe artmaktadır. Günümüz ekonomileri artık büyük ölçüde enerji kullanımına bağımlı hale gelmiştir. Diğer taraftan, fosil enerji kaynakları çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açtıkları gerekçesiyle her zaman gündemde olmaktadır.

Dünya enerji talebinin tamamına yakın kısmı, yaklaşık %90'ı hidrokarbon esaslı enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu enerji kaynaklarının temel özelliklerinden biri, tüketildiklerinde yerine yenisinin konulmasının mümkün olmaması, yenilenemez olmalarıdır. Bu özellik, enerji kaynaklarının tükenmesine karşı kaygı oluşturmaktadır.

Dünyada 1970'li yıllara kadar enerji kaynaklarının yeterliliği konusu gündeme gelmemiştir. Ancak 1973-1974 yıllarında petrol fiyatlarındaki artış, enerji kaynaklarına yönelik kaygı oluşturmuş, bu kaygı zamanla artmış ve sonuçta enerji kaynaklarının tükenebilir olduğu olgusunun tüm dünyada hâkim olmasına yol açmıştır.

Bu itibarla, bu çalışmada enerji kaynaklarının tükenebilirliği olgusu ekonomik ve finansal açıdan incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda enerji kaynaklarının tükenebilirliğine ilişkin farklı yaklaşımlar tarihsel perspektiften ele alınmıştır. Çalışma beş bölüm olarak tasarlanmış ve bu çerçevede bu bölümden sonraki ikinci bölümde enerji kaynaklarının tükenebilirliği olgusu, üçüncü bölümde enerji kaynaklarının tükenme hızını etkileyen faktörler ele alınmıştır. Dördüncü bölümde tarihsel olarak tükenebilirliğe ilişkin farklı yaklaşımlara yer verilmiş ve bu kapsamda Hotelling Kuralı, Hubbert Eğrisi ve opsiyon fiyatlandırma teorisine dayalı çalışmalar çerçevesinde tükenebilirlik konusu tartışılmıştır. Beşinci bölümde farklı tükenebilirlik yaklaşımları incelenmiştir. Altıncı ve son bölümde tükenebilirliğe ilişkin değerlendirme yapılarak önerilerde bulunulmuştur.

2. ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜKENEBİLİRLİK OLGUSU

Enerji kaynakları, esas itibarıyla, tükenebilir ve tükenmeyen (yenilenebilir) olmak üzere iki grup altında sınıflandırılabilir. Tükenebilir kaynakların tükenme hızı, bu kaynakların doğadaki oluşum hızından çok daha yüksektir. Bu nedenle; tükenen kısmın doğada yerine konulması, insan ömrü dikkate alındığında, çok daha uzun zaman gerektirmektedir. Bu gruba giren belli başlı kaynak türleri; petrol, kömür, doğal gaz gibi karbon esaslı fosil kaynaklardır. Diğer kaynak türü olan tükenmeyen kaynaklar, yenilenebilir kaynaklar olup bu kaynakların temel özelliği, tüketildiklerinde yerine yenisinin konulabilmesi ya da tükenmez niteliğe sahip olmalarıdır. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi kaynaklar bu özelliğe sahip kaynaklardır.

Sanayi devrimi öncesinde, insanlar yaşamları için gerekli enerjinin temini amacıyla genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmışlardır. Bu çerçevede; odun hem ısınma hem yemek pişirmede, rüzgâr enerjisi yelkenli gemilerde ve su enerjisi tahılların öğütülmesinde kullanılmıştır. İnsanlığın ilk kullandığı enerji kaynağı odun olmuş, bu kaynağı sırasıyla kömür ve petrol izlemiş olup günümüzde doğal gaza geçiş yaşanmaktadır (Ediger, 2007: 30). Sanayi devrimi ile birlikte fosil yakıtların tüketimi artmaya başlamış ve bu tür yakıtlar yaşam için gerekli temel yakıt haline gelmiştir. 2016 yılı sonu itibarıyla dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %85'inin fosil yakıtlardan karşılandığı bilinmektedir (BP Statistical Review of World Energy, 2017).

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla ağırlık verilmesine rağmen, fosil yakıtlar temel enerji kaynağı olma özelliğini korumakta olup yakın gelecekte bu özelliğini devam ettireceği öngörülmektedir. Diğer taraftan, geleceğin enerjisinin hidrojen ağırlıklı bir kaynak olacağı da vurgulanmaktadır (Ediger, 2007: 30).

Enerji kaynaklarının jeolojik yapıdan kaynaklanan özellikleri ile ticari ve siyasi olarak uluslararası ilişkilerde oynadıkları roller dikkate alındığında, yer kabuğundaki enerji kaynaklarının miktarını, doğru ve kesin olarak hesaplamak mümkün olmamaktadır. Bunun yanında, ulusal çıkar gerekçesiyle rezerve ilişkin bilgiler gizli tutulabilmekte veya rezerv bilgileri kamuoyu ile paylaşılmayabilmektedir. Diğer taraftan, sismik araştırma teknikleri ve bilgisayar modellemesinde geline aşama sayesinde enerji kaynaklarının rezervleri yüksek belirlilik altında bilinmektedir.

Enerji kaynakları yer kabuğunda değişik konsantrasyonlarda bulunmakta ve mümkün olduğunca az enerji harcanarak kolayca çıkarılabilir olanlar öncelikle kazanılmaktadır. Tenörü ve kalitesi yüksek olan kaynaklar çıkarıldıkça, sanayi gittikçe daha düşük kalitedeki kaynakların çıkarılması zorunluluğu ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu nitelikteki kaynakların çıkarılması, daha yüksek miktarda enerji harcanmasını beraberinde getirmektedir. Daha düşük kalitedeki kaynakların çıkarılmasına yönelik eğilimin devam edeceği varsayımı altında, yer kabuğunda belirli bir miktar kaynağın bırakılabileceği ve çoğu kaynağın fiziksel olarak tükenmeyeceği sonucuna ulaşılabilir.

Dünyanın üçte ikisinin deniz suyu ile kaplı olduğu, deniz suyunun birçok elementi yüksek miktarlarda içerdiği, deniz suyundan üretimin ekonomik olarak yapılabilir ve bunun için gerekli enerjinin ucuz ve yeterli olması halinde, gelecekte dünyada kaynak yetersizliği ile karşılaşmayacağı da düşünülebilir. Bu şekildeki bakış açısının, enerji kaynakları üzerinde gelecek nesillerin de hakkı olduğunu vurgulayan ve kaynakların gelecek nesiller için korunması gerektiğini savunan kesimin görüşünün zayıflamasına yol açtığı söylenebilir.

3. KAYNAKLARIN TÜKENME HIZINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Enerji kaynaklarının tükenme hızını çeşitli faktörler etkilemekte olup söz konusu faktörleri 6 ana başlık altında toplamak mümkündür. Bu faktörler ekonomik büyüme, nüfus artışı, ikame kaynak ve ürünler, teknolojik gelişme, yeni kaynak ve rezervlerin keşfedilmesi, çevresel duyarlılık ve piyasada monopol yapının varlığıdır.

a) *Ekonomik büyüme*: Ülke ekonomilerindeki büyüme ile birlikte mal ve hizmetlere olan talepte artış görülmekte, bu da enerji kaynaklarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Enerji kaynaklarına olan talebin artış derecesine bağlı olarak kaynakların tükenme hızı da artacaktır. Diğer taraftan; enerji kaynakları bakımından zengin olmanın, ekonomik büyümeyi artıracak anlamına gelmeyeceği de bilinmektedir. Kaynak bakımından zengin ülkelerin sahip oldukları kaynakları ekonomik büyüme ve kalkınma için kullanamamaları veya ekonomik büyüme ile kaynak zenginliği arasında negatif korelasyon olması kaynak laneti (*resource curse*) olarak ifade edilmektedir (Bhattacharyya, 2011: 427).

b) *Nüfus artışı*: Satın alma gücü yüksek nüfus sayısındaki artış, enerji kaynaklarının tükenme sürecini hızlandırıcı etkide bulunur. İnsanların asgari düzeyde yaşam kalitesine sahip olması yönündeki duyarlılığın artması ile önümüzdeki yıllarda daha fazla enerji kaynağına ihtiyaç olacağı düşünülmektedir. Son yıllarda Çin ve Hindistan gibi Uzak Doğu ülkelerindeki çift haneli ekonomik büyüme ve enerji taleplerindeki artışlar bu yöndeki değerlendirmeleri destekler niteliktedir.

c) *İkame kaynak ve ürünler*: Herhangi bir enerji kaynağının kullanıldığı alanlarda tüketilebilecek başka kaynak ve ürünlerin olması, enerji kaynağının ikame kaynak ve ürünler ile rekabetini beraberinde getirecektir. İkame kaynak ve ürün ile yoğun rekabet içerisinde olan enerji kaynağının ömrü azalabilecek veya kullanım/tüketimde tamamen ikame kaynak ve ürünlerin tercih edilmesiyle

ilgili enerji kaynağının yeterli rezervi olsa bile ekonomik olarak çıkarılması anlam ifade etmeyebilecektir.

