

Turkish Studies

Economics, Finance, Politics

Volume 14 Issue 3, 2019, p. 831-842
DOI: 10.29228/TurkishStudies.23277
ISSN: 2667-5625
Skopje/MACEDONIA-Ankara/TURKEY



INTERNATIONAL
BALKAN
UNIVERSITY

EXCELLENCE FOR THE FUTURE
IBU.EDU.MK

Research Article / Araştırma Makalesi

Article Info/Makale Bilgisi

✍ Received/Geliş: 01.07.2019

✓ Accepted/Kabul: 10.09.2019

✍ Report Dates/Rapor Tarihleri: Referee 1 (23.07.2019) - Referee 2 (24.07.2019)

This article was checked by iThenticate.

DÜNYA GENELİNDE JEOTERMAL ENERJİDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ İÇİN YATIRIM VE ÜRETİM MALİYETLERİNİN DEĞERLENDİRİMESİ

Cahit GÜNGÖR*

ÖZ

Bütün dünyada yenilenebilir enerji yatırımları konusunda önemli bir geçiş süreci yaşanmaktadır. Yenilenebilir enerji, azalan maliyetler ve iklim değişikliğiyle mücadeleyi desteklemelerinden dolayı giderek daha önemli duruma gelmektedir. Dünyada bütün ülkelerde enerji fiyatları, teknoloji ve inovasyonlardan etkilenmektedir. Dünya enerji sektöründe önemli bir değişim gerçekleşmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetinin azalması, enerji üretimindeki küresel yatırım üzerinde çok büyük bir etki meydana getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin ortalama maliyeti, sübvansiyon uygulanmamış seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE) olarak belirlenir. Günümüz koşullarında LCOE çok rekabetçidir ve devreye alınan yeni projeler için rekabetçi seviyelere düşmeye devam etmektedir. Jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik teknolojilerinin maliyetleri kısmen kararlıdır. Bu çalışmada, dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretimi için yatırım ve üretim maliyetleri değerlendirilmiştir. Dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretimi için toplam yatırım maliyetleri 3055–5209 \$_{US}/kW aralığında değişmektedir. Dünyada ortalama yatırım maliyetinin en düşük (3055 \$_{US}/kW) olduğu bölge Asya kıtası, en yüksek olduğu (5209 \$_{US}/kW) bölge ise Avrupa kıtasıdır Dünya genelinde birim kurulu güç başına ortalama yatırım maliyeti; jeotermal enerjiden elektrik üretiminde 3991,4 \$_{US}/kW düzeyindedir. Dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretim maliyetleri 0,05–0,10 \$_{US}/kWh aralığında değişmektedir. Dünyada ortalama enerji maliyetinin en düşük (0,05 \$_{US}/kWh) olduğu bölge Güney Amerika bölgesi, en yüksek olduğu (0,10 \$_{US}/kWh) bölge ise Avrupa ve Orta



* Dr. Öğr. Üyesi, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, E-posta: chtngr@gmail.com

Amerika kıtasıdır. Dünya genelinde jeotermal enerjiden ortalama elektrik üretim maliyeti 0,074 \$_{US}/kWh düzeyindedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, Elektrik üretimi, Yatırım maliyeti, Üretim maliyeti

THE EVALUATION OF INVESTMENT AND GENERATION COSTS FOR ELECTRICITY GENERATION FROM GEOTHERMAL ENERGY IN THE WORLD

ABSTRACT

There is a significant transition process in renewable energy investments all over the world. Renewable energy is becoming increasingly important as it supports declining costs and fighting climate change. Energy prices in all countries of the world are affected by technology and innovations. A significant change is taking place in the world energy sector. The reduction in the cost of renewable energy sources has had a huge impact on the global investment in energy production. The average cost of electricity generated from renewable energy sources is determined as the non-subsidized leveled electricity cost (LCOE). In today's conditions, LCOE is very competitive and continues to fall to competitive levels for new projects. The costs of geothermal, biomass and hydroelectric technologies are partially stable. In this study, investment and production costs for electricity generation from geothermal energy are evaluated worldwide. Total investment costs for electricity generation from geothermal energy worldwide vary between 3055–5209 US\$/kW. The region with the lowest average investment cost (3055 US\$/kW) in the world is the Asian continent, the region with the highest (5209 US\$/kW) is the European continent. Average investment cost per unit installed power per unit; for electricity production from geothermal energy at 3991.4 US\$/kW. The cost of generating electricity from geothermal energy in the world is in the range of 0.05–0.10 US\$/kWh. The region with the lowest average energy cost in the world (0.05 US\$/kWh) is the South American region, and the highest (0.10 US\$/kWh) region is the European and Central American continent. The average electricity production cost from geothermal energy is around 0.074 US\$/kWh.