ç) Teknolojik gelişme: Maliyet etkin yeni teknolojiler, kaynakların yer kabuğundan çıkarılma maliyetlerini ve neticede enerji kaynaklarının birim maliyetini azaltıcı yönde etkide bulunur. Alternatif enerji kaynaklarının keşfedilmesi, araçların yakıt verimini artıran veya fosil kaynakların başka teknolojiler ile kullanımını geliştiren yeni motorların kullanılmasının, enerji fiyatlarını azaltıcı ve enerji kullanımını artırıcı etkide bulunması beklenebilir. Dolayısıyla maliyet etkin teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, enerji kaynaklarının tükenmesini hızlandıran bir etkiye sahip olacaktır.

d) Yeni kaynak ve rezervlerin keşfedilmesi: Bugün gelinen teknolojik düzey dikkate alındığında; petrol, kömür, doğal gaz başta olmak üzere doğal kaynakların rezervleri kesin olarak ortaya konulamamaktadır. Yeni kaynak ve rezervlerin bulunması, kaynak üretim maliyetini azaltıcı yönde etkide bulunacak ve bu şekilde enerji fiyatlarında azalma görülebilecektir. Nitekim yeni kaynak ve rezerv arama çalışmaları ekonomik faaliyetler olup, enerji fiyatlarının yüksek olduğu ve kaynak yetersizliği yönünde tahmin ve değerlendirmelerin olduğu dönemlerde arama çalışmaları artmaktadır. Böylece enerji kaynaklarının rezervi ile fiyatları arasında birbirini izleyen dalgalanmaların görülmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Herhangi bir kaynağa ilişkin yüksek fiyat ile o kaynağa ilişkin arz sorunu arama faaliyetlerinin artmasına, yeni arama ve araştırma sonucunda yeni kaynak ve rezervlerin bulunmasıyla enerji fiyatlarında azalma görülebilir. Fiyatlardaki azalma yeni kaynak ve rezerv arama çalışmalarını caydırıcı yönde etkide bulunabilir. Nitekim 1970'li yıllardaki yüksek enerji fiyatları yeni arama çalışmalarını teşvik etmiş ve 1980 ile 1990'lı yıllarda kaynak arzının artmasına yol açmıştır. Son 20 yılda düşük seyreden enerji fiyatlarının arama çalışmalarını desteklemediği ve günümüzde enerji kaynaklarının yetersiz olduğu algısının artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

e) Çevresel duyarlılık: Çevre konusunda artan duyarlılık sonucunda sera gazı emisyonuna ilişkin getirilen sınırlamaların, fosil enerji kaynaklarının tüketimini etkilemesi beklenmektedir.

f) Monopol piyasa yapısı: Yukarıdaki bahsedilen faktörlerin tümünde, piyasada tam rekabetin olduğu varsayılmıştır. Ancak enerji piyasasında rekabetin olmadığı alan ve dönemler de bulunmaktadır. Nitekim petrol üreticisi bazı ülkeler, OPEC çatısı altında toplanarak ortak hareket etmektedirler. Bu şekilde hedefleri doğrultusunda üretim azaltılarak fiyat artırılabilir.

4. TARİHSEL OLARAK TÜKENEBİLİRLİĞE İLİŞKİN DÜŞÜNCELER

Tükenebilirlik konusunda, esas itibarıyla, 1970'li yıllara kadar, Thomas Malthus, David Ricardo, John Stuart Mill, Harold Hotelling ve Marion King Hubbert araştırma yapmışlardır. 1970 yılından itibaren bu konuda yapılan araştırmaların sayısında artış görülmüştür. Tarihsel süreç içerisinde, yaklaşık 200 yıl önce, Thomas Malthus'un doğal kaynakların yeterliliği kavramını ortaya attığı ve bu çerçevede, tükenebilirlik konusuna ilk defa klasik ekonomistlerin değindiği bilinmektedir.

Doğal kaynakların üretimine ilişkin klasik bakış açısının, 1860'lı yıllarda William Stanley Jevons tarafından sistematik hale getirildiğini söylemek mümkündür (Ediger, 2005: 221-222; Bradley ve Fulmer, 2004; Bradley, 2004: 4). Jevons 1865 yılında Kömür Sorunu (The Coal Question) başlıklı kitabında, Birleşik Krallığın ekonomik bir güç olmasına katkıda bulunan kömürün hızla tükenmekte olduğu vurgulanmıştır (Ediger, 2005: 221-222).

Jevons, herhangi bir enerji kaynağından yapılan üretim miktarının önce arttığını ve belli bir noktada zirve yaptığını, daha sonra rezervin azalmasına bağlı olarak düştüğünü belirtmiştir (Bradley ve Fulmer, 2004; Bradley, 2004: 4-5). Bunun yanında, kömür madenlerinin tükeneceği konusunun, ilk

defa John Williams'ın 1789 yılında yayınlanan, Mineral Krallığının Doğal Tarihi (Natural History of the Mineral Kingdom) isimli eserinde ele alındığını belirtmek gerekir (Ediger, 2005: 221-222; Bradley ve Fulmer, 2004; Bradley, 2004: 5-6).

Jevons'ın çalışmasında, kalkınma hızından ödün verilmeden, halihazırdaki miktarlarda ve biçimiyle kömür tüketilmeye devam edilirse, gelecek yıllarda tüketim miktarının ne olacağı ve bunu karşılayacak miktarda kömürün olup olmadığı sorgulanmıştır. Jevons'ın tartışmaya açmak istediği, kömürün tükenmesi durumunda refah düzeyinin düşüp düşmeyeceği, düşerse bunun ne zaman gerçekleşeceği konularıdır (Ediger, 2005: 221-222; Bradley ve Fulmer, 2004; Bradley, 2004).

1890'lı yılların başında, Gifford Pinchot "*Doğal Kaynakları Korumaya Yönelik Mücadele*" (*The Fight for Conservation*) adlı kitabında, "*Medeniyetimizin en önemli ve vazgeçilmez beş malzemesi; odun, su, kömür, demir ve tarımsal ürünlerdir. 50 yıl yetecek kadar antrasit kömürüne ve 200 yıldan daha az zaman yetecek bitümlü kömüre sahibiz. Demir cevheri, ham petrol ve doğal gaz kaynaklarımız hızla tüketilmiştir. Enerji kaynakları bir kere tüketildi mi tamamen tüketilmekte ve yerine yenisini koymak mümkün değildir*" denilerek bu konuda duyulan kaygı belirtilmiştir (Tilton, 2002).

Tükenebilir nitelikteki bir doğal kaynaktan yapılan üretim faaliyetinin, herhangi bir işletme için geçerli olan, kar maksimizasyonu kapsamında ele alınabileceği, 1931 yılında Harold Hotelling tarafından ortaya konulmuştur (Snow, 2000). Hotelling Kuralı ile indirgeme faktörü ile doğal kaynağın tükenme hızı arasında matematiksel ilişki kurulmuştur. Buna göre indirgeme faktöründeki değişime bağlı olarak, doğal kaynağın tükenme hızında da değişiklik olacaktır. İndirgeme faktörü artıkça, ilgili doğal kaynağın tükenmesi o derece hızlı gerçekleşecektir (Snow, 2000).

Diğer taraftan, 1951 yılında Zimmermann, insanların akıllarını kullanmaları halinde, dünyadaki enerji kaynaklarının hiçbir zaman tükenmeyeceği, kaynakların esas itibarıyla yeraltından değil bilgidен geldiğini, bilginin en önemli kaynak olduğunu vurgulamıştır (Zimmermann, 1951: 10).

1956 yılında, enerji kaynaklarının çıkarılmasında zirve noktasının ne zaman gerçekleşeceğine yönelik Marion King Hubbert tarafından çalışma yapılmış ve kendi adıyla bilinen Hubbert zirve teorisi geliştirilmiştir (Campbell ve Laherrere, 1998). Hubbert'in önerisi çerçevesinde, üretim faaliyetinde zirvenin ne zaman gerçekleştiği veya gerçekleşeceği tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu teoriye göre, üretimde zirve noktasından sonra ilgili kaynağın üretiminde tedrici olarak azalma beklenmektedir.

1970 yılında Paul Ehrlich ve Anne Ehrlich, o tarihten itibaren 25 yıl içerisinde, başka bir deyişle 1995 yılına kadar insanlığın ana enerji kaynağı olarak petrol dışında başka kaynakları arayacağını vurgulamışlardır (Bradley ve Fulmer, 2004). Paul Ehrlich ve Anne Ehrlich, kaynakların ömrü ne olursa olsun, tüm kaynakların ekonomik olarak çıkarılamayacağı bir noktanın bulunduğunu ve dolayısıyla kaynak arzının sınırlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca fosil kaynakların tükenmesini geciktirmek için bu kaynakların kullanımına yönelik vergi getirilmesinin, bu kaynakların fiyatının artmasına yol açabileceği ve neticede kaynak tüketiminin azalabileceğini belirtmişlerdir. Başka bir deyişle, maliye politikalarının kaynakların tükenebilirliğine olumsuz yönde etkide bulunacağını vurgulamışlardır (Bradley ve Fulmer, 2004).

1972 yılında Roma Kulübü tarafından yayımlanan Büyümenin Sınırları (*The Limits to Growth*) başlıklı yayında; mevcut eğilimler çerçevesinde, kaynakların tükenmekte olduğu ve dünyada 1992 yılına kadar petrolün, 1993 yılına kadar ise doğal gazın tükeneceği öngörülmüştür (Bradley ve Fulmer, 2004; Bradley, 2004: 5). O dönemde politikacılar ile birlikte üst düzey şirket yöneticileri de petrolün tükeneceğini kabul etmişler ve 1970 yılı sonu ile 1980 yılı başlarında bazı büyük petrol

şirketleri, şirketlerinin kaynak ve varlıklarını petrol dışı alanlara aktarmaya başlamışlardır (Bradley ve Fulmer, 2004; Bradley, 2004: 6).

Tükenebilir kaynakların rezervi ve yeterliliği konusunda yapılan tahminlerin hatadan muaf olmadığı anlaşılmaktadır. Roma Kulübü; kaynakların yetersizliği ile çevre kirliliğindeki artışın, dünyanın geleceğini etkileyen temel konu olduğunu vurgulamıştır. Bu dönemde yapılan tahminlerde, dünya nüfusunun 21 inci yüzyıl ortasında önemli ölçüde azalacağı öngörülmüştür. Ancak bu tahminlerde, enerjiden çok madenler, karbon dioksitten ziyade kimyasal maddelerin kirlitici etkileri üzerinde durulmuştur (Bradley ve Fulmer, 2004; Bradley, 2004: 5-6). Nitekim sera gazının etkileri günümüzde yeni tartışılmakta, ortak politika geliştirilmesi yönünde girişimlerde bulunmaktadır.

Cook (1976); yerkabuğunda doğal kaynakların gerçek anlamda tükenmeyeceğini, sadece fiyatının daha fazla olacağını, fiyatı arttıkça tüketim ve kullanımının azalacağını, tükenme olgusunun ise fiyatın kabul edilemeyecek ölçüde artması anlamına geleceğini vurgulamıştır.

Adelman (1997); günümüzde bilinen rezervlerin çoğunun, gelecekte daha iyileri bulunacağı için hiç kullanılmayacağını, bu rezervlere olan ihtiyacın ortadan kalkabileceğini belirtmiştir. Adelman (1997) ve Adelman (2004) yeraltındaki kaynağın miktarının, o kaynağa olan talep ve çıkarma maliyeti dışında hiçbir anlamının olmadığını, petrolün hiçbir zaman tükenmeyeceğini vurgulamıştır. Adelman (1997) bu şekilde kaynak miktarından ziyade, o kaynağa olan talebin ve o kaynaktan yapılan üretimin ekonomikliğini ön plana çıkarmıştır.

Zimmermann ve Simon, Jevons tarafından öne sürülen klasik görüşü reddetmiştir. Bunun yerine, insanların mevcut rezervleri geliştirmek ve yenilerini bulmak amacıyla bilgi ve sermayeyi kullandıkça üretiminde artacağını belirtmişlerdir (Simon, 1999: 23-24). Simon (1999) teknolojik gelişmeler ile insan zekasının yeni kaynakları ortaya çıkaracağını vurgulamıştır (Simon, 1999: 25; Moore, 1998: 10-13).

Brown ve Walk (2000)'ın Doğal Kaynakların Kıtlığı ve Teknolojik Değişim (*Natural Resources Scarcity and Technological Change*) başlıklı makalesinde “*Kanıtlar, geçmiş yüzyılda, serbest piyasa güçlerinin belirlediği yeni teknolojinin, yenilenemez nitelikteki doğal kaynakların jeolojik kıtlık sorununu çözdüğünü göstermektedir. 20 nci yüzyılın son yıllarında piyasaya artan güven, bu eğilimin 21 inci yüzyılda da devam edeceğine yönelik iyimserliğin nedenidir.*” denilmiştir.

Appenzeller (2004) ise petrolün azalması ile birlikte artık ucuz petrolün sonuna gelindiğini ve gelecekte petrolün fiyatının artacağını vurgulamıştır.

Yukarıda değinilen tüm tahmin ve değerlendirmelere karşın, günümüze kadar enerji kaynaklarının rezervinde artış görülmüş, kaynakların tükenmesi sonucu ile karşılaşılmamıştır. O yıllarda yapılan değerlendirmelerdeki hatanın temel kaynağının, mevcut bilinen ve ekonomik olarak kazanılabilir rezervin, o zaman bilinen tüketime bölünmesi ile kaynak ömrünün hesaplanması olduğu düşünülmektedir. Örneğin; yukarıda aktarılan yaklaşım çerçevesinde, rezervin 200 birim ve tüketimin 10 birim olduğu varsayılırsa, ilgili kaynağın rezerv ömrünün 20 yıl olacağı sonucuna varıldığı anlaşılmaktadır.

Bu tarz hesaplamalardaki ana sorun, “bilinen kaynak” kavramının değişken olması ve ayrıca sürekli olarak daha fazla kaynak bulunması yönünde araştırma yapılması ve yeni kaynakların bulunmasıdır. Araştırma pahalı ve sonuçlarının alınması için belli bir süre gerektirdiğinden bugünden 100-200 yıl sonrası için kaynak aramak cazip olmamaktadır. Bu nedenle, birçok doğal kaynağın bilinen rezervi 15-20 yıllık tükenme hızına, başka bir deyişle rezerv ömrüne sahiptir.

Bu konuda sorun teşkil eden ikinci husus, ekonomi bakış açısı ile açıklanabilir. Herhangi bir işletme ekonomik açıdan kazanç sağladığı sürece, o işletmede üretim faaliyeti devam edecektir. Fiyatlar

arttığında ya da daha etkin teknolojiler kullanıldıkça, ekonomiklik bundan olumlu yönde etkilenecektir.

Üçüncü konu ise, yıllık tüketim hızıdır. Ekonomik ve sosyal çevre değiştiğinde, insanların mal ve hizmetlere yönelik tercih ve tüketim kalıpları da değişmektedir. Gelecekte doğal gaz aramanın ve üretmenin zor olması halinde, doğal gaz fiyatı yükselir ve bu durum, kısa vadede insanları daha etkin enerji kullanmaya ve daha uzun vadede ise alternatif kaynakları kullanmaya zorlayacaktır.

4.1. Doğal Kaynakların Ekonomisi ve Hotelling Kuralı

Tükenebilir nitelikteki herhangi bir kaynağın fiyatı esas itibarıyla o kaynağın göreceli olarak kıtlığı ve ikame kaynakların varlığı hakkında bir gösterge niteliğindedir. Herhangi bir kaynağın kıt olması ile birlikte, o kaynağın fiyatında artış olması ve fiyattaki bu eğilimin ikame kaynakların üretim ve tüketimini teşvik etmesi beklenir.

Serbest piyasa ortamında tüketilebilir nitelikteki bir kaynaktan yapılan üretim faaliyeti, herhangi bir işletme için geçerli olan, kar maksimizasyonu problemi olarak da değerlendirilebilir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Snow, 2000).

$$\frac{dX}{dt} = -H(t) \quad (1)$$

(1) numaralı formülde, X tüketilebilir nitelikteki doğal kaynağın rezerv miktarını, H birim zamanda ilgili kaynaktan yapılan üretim miktarını, t ise zamanı göstermektedir. İlgili doğal kaynağın çıkarım maliyeti ve piyasaya arz edilene kadarki tüm maliyetler çıkarıldıktan sonra üretim faaliyeti için net fiyat bugün için P_0 ve r indirgeme faktörü olmak üzere t zamanındaki net fiyat ise P_t aşağıdaki gibi yazılabilir (Hotelling, 1931: 141; Devarajan and Fisher, 1981: 66; Jovanovic, 2007: 4-5).

$$Max : PV (P_t) = \int_0^{\infty} P_0 (e^{-rt}) dt \quad (2)$$

(2) numaralı formül, tüketilebilir doğal kaynakların temel problemi olup, ilk defa 1931 yılında Harold Hotelling tarafından ortaya atılmıştır. (2) numaralı formüldeki integral çözülerek maksimum toplam kar için,

$$P_t = P_0 e^{rt} \quad (3)$$

elde edilir (Hotelling, 1931: 141). (3) numaralı formül, Hotelling Kuralı olarak bilinmekte ve bu formül çerçevesinde, üstel fiyat artışlarının indirgeme faktörüne eşit olduğu görülmektedir. Bu formülün ekonomi bilimindeki karşılığı şu şekilde açıklanabilir. Yerkabuğundaki doğal kaynak, finans piyasasında kullanılan tahvil gibi aynı öneme sahip olup başka bir deyişle tüketilebilir doğal kaynakların bir çeşit finansal araç olduğu da değerlendirilebilir.

(3) numaralı formül çerçevesinde, Hotelling Kuralına göre herhangi bir doğal kaynak tükendikçe, o doğal kaynağın fiyatı artmakta, fiyatı arttıkça o doğal kaynağa olan talep ve neticede o doğal kaynaktan yapılan tüketim miktarı da azalmaktadır. Bu eğilim çerçevesinde; fiyat artışı alternatif teknolojinin veya ilgili kaynak için ikame kaynağın ekonomik olarak yapılabilir olduğu duruma kadar artar. Fiyat artışının durduğu, ulaşılan en yüksek fiyat seviyesi, zirve fiyat (*backstop price*) olarak adlandırılmaktadır (Campbell ve Laherrere, 1998).). Bu fiyat seviyesinde doğal kaynağın fiyatındaki artış eğilimi durur ve bu nedenle, zirve fiyat seviyesinden sonraki fiyatlarda o doğal kaynaktan yapılan üretim faaliyeti de durdurulur. Bu noktada fiziksel olarak yerkabuğunda bir miktar tüketilebilir doğal kaynak kalsa dahi, ilgili doğal kaynağın ekonomik olarak tükendiğinden bahsedilebilir.

Hotelling Kuralına göre indirgeme faktöründeki değişime bağlı olarak, doğal kaynağın tükenme hızında da değişiklik olacaktır. İndirgeme faktörü artıkça, doğal kaynağın tükenmesi o derece hızlı gerçekleşir. Bunun yanında, doğal kaynaktan yapılan üretim miktarının azaltılması, o doğal kaynağın ömrünün uzaması yönünde katkı sağlar. Ayrıca yeni bir doğal kaynağın veya teknolojinin bulunması, piyasada fiyatlar üzerinde baskı oluşturur ve o doğal kaynağın ömrünün artmasını sağlar.

(3) numaralı formüle maliyetler de eklenip elde edilen kar için (Hotelling, 1931: 141; Snow, 2000).

$$\pi = PH - C(x)H \quad (4)$$

elde edilir. (4) numaralı formülde üretim maliyeti $C(x)$ X 'in bir fonksiyonu olup, formül buna göre yeniden düzenlenerek şu şekilde yazılabilir (Hotelling, 1931: 141; Snow, 2000;).

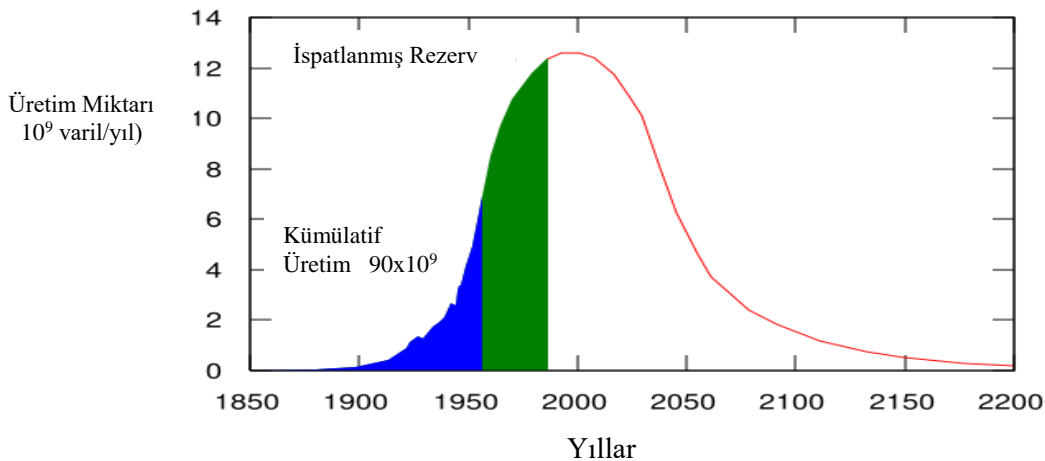
$$Max : PV (\pi) = \int_0^{\infty} [P - C(x)]H(e^{-rt}) dt \quad (5)$$

Hotelling Kuralında; zirve fiyat, doğal kaynağın miktarı, doğal kaynağa olan talep ve doğal kaynaktan yapılan üretimin maliyeti hakkında kesin bilgi olduğu varsayımına dayanmaktadır. Söz konusu parametrelerdeki belirsizlik, (5) numaralı formüle dahil edilerek amaca bağlı olarak çeşitli analizler yapılabilir.

4.2. Üretimde Zirve Noktası ve Hubbert Eğrisi

Hubbert eğrisi, ilk defa 1956 yılında Hubbert tarafından önerilmiş ve bu çerçevede, belli bir bölgede zaman içerisinde fosil yakıt üretiminin normal dağılım eğrisini izlediği belirtilmiştir (Campbell ve Laherrere, 1998). Hubbert eğrisi, petrol üretiminin zamanla değişimini, üretim hızını tahmin etmektedir.

Hubbert; petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklı rezervlerin bulunduktan sonra, bu rezervlerden üretimin önce üstel olarak arttığını varsaymıştır (Şekil 1). Belli bir noktada, zirve üretim noktasına ulaşıldığını ve üretimin bu noktadan sonra üstel olarak azalmaya başladığını göstermiştir. Üretimin zirve yaptığı noktaya Hubbert Zirvesi (*Hubbert peak*) denilmektedir (Campbell ve Laherrere, 1998).



Şekil 1: Hubbert Tarafından Petrol İçin Önerilen Eğri (Kaynak: Campbell ve Laherrere, 1998)

Üretimde zirve noktasına ulaşıldığında, sınırlı kaynak nedeniyle petrol üretimi gittikçe azalacaktır. Petrol çıkarma ve rafinasyon maliyeti, petrol üretim miktarında azalmaya yol açacaktır. Petrol üretimindeki bu tedrici azalma, Hubbert eğrisi teorisi çerçevesinde, öngörülen normal dağılım eğrisinin ikinci yarısına karşılık gelmektedir. Bu teoriye göre; petrol üretim hızı, yeni petrol

kuyularının bulunma hızına bağlı olarak belirlenmektedir. Üretim eğrisinde tahmin edilen düşüş hızının nispi eğimi, zirve yapan petrol üretiminin ekonomik ve sosyal etkilerine yönelik kaygının da ana sebebi olmaktadır. Üretim eğrisinde dik düşüş, küresel ölçekte petrol üretiminin çok azalacağını ve dünyada petrolün yerine kullanılacak enerji kaynaklarını geliştirmek için yeterli zamanın olmayacağı anlamına gelmektedir.

Günümüzde Hubbert teorisine karşı eleştiriler yöneltilmektedir. Bu teorinin geliştirildiği yıllarda, gelecekte oluşacak teknolojik gelişmeler ile alternatif yakıt kaynakları gibi eğride üstel artışı etkileyecek unsurların dikkate alınmamıştır. Bu açıdan bakıldığında, Hubbert Eğrisi teorisi, o zaman eldeki mevcut veriler çerçevesinde geliştirilmiş bir modeldir.

Bu teori çerçevesinde, petrol üretiminde zirvenin ne zaman olduğu veya olacağı tartışılan konular arasındadır. İyimser tahminler petrol üretiminde zirvenin 2020-2030 yılları arasında olacağını tahmin etmektedir (Campbell ve Laherrere, 1998). Petrol üretiminde; Campbell 2005-2010 yıllarında, Laherrere 2010-2015 yıllarında ve Bauquis 2020 yılı civarında zirveye ulaşılacağını tahmin etmektedir (Babusiaux ve Bauquis, 2007: 8). Bunun yanında Deffeyes, petrol üretiminde zirve noktasına 16 Aralık 2005 tarihinde ulaşıldığını belirtmiştir (Deffeyes, 2008).

Hubbert eğrisi çerçevesinde; yeni büyük yatakların bulunmasının artık mümkün olmadığı, verimliliği artıracak teknolojilerin geliştirildiği ve bu konudaki gelişmelerin tükenbilirlik konusunda önemli etkisinin olmayacağı belirtilmiştir. Ayrıca Campbell ve Laherrere (1998) Hubbert Eğrisini kullanarak ucuz petrolün sonuna gelindiğini tahmin etmiştir.

4.3. Opsiyon Fiyatlandırma Teorisine Dayalı Çalışmalar

Doğal kaynağa dayalı şirketlerin değerinin hesaplanmasında bu teori uygun bir değerlendirme yöntemi olmaktadır. Çünkü petrol ve doğal gazın işletilmesinde şirketler öncelikle ilgili kaynağın rezervini incelemekte ve elde edilecek bilgileri değerlendirerek rezerv durumuna ve piyasadaki fiyat hareketlerine bağlı olarak projeye devam kararı almakta veya projeden çekilmektedirler. Şirket yönetiminin üretimi durdurması veya üretime devam etmesi gibi esneklik, ancak opsiyon fiyatlandırma teorisi ile açıklanabilmektedir.

Bu teoriye dayalı uygulamalar 1973 yılında Black, Scholes ve Merton modelleri tarafından başlatılmıştır (Black and Scholes, 1973; Merton, 1973). İlk defa 1985 yılında Brennan ve Schwartz doğal kaynaklar projesini Black, Scholes ve Merton modeliyle değerlendirmiştir (Shafiee vd., 2009: 125-127). Black ve Scholes opsiyon fiyatlandırma modeli ise matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir (Torries, 1998: 118-119).

$$C = Se^{-\delta T} N(d_1) - Xe^{-r_f T} N(d_2) \quad (6)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r_f - \delta - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (7)$$

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

(6), (7) ve (8) no'lu formüllerde; C opsiyonun değerine, S hisse senedi spot fiyatına, X opsiyonun kullanım fiyatına, T vadeye kadar olan süreye, σ fiyat değişkenliğine, δ getiriye, r_f risksiz faiz oranına ve $N(d_1)$ ve $N(d_2)$ kümülatif olasılık dağılımlarına karşılık gelmektedir. Opsiyon

fiyatlandırma teorisinin enerji ve maden kaynaklarına uygulanmasına dayalı 19 adet çalışma seçilmiş, bu çalışmalar incelenmiş ve inceleme sonucu Tablo 1’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 1: Opsiyon Fiyatlandırma Teorisine Dayalı Çalışmalar

Yazar	Yıl	Çalışma	Bulgular
McDonald ve Siegel	1985	Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down	İşletme geliri, başka bir deyişle satış fiyatı değişken maliyetten daha düşükse ilgili projeden vazgeçilmelidir. Bu çalışma, bir projeye başlanması veya projenin kapanması gerekli gerekmediğine ilişkin soru soran bir çalışmadır.
Trigeorgis ve Mason Trigeorgis	1987 1996	Valuing managerial flexibility Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation	Farklı projeler için uygulanan opsiyon değerlemesine örnekler verilmiştir. Çeşitli yatırım projesi kararları, özellikle doğal kaynaklar için erteleme, genişletme ve kapatma seçenekleri sunulmuştur. Doğal kaynak projeleri ile ilgili kararların, emtia fiyatı dalgalanmalarına önemli ölçüde bağlı olduğu görülmüştür.
Paddock, Siegel ve Smith	1988	Option valuation of claims on real assets: The case of offshore petroleum leases	Opsiyon fiyatlama teorisi offshore petrol kira değerlemesi için uygulanmıştır.
Kulatilaka ve Marcus	1992	Project valuation under uncertainty: When does DCF fail?	Doğal kaynaklar, madencilik, petrol ve doğal gaz için opsiyon fiyatlama teorisinin uygulamasının erteleme, değiştirme ve kapatma seçeneklerinin şirket değerini artırdığı belirtilmiştir. Bu durum esneklikle bağlantılı olarak doğal kaynak şirketinin değerindeki artışı göstermektedir.
Laughton ve Jacoby	1993	Reversion, timing options, and long-term decision-making	
Pickles ve Smith	1993	Petroleum property valuation: A binomial lattice implementation of option pricing theory	
	1994	The general flexibility to switch: Real option revisited	
Kulatilaka ve Trigeorgis	1995	Investment under uncertainty the case of replacement investment decisions	
Mauer ve Ott	1986	Option pricing: A new approach to mine valuation	
Ott	1992	Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project Using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques	
Palm ve Pearson			
Cavender			
Blais, Poulin ve Samis	2005	Using real options to incorporate price risk into the valuation of a multi-mineral mine	Madencilik ve petrol projelerine ilişkin bazı ampirik bulgular, projelerin kapatılmasının veya geçici olarak durdurulması için opsiyon fiyatlandırma teorisine dayalı hesaplamalarda nakit akımına dayalı hesaplamalara göre daha fazla değer artışı görülmüştür.
Dessureault, Kazakids ve Mayer	2007	Flexibility valuation in operating mine decisions using real options pricing	
Guj ve Garzon	2007	Modern asset pricing – A valuable real option complement to discounted cash flow modelling of mining projects	
	2006	Valuing uncertain asset cash flows when there are no options: A real options approach,	
Samis vd.			

Hall ve Nicholls	2007	Valuation of mining projects using option pricing techniques	Varsayıma dayalı örnekler üzerinde yapılan bazı araştırmalarda, opsiyon fiyatlandırma teorisinin madencilik şirketleri için uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Faaliyete ilişkin esneklikler, maden ve petrol projelerinin değerinin önemli bir unsuru olarak görülmüştür.
Dogbe, Frimpong ve Szymanski	2007	Mineral reserve risk in continuous-time stochastic mine valuation	
Shafiee ve Topal	2008	Applied real option valuation (ROV) in a conceptual mining project	
Moel ve Tufano	2002	When are real options exercised? An empirical study of mine closings	Madencilik şirketleri projelerde esneklik ile daha fazla ilgilenmekte ve buna göre tedbir almaktadır.

Opsiyon fiyatlandırma teorisi enerji kaynaklarına ilişkin projelerin değerlendirilmesinde esnekliklerin dikkate alınmasını sağlamaktadır. Bu durum opsiyon fiyatlandırma teorisinin şirket yönetimleri tarafından daha fazla dikkate alınmasına yol açmaktadır. Bu şekilde opsiyon fiyatlandırma teorisi ile ekonomik olmayan kaynaklar yapılabılır olarak sınıflandırılıp değerlendirilebilmektedir.

5. FARKLI TÜKENEBİLİRLİK YAKLAŞIMLARI

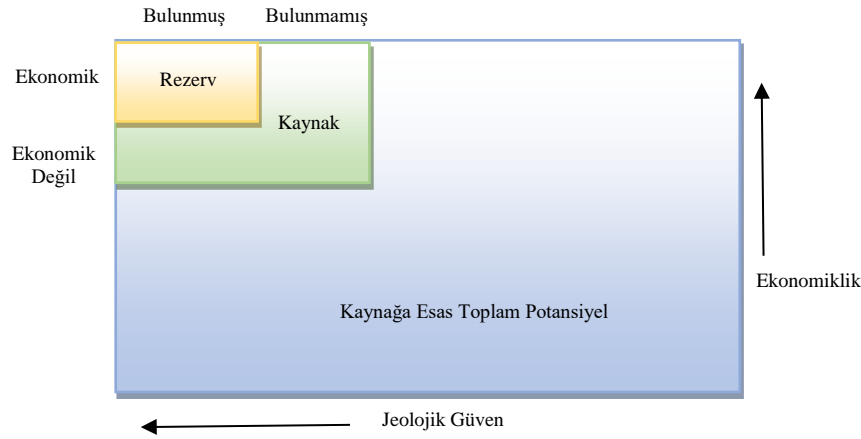
Enerji kaynaklarının tükenebilirliği konusunda yapılan çalışmaları, iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar fiziksel ve ekonomik açıdan tükenebilirlik yaklaşımlarıdır (Tilton, 2002).

Fiziksel açıdan tükenebilirlik yaklaşımı, konuya jeolojik açıdan olmak üzere, ilgili doğal kaynağın rezervinin bilinen miktarı ile günümüzdeki tüketim miktarı açısından yaklaşmaktadır. Ekonomik açıdan tükenebilirlik yaklaşımı ise konuyu marjinal maliyet ve piyasa fiyatı gibi ekonomi kavramları ile açıklamaya çalışmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, Hubbert Eğrisi teorisi fiziksel açıdan, Hotelling Kuralı ise ekonomik açıdan tükenebilirlik yaklaşımları kapsamında ele alınabilir.

5.1. Fiziksel Açıdan Tükenebilirlik Yaklaşımı

Fiziksel açıdan tükenebilirlik yaklaşımının hareket noktası, dünyanın belirli bir boyuta sahip ve herhangi bir enerji kaynağının miktarının fiziksel olarak sınırlı olduğu gerçeğidir. Bu yaklaşım çerçevesinde, herhangi bir enerji kaynağının mümkün olan toplam arz miktarı da sabittir. Diğer taraftan, belirli bir enerji kaynağına olan talep miktarı değişken olup talebin artmasından dolayı sabit miktardaki enerji kaynağının tükenmesi kaçınılmaz olacaktır. Ancak fosil enerji kaynaklarının rezervlerinin kesin olarak ölçülemeyeceği belirtilmektedir (Mitchell, 2004). Bunun yanında, bir enerji kaynağının ömrünü tahmin etmek için o enerji kaynağının mevcut stok miktarının bilinmesi ve o kaynaktan gelecekte yapılacak üretim miktarının tahmin edilmesi gerekmektedir.

Bu görüşün, bazı noktaları açıklamakta yetersiz kaldığı bilinmektedir. Tilton bu görüşün hesaplamalarda kullandığı rezerv ve mevcut stok miktarı ölçümünün yetersiz olduğunu savunmaktadır (Tilton, 2002). Tilton, rezervin mevcut teknoloji ve piyasa fiyatı ile çıkarılabilecek ve bilinen enerji kaynaklarının miktarına karşılık geldiğini belirtmekte ve dolayısıyla rezervin sadece kaynağa esas toplam potansiyelin çok küçük bir alt kümesine karşılık geldiğini vurgulamaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Rezerv ve Kaynak Arasındaki İlişki (Kaynak: Tilton, 2002)

Nitekim fosil enerji kaynağı, tanım olarak, mevcut teknolojik olanaklar ve ekonomik şartlar dikkate alındığında yer kabuğundan çıkarılabilir veya çıkarılmayacak tüm hidrokarbonların miktarı olarak tanımlanabilir (Babusiaux ve Bauquis, 2007). Bu açıdan bakıldığında kaynak sabit ve statik olup, rezerv ise teknolojik ve ekonomik durum ve gelişmelere bağlı olarak değişkenlik arzeden dinamik bir boyuta sahiptir.

Şekil 2’de gösterilen kaynak; bilinen rezerv miktarı, bugün için ekonomik olmayan ve gelecekte ekonomik olması mümkün olan yatakların miktarı ile gelecekte bulunacak rezervlerin miktarının toplamına karşılık gelmektedir. Bir enerji kaynağının rezervi, kaynağın türüne bağlı olarak değişiklik gösterir. Rezerv, eldeki mevcut teknoloji ve piyasa fiyatı ile ekonomik olarak üretilmesi mümkün olan ve bilinen bir enerji kaynağının miktarı olarak tanımlanabilir.

Farklı ülkeler rezervi farklı şekillerde hesaplamakta olup genel olarak 3 grup rezerv tanımı yapılmaktadır. Bunlar sırasıyla ispatlanmış rezerv, mümkün rezerv ve muhtemel rezerv olarak sınıflandırılabilir. İspatlanmış rezerv, %95 olasılık sınırları içerisinde güvenilir olduğu düşünülen resmi rezerv miktarıdır. Mümkün rezerv, yaklaşık %50 olasılık ile yer kabuğundan çıkarılabilecek rezervi, muhtemel rezerv ise araştırma devam ettiği takdirde %5 olasılık ile çıkarılabilecek rezervi ifade etmektedir.

Tilton; bugün için varlığı tespit edilmemiş enerji kaynaklarının da olabileceğini belirterek bunun potansiyel bir rezerv olduğunu belirtmiştir (Tilton, 2002). Bunun yanında, varlığı bilinen, fakat düşük kaliteli ve ıssız bölgelerde bulunması nedeniyle mevcut teknoloji ve piyasa fiyatıyla ekonomik olarak üretilmesi mümkün olmayan rezervler de vardır. Bu durum, Tilton’un görüşlerini desteklemektedir.

Enerjinin kaynağa esas toplam potansiyeli, o kaynağın yer kabuğunda bulunan toplam miktarını içerir ve yeni enerji hammaddelerinin bulunması, teknolojik gelişme ve fiyatlardaki değişimlerden etkilenmez ve sabittir. Rezerv yerine kaynak bazı hesaplamalarda kullanılırsa, enerji hammaddelerinin fiziksel tükenebilirliği önemsiz bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

Herhangi bir enerji kaynağı için kaynağa esas toplam potansiyel sabit olduğu halde, o kaynağın rezervi değişken bir özelliğe sahiptir. Tilton, rezerv veya rezervin bir başka değerle çarpımıyla oluşan miktarın zayıf ve kaynak bazının daha iyi bir ölçüm olduğunu belirtmiştir (Tilton, 2002).

Ancak bu görüşe göre, kaynağa esas toplam potansiyel dikkate alındığında enerji hammaddelerinin ömürleri milyon veya milyar yıl mertebesinde olsa bile, enerji hammaddelerinin tükenebilirliği konusuna bu şekilde bakmak ciddi sorunları da beraberinde getirmektedir. Örneğin; tüm enerji hammaddeleri için söz konusu olmamasına rağmen, radyoaktivite olayı zamanla hammadde miktarında azalmaya neden olmaktadır. Buna örnek olarak uranyumun füzyonu verilebilir.

Herhangi bir hammaddenin kaynağa esas toplam potansiyelin tamamının doğadan kazanılıp tüketilmesi teknik olarak mümkün değildir. Bu konuda teknoloji geliştirilse bile, enerji kaynağının geride kalan son kısımlarının ekonomik olarak kazanılması mümkün olmayacaktır. Bu durum, söz konusu enerji hammaddesinin kaynağa esas toplam potansiyelin kalan kısmının kullanılmasına engel teşkil edecektir. Bu nedenle, herhangi bir enerji hammaddesinin kaynağa esas toplam potansiyelin tamamının kullanılmayacağı sonucuna ulaşılabilir.

Herhangi bir hammaddenin kaynağa esas toplam potansiyelin ne kadarının tüketileceğini ve o hammaddenin yıllık tüketim miktarını tam anlamıyla belirlemek mümkün olmayacağından, bu görüşe göre elde edilen ömür değerleri, enerji kaynaklarının tükenebilirliğini tam olarak açıklamakta yetersiz kalmaktadır.

2016 yılı sonu itibarıyla ülke bazında dünya petrol, doğal gaz ve kömür rezervlerinin miktarı, bu rezervlerin ülke bazında dağılımı ve üretim miktarına bağlı olarak rezerv/üretim oranına ilişkin bilgiler Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 2: 2016 Yılı Sonu İtibarıyla Ülke Bazında Petrol Rezervleri Ve Rezerv/Üretim Oranları

Ülkeler	Rezerv (Milyar varil)	Rezerv (%)	Rezerv / Üretim oranı (Yıl)
Suudi Arabistan	266,5	15,6	59
İran	158,4	9,3	94,1
İrak	153	9,0	93,6
Kuveyt	101,5	5,9	88
Birleşik Arap Emirlikleri	97,8	5,7	65,6
Venezüella	300,9	17,6	341,1
Rusya Federasyonu	109,5	6,4	26,6
Kazakistan	30	1,8	49
Libya	48,4	2,8	310,1
Amerika Birleşik Devletleri	48	2,8	10,6
Azerbaycan	7,0	1,0	23,1
Dünya Toplamı	1.706,7	100	50,6

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, 2017.

Tablo 3: 2016 Yılı Sonu İtibarıyla Ülke Bazında Doğal Gaz Rezervleri Ve Rezerv/Üretim Oranları

Ülkeler	Rezerv (Trilyon m ³)	Rezerv (%)	Rezerv / Üretim oranı (Yıl)
Rusya Federasyonu	32,3	17,3	55,7
İran	33,5	18	165,5
Katar	24,3	13	134,1
Suudi Arabistan	8,4	4,5	77
Amerika Birleşik Devletleri	8,7	4,7	11,6
Nijerya	5,3	2,8	117,7
Cezayir	4,5	2,4	49,3
Mısır	1,8	1,0	44,1
Dünya Toplamı	186,6	100	52,5

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, 2017.

Tablo 4: Yıllar İtibarıyla Petrol İçin Rezerv/Üretim Oranları

	Yıllar							
	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2016
Rezerv/üretim oranı (Yıl)	29	37	43	42	40	41	40,5	50,6

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, 2017.

Tablo 5: Doğal Gaz İçin Yıllar İtibarıyla Rezerv/Üretim Oranları

	Yıllar							
	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2016
Rezerv/üretim oranı (Yıl)	58	58	64	67	62	65	63,3	52,5

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, 2017

Tablo 6: 2016 Yılı Sonu İtibarıyla Ülke Bazında Kömür Rezervleri Ve Rezerv/Üretim Oranları

Ülkeler	Rezerv (Milyar ton)	Rezerv (%)	Rezerv/Üretim oranı (Yıl)
Amerika Birleşik Devletleri	251,6	22,1	381
Rusya Federasyonu	160,4	14,1	417
Çin	244	21,4	72
Hindistan	94,8	8,3	137
Avustralya	144,8	12,7	294
Ukrayna	34,4	3,0	> 500
Kazakistan	25,6	2,2	250
Brezilya	6,6	0,6	> 500
Almanya	36,2	3,2	206
Dünya Toplamı	1139,3	100	153

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, 2017.

Bu tablolardan da görüleceği üzere; rezervlerin ömrüne ilişkin bilgiler fiziksel açıdan tükenbilirlik yaklaşımı çerçevesinde hesaplanmıştır. Dünya petrol kaynaklarının bugün bilinen rezerv miktarı ve tüketim hızı dikkate alındığında, yaklaşık 50 yıllık ömrü kaldığı, aynı değerlerin doğal gaz ve kömür için sırasıyla yaklaşık olarak 52 ve 153 yıl olduğu görülmektedir. Babusiaux ve Bauquis (2007) tarafından yapılan çalışmada, mevcut üretim düzeyinde petrolün 40 yıl, doğal gazın 60 yıldan fazla ve kömür rezervlerinin 200 yıl yetebileceği belirtilmiştir. Diğer taraftan, petrol ve doğal gaza nazaran, kömür rezervlerinin daha yaygın olarak dağıldığı, rezervlerin belli bir bölgede toplanmadığı görülmektedir.

Bunun yanında, bazı kaynakların rezervleri artarken, tenörlerinin de azaldığı dikkate alınmalıdır. Teknolojik kısıtlardan dolayı hiçbir kaynak sonsuz küçük tenörlerle işletilemeyeceğine göre, çıkarılabilecek kaynağın büyüklüğünün de sınırsız olmadığı sonucuna varılabilir. Bu nedenle, kaynak arama çalışmaları ne kadar arttırılırsa arttırılsın, o ölçüde fazla rezerv bulunabileceği düşünülmemelidir.

5.2. Ekonomik Açından Tükenbilirlik Yaklaşımı

Ekonomik açıdan tükenbilirlik yaklaşımında tükenbilirlik olgusu, piyasa fiyatı ve marjinal maliyet gibi ekonomi kavramları ile açıklanabilir. Herhangi bir enerji kaynağından yapılan üretimin sürekliliğini belirleyen önemli etkenlerden biri, üretim faaliyetinin ekonomik olmasıdır. Piyasa fiyatının oldukça üzerinde yüksek maliyette üretim yapan bir üreticinin ürününü satması mümkün olmayacağından, söz konusu enerji kaynağının kaynak bazında miktarı çok fazla olsa bile, ekonomik anlamda değeri olmayacaktır. Dolayısıyla, söz konusu enerji kaynağının ekonomik anlamda tükendiğinden, başka bir deyişle, üretiminin ekonomik olmadığından bahsedilir. Ancak teknolojik gelişmeyle birlikte, bu kaynağın daha ucuz olarak üretilmesinin mümkün olması halinde ömrü uzayacaktır. Herhangi bir kaynaktan üretim yapmanın maliyeti, o kaynağın piyasa fiyatından daha hızlı artıyorsa, o kaynağın ekonomik ömrü jeolojik ömründen az olacaktır.

Enerji kaynağının ekonomik ömrü; teknoloji, fiyattaki dalgalanma ve alternatif yatırım fırsatlarına bağlıdır. Enerji kaynağının fiyatının artması halinde, üreticilerin ya daha verimli üretim yapmayı tercih ettikleri ya da yeni yataklar bulmaya yöneldikleri bilinmektedir. İşletme koşullarındaki grev, lokavt ve piyasadaki dalgalanma gibi gelişmeler tükenbilirliği etkiler, bu durumda kaynağın fiyatı artabilir, aynı kalabilir veya azalabilir. Üretim maliyeti ve teknolojik gelişmeler enerji kaynağının

ömrünü, dolayısıyla tükenebilirliğini belirlemektedir. Teknolojik gelişmeler, düşük nitelikli kaynakların üretimini mümkün kılacağından en sonunda mutlak bir tükenebilirlik gerçeği ortaya çıkacaktır. Rezervlerin azalması ile enerji kaynaklarının fiyatı artacak, belki de rezervin tamamı çıkarılmadan rezerv tükenebilecektir.

Yüksek kaliteli enerji kaynaklarının tükenmesiyle birlikte, düşük kalitede ve altyapısı yetersiz bölgelerde üretim yapılması zorunlu hale gelmektedir. Örneğin; belirli miktar kömür üretmek için daha fazla miktarda örtü malzemesinin kazılması, işlenmesi ve zenginleştirilmesi gerekmektedir. Bu da daha fazla işçilik, enerji ve malzeme kullanımını gerektirmektedir. Dolayısıyla, düşük kalitede enerji kaynakları maliyetlerin artmasına neden olmaktadır.

Diğer taraftan, teknolojik gelişmeler bu yüksek maliyetleri aşağı doğru çekmektedir. Özellikle; kömür üretiminde büyük kapasiteli ekskavatör, kamyon ve diğer ekipmanların enerji kaynaklarının üretiminde kullanımı düşük kaliteli kaynakların ekonomik olarak işletilmesini olanaklı kılmıştır.

Arama faaliyetleri sonucu yeni rezervlerin bulunması, yeni teknolojiler ile ekonomik olmayan kaynakların karlı bir şekilde işletilebilir hale gelmesi ile rezerv artabilir ya da fiyatların artması ve işçilik maliyetlerinin azalması ile ekonomik olmayan kaynaklar ekonomik hale gelebilir. Fiziksel olarak bir kaynak tükenmeden piyasa fiyatı ve üretim maliyeti tükenebilirlik konusunda sinyal verebilir ve bunun sonucunda o enerji kaynağına yönelik talep azalabilir.

Diğer taraftan, Tilton (2002), 1990'lardan sonra kaynakların tükenebilirliğine ilişkin tartışmaların farklı bir eksene kaydığını, kaynakların çıkarılması, işlenmesi ve kullanımı sırasında ortaya çıkan çevresel ve toplumsal bedellerin doğal kaynağa dayalı sektörün büyümesini sınırladığını belirtmiştir. Yeni teknolojiler sayesinde düşük tenörlü kaynakların fiyatlarda artışa yol açmadan çıkarılması sağlansa dahi topluma yansıtılan çevresel zararlar ile üretici ve tüketicinin yüklenmediği diğer toplumsal maliyetler doğal kaynakların kullanımını sınırlamaya başlamıştır. Tilton (2002)'a göre üretici firmanın faaliyeti çerçevesinde üstlendiği işçilik, sermaye ve hammadde maliyetleri içsel maliyetlerdir (Tilton, 2002). Buna karşın, toplumsal maliyetler dışsal maliyet olup bu maliyetleri doğal kaynağa dayalı şirketler ya da tüketiciler ödemektedirler.

Tilton (2002), bu olumsuz durumun devletler tarafından düzenlenebileceğini vurgulamıştır. Bu konuda uygulanabilecek araçlardan biri, Pigou'nun önerdiği Pigovyan vergisidir (Tilton, 2002). Uygun miktarda verginin uygulanması ile ilgili şirketin üretimini kendiliğinden sınırlayacağı beklenmektedir. Ancak bu konuda uygulanacak vergi oranı kritik hale gelmektedir. Uygulanacak vergi oranı ne çok yüksek ne de çok az olmalıdır. Aksi takdirde istenen sonuca ulaşılması mümkün olmayabilir.

Günümüzde petrol ve doğal gaz şirketleri, varlıklarını devam ettirebilmek için mevcut enerji kaynaklarındaki rezervleri artırma, yeni rezerv bulma arayışında yarış içerisindedirler. Şirketler yeni rezervler için rekabet etmek durumundadırlar. Bu itibarla; tükenebilirlik konusuna ekonomik açıdan yaklaşım, dinamik ve serbest piyasa uygulaması ile çelişmeyen bir yaklaşım olmaktadır.

Özetlemek gerekirse, bu bakış açısına göre fosil enerji kaynaklarının yeterliliği teknoloji ve yatırımların bir fonksiyonudur. Uygarlık, bedeline katlandığı sürece yer kabuğunda petrol üretmek için yeterli kaynak mevcuttur. Bedeli ödendiği sürece biyokütle, bitümlü şeyl, petrol şeylleri gibi kaynaklardan petrol ürünleri üretilebilir, ancak bu faaliyetler sonucu oluşan emisyonun atmosferin emisyon taşıma kapasitesini aşıp aşmayacağı dikkate alınması gereken bir konu olmaktadır. Atmosferin emisyon taşıma kapasitesinin, kaynak kullanımını belirleyici olacağı düşünülmektedir.

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Günümüzde yoğun olarak kullanılan enerji kaynakları, sınırlı rezerve sahip olup ekonomik hayatın vazgeçilmez girdisi haline gelmiştir. Ancak uygarlığın ve yaşamın, bugünkü üretim ve tüketim kalıplarıyla sürdürülüp sürdürülemediği çok sık tartışılmaktadır. Bu kapsamda sınırlı kaynakların tükenmesinin, ekonomik yaşamı nasıl etkileyeceği tartışılan konuların başında gelmektedir.

Enerji kaynaklarının gelecekte tükeneceği yönünde her zaman öngörüle bulunmuş ve bulunmaktadır. Önümüzdeki yıllarda herhangi bir enerji kaynağının tüketim miktarı, rezervi ve ikincil üretim olanaklarının, o kaynağın tükenebilirliğini belirleyen temel unsurlar olacağı anlaşılmaktadır. Ancak uzun dönemde teknolojik gelişmelerin, enerji kaynaklarının tüketim hızını ve ömrünü belirleyecek temel faktör olduğu görülmektedir.

Metalik madenlerde olduğu gibi yeniden kazanım, enerji kaynakları için geçerli değildir. Enerji kaynakları için ikame kaynaklar daha önemli rol oynamaktadır. İkame ürünlerin nihai kullanım alanlarında enerji kaynaklarının tükenebilirliğini belirleyeceği öngörülmektedir. Petrolün her ne kadar ulaşım sektöründe bugün için ikamesi olmasa bile ikame yakıt bulunmasına yönelik araştırmaların olduğu ve gün geçtikçe bu konudaki çalışmaların arttığı görülmektedir.

Dünyada yeryüzüne yakın, kolay çıkarılabilir kaynaklar kullanılmış, bundan sonra çıkarılabilir nitelikteki kaynakların ise, denizde ve küçük sahalar şeklinde olduğu bilinmektedir. Ancak bu sahaların kalitesi düşük olup bu kaynaklardan üretim maliyetinin yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Bunun yanında, bu kaynakların çıkarılması zor olup karşılaşılan zorluklar üretimde tedrici azalmaya yol açabilecektir.

Yakın gelecekte doğal enerji kaynaklarının tükenmesi olgusu ile karşılaşılması beklenmemekte, ancak gelecekte bir gün kaynakların tükenmesi olgusu ile yüzleşileceği öngörülmektedir. Enerji kaynaklarının tüketimindeki artış, artan kullanım yoğunluğu, yeni kullanım alanlarının geliştirilmesi ve bilinen kaynakların yavaş yavaş tükenmesi sonucunda kaynak yetersizliği ve kıtlığı ile karşılaşılacağı değerlendirilmektedir. Bunun yanında yeni kaynak ve rezervlerin keşfedilmesi ve ekonomik olmayan kaynakların ekonomiye kazandırılması için yenilikçi gelişmelerin, bugün için kaynak tükenmesinden daha öncelikli olduğu ve olması gerektiği düşünülmektedir.

Kaynakların tükenmesi olgusu kaçınılmaz bir sonuç olup, gelecek neslin bu sonuçtan en az etkilenmesi ve kalkınmada sürdürülebilirliğin devamı açısından teknolojik çalışmalara ihtiyaç olduğu yadsınamaz. Ayrıca tükenen kaynakların yerine kullanılabilir ikame kaynakların bulunması ve kullanılması gerekmektedir. Bu çerçevede enerji kaynaklarının tükenmesi sorununa çözüm olarak; doğal kaynağın çıkarılmasından enerji çevriminde tüketime kadar olan zincirin her aşamasında verimlilik sağlanması, planlama ve benzeri araçların kullanılabilirliği düşünülmektedir. Diğer taraftan, enerji tasarrufu, yakıt verimliliği ve alternatif kaynaklar konusunda yapılacak çalışmaların da bu konuda olumlu etkide bulunacağı düşünülmektedir. Bu konularda sağlanacak başarılar çerçevesinde, fosil yakıt tüketiminde azalma ve enerjide yeni kaynak arayışında zaman kazanılabileceği değerlendirilmektedir.

Kaynakların tükenebilirliği konusunda yapılan tartışmaların odak noktasını, tükenebilirliğin fiziksel ya da ekonomik boyutunun olup olmadığı konusu oluşturmaktadır. Her iki yaklaşımın tek başına kaynakların tükenebilirliğini açıklamakta yeterli olmayacağı değerlendirilmektedir. Serbest piyasa dayalı bakış açısının, genelde enerjinin, özelde ise fosil kaynakların fiziksel yapısını, özellikle petrol ve doğal gaz kaynaklarının mevcut durumunu dikkate almakta başarısız oldukları anlaşılmaktadır.

KAYNAKÇA

- Adelman, M. A. (1997). My Education in Mineral (Especially Oil) Economics, *Annual Review of Energy and Environment*, 22(16).
- Adelman, M. A. (2004). *The Real Oil Problem*, Regulation, Spring: 17.
- Appenzeller, T. (2004). End of Cheap Oil, *National Geographic Magazine*, June, <http://ngm.nationalgeographic.com/ngm/0406/feature5/fulltext.html>, Erişim Tarihi: 21 Ekim 2017.
- Babusiaux, D. & Bauquis, P.R. (2007). Depletion of Petroleum Reserves and Oil Price Trends, Institut Français Du Petrole (IFP), French Academy of Technology Energy and Climate Change Commission Report of the Petroleum Working Group, November, 3: 8.
- Bhattacharyya, S.C. (2011). *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*, Springer-Verlag London Limited, London: 427.
- Black, F. & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities, *The Journal of Political Economy*, 81: 637-654.
- Blais, V., Poulin, R., Samis, M. R. (2005). Using Real Options to Incorporate Price Risk into the Valuation of a Multi-Mineral Mine, (Ed. R Dimitrakopoulos), *Orebody Modelling and Strategic Mine Planning*, ss. 9-16, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- BP Statistical Review of World Energy, (2017). London, www.bp.com, Erişim Tarihi: 20 Ekim 2017.
- Bradley, R. L. (2004). Are We Running Out of Oil? PERC Reports, September: 3-6.
- Bradley, R. L. & Fulmer R. W. (2004). Will We Run out of Energy? *Energy: The Master Resource*, Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa, USA: 80-107.
- Brown, S. & Walk, D. (2000). Natural Resources Scarcity and Technological Change, *Federal Reserve Bank of Dallas, Economic and Financial Review*, 1st Quarter, 9.
- Campbell, C. & Laherrere, J. H. (1998). The End of Cheap Oil, *Scientific American*, March, <http://www.gulland.ca/depletion/endofcheapoil.htm>, Erişim Tarihi: 15 Ekim 2017.
- Cavender, B. (1992). Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project Using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques, *Mining Engineering*, October: 1262-1268.
- Cook, E. (1976). *Man, Energy, Society*, W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Deffeyes, K.S. (2008). Beyond Oil, The View From Hubbert's Peak, <http://www.princeton.edu/hubbert/current-events-06-02.html>, Erişim Tarihi: 8 Kasım 2017.
- Dessureault, S., Kazakids, V. N., Mayer, Z. (2007). Flexibility Valuation in Operating Mine Decisions Using Real Options Pricing, *International Journal of Risk Assessment and Management*, 7: 656-674.
- Devarajan, S., Fisher, A. C., (1981). Hotelling's "Economics of Exhaustible Resources": Fifty Years Later. *Journal of Economic Literature*, March, XIX: 65-73.
- Dogbe, G., Frimpong, S., Szymanski, J. (2007). Mineral Reserve Risk in Continuous-Time Stochastic Mine Valuation, *International Journal of Risk Assessment and Management*, 7: 675-694.
- Ediger, V. Ş. (2005). Enerji Ekonomi-Politiği Perspektifinden Osmanlı'da Neft ve Petrol, *ODTÜ Yayıncılık*, Aralık: 221-222.
- Ediger, V.Ş. (2007). Yeni Yüzyılın Enerji Güvenliğinde Karşılıklı Bağımlılık Bir Zaruret, *Doğal Gaz Dergisi*, Sayı 12: 30.

- Guj, P. & Garzon, R. (2007). Modern Asset Pricing – A Valuable Real Option Complement to Discounted Cash Flow Modelling of Mining Projects, Proceedings Project Evaluation, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne: 113-119.
- Hall, J. & Nicholls, S. (2007). Valuation of Mining Projects Using Option Pricing Techniques, JASSA, 4: 22-29.
- Hotelling, H. (1931). The Economics of Exhaustible Resources, The Journal of Political Economy, 39(2): 137-175.
- Jovanovic, B. (2007). Bubbles in prices of exhaustible resources, NBER Working Paper Series, Working Paper 13320, August, New York, <http://www.nber.org/papers/w13320>, Erişim Tarihi: 26 Eylül 2011.
- Kulatilaka, N. & Marcus, A. J. (1992). Project Valuation Under Uncertainty: When does DCF fail? Journal of Applied Corporate Finance, 5: 92-100.
- Kulatilaka, N. & Trigeorgis, L. (1994). The General Flexibility to Switch: Real Option Revisited, The International Journal of Finance, 6: 778-798.
- Laughton, D. G. & Jacoby, H. D. (1993). Reversion, Timing Options, and Long-Term Decision-Making, Financial Management, 22: 225-240.
- Mauer, D. C. & Ott, S. H. (1995). Investment Under Uncertainty: the Case of Replacement Investment Decisions, The Journal of Financial and Quantitative Analysis, 30: 581-605.
- McDonald, R. & Siegel, D. R. (1985). Investment and the Valuation of Firms When There is an Option to Shut Down, International Economic Review, 26: 331-349.
- Merton, R. C. (1973). Theory of Rational Option Pricing, The Bell Journal of Economics and Management Science, 4: 141-183.
- Mitchell, J. (2004). Petroleum Reserves in Question, Briefing Paper, Sustainable Development Programme, SDP BP 04/03, Oxford Institute for Energy Studies, October: 2.
- Moel, A. & Tufano, P. (2002). When are Real Options Exercised? An Empirical Study of Mine Closings, The Review of Financial Studies, 15: 35-64.
- Moore, S. (1998). Julian Simon Remembered: It's A Wonderful Life, Cato Policy Report, March/April: 10-13, <https://object.cato.org/sites/cato.org/files/serials/files/policy-report/1998/3/cpr-20n2-1.pdf>, Erişim Tarihi: 30 Ekim 2017.
- Trigeorgis, L. (1996). Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation, The MIT Press: Cambridge.
- Trigeorgis, L. & Mason, J. E. (1987). Valuing Managerial Flexibility, Midland Corporate Finance Journal, 5: 14-21.
- Paddock, J. L., Siegel, D. R., Smith, J. L. (1988). Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases, The Quarterly Journal of Economics, 103: 479-508.
- Palm, S. K., Pearson, N. D. (1986). Option Pricing: A New Approach to Mine Valuation, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Bulletin, May: 61-79.
- Pickles, E. & Smith, J. L. (1993). Petroleum Property Valuation: A Binomial Lattice Implementation of Option Pricing Theory, The Energy Journal, 14: 1-26.
- Samis, M. R., Davis, G. A., Laughton, D. G., Poulin, R. (2006). Valuing Uncertain Asset Cash Flows When There are No Options: A Real Options Approach, Resources Policy, 30: 285-298.

- Shafiee, S. & Topal, E. (2008). Applied Real Option Valuation (ROV) in a Conceptual Mining Project, Proceedings Australian Mining Technology Conference, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne: 173-187.
- Shafiee, S., Topal, E. and Nehring, M. (2009). Adjusted Real Option Valuation to Maximise Mining Project Value – A Case Study Using Century Mine, Project Evaluation Conference, Melbourne, Victoria, Australia, 21-22 April: 125-134.
- Simon, J. (1999). Drowning in Oil, the Economist, 6-12 Mart: 23-25.
- Snow, J. E. (2000). Economic Theory of Exhaustible Natural Resources: Surprises for the Geologist, Inaugural Lecture for the Habilitation Degree, University of Mainz, Germany, June 21, <http://www.mpch-mainz.mpg.de/~jesnow/MineralEcon/habil/index.html>, Erişim Tarihi: 24 Haziran 2015.
- Tilton, J. E. (2002). Depletion and The Long-Run Availability of Mineral Commodities, Workshop on the Long-Run Availability of Mineral Commodities, The Mining, Minerals and Sustainable Development and Resources for the Future in Washington DC, April 22-23: II-4-5, III-1, III-7, III-20.
- Torries, T. F. (1998). Evaluating Mineral Projects: Applications and Misconceptions, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., USA: 117-122.
- Zimmermann, E. (1951). World Resources and Industries, New York: Harper & Brothers: 10.