STRUCTURED ABSTRACT

Energy prices in all countries of the world are affected by technology and innovations. A significant change is taking place in the world energy sector. The reduction in the cost of renewable energy sources has had a huge impact on the global investment in energy production. Developing economies have become leaders in renewable energy. Since 2015, many of the world's investments in renewable energy have been experienced in developing economies under the leadership of China. Low-income countries in the world have increased renewable energy capacities.

An average of 2 trillion TL is invested annually in the world. 70% of this investment is made directly or indirectly by governments and the

public, while 30% is investments in response to prices. In other words, governments will determine the energy future of the world. Therefore, it is very important for governments to make the right decisions. The research organization Bloomberg New Energy Finance (BNEF, 2019) announced that the world has invested \$ 332.1 billion in clean energy in 2018. According to the calculations of the organization, although this amount was less than 8% of the previous year's figure, the amount of investment for clean energy was over USD 300 billion for five years. Clean energy investments, which were \$ 61.7 billion in 2004, rose to 206.8 billion dollars in 2009, to \$ 321.3 billion in 2014 and to \$ 332.1 billion in 2018. The total amount of investment in electricity generation facilities based on renewable resources was \$ 256.5 billion. Geothermal energy investments increased by 10% and an investment of 1.8 billion dollars were made in this area (BNEF, 2019).

According to the report published by the International Renewable Energy Agency (IRENA, 2018), renewable energy costs are expected to fall below fossil fuels within two years. Thanks to continuous technological developments, there is a rapid decline in the costs of renewable energy production in recent years. This means that renewable energy sources can easily compete with fossil fuels in a short period of time. The production costs of all renewable energy technologies used today are expected to be at or equal to fossil fuels in 2020.

The duration and proven success of renewable energy technologies reduces the perceived project risk, which greatly reduces the cost of capital. Although innovations in these technology groups continue, biomass energy, hydroelectric and geothermal energy are advanced technologies that exhibit highly stable cost profiles. In this study, investment and production costs for electricity generation from geothermal energy are evaluated worldwide.

The average cost of electricity generated from renewable energy sources is determined as the non-subsidized leveled electricity cost (LCOE). In today's conditions, LCOE is very competitive and continues to fall to competitive levels for new projects. The costs of geothermal, biomass and hydroelectric technologies are partially stable.

Biomass, hydroelectric and geothermal energy are advanced technologies that exhibit highly stable cost profiles. Estimated costs of these technologies have largely been among the costs of fossil fuel powered electricity generation. The average cost of electricity generated from renewable energy sources is determined as the non-subsidized leveled electricity cost (LCOE). In today's conditions, LCOE is very competitive and continues to fall to competitive levels for new projects. As a matter of fact, the LCOE value for these technologies is estimated to be below the LCOE range for fossil fuel technologies. The weighted average LCOE for new hydropower plants commissioned in 2017 is around US \$ 50 per MWh. The weighted average LCOE for new biomass and geothermal energy projects is around US \$ 70 per MWh (IRENA, 2018).

Total investment costs for electricity generation from geothermal energy worldwide vary between 3055–5209 US\$/kW. The region with the lowest average investment cost (3055 US\$/kW) in the world is the

Asian continent, the region with the highest (5209 US\$/kW) is the European continent Average investment cost per unit installed power per unit; for electricity production from geothermal energy at 3991.4 US\$/kW. The cost of generating electricity from geothermal energy in the world is in the range of 0.05–0.10 US\$/kWh. The region with the lowest average energy cost in the world (0.05 US\$/kWh) is the South American region, and the highest (0.10 US\$/kWh) region is the European and Central American continent. The average electricity production cost from geothermal energy is around 0.074 US\$/kWh.

There is a significant transition process in renewable energy investments all over the world. Renewable energy is becoming increasingly important as it supports declining costs and fighting climate change. In renewable sources, flexibility should be provided in electrical networks in order to prevent fluctuations caused by weather conditions. The goal of increasing renewable energy investments brings with them a number of challenges. The investment mechanism should create the least tax burden and employment and added value locally. There is a huge drawback in the world of investment in fossil fuels, especially coal. Turkey, has made a good start to switch to clean energy. It should increase its investments in geothermal, solar and wind energy. Determining targets for energy efficiency should also be a priority.

Keywords: Geothermal energy, Electricity generation, Investment cost, Generation cost.

1. Giriş

Dünyada nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır. Günümüz dünyasında enerji üretimi ve tüketimi, modern ekonomilere ve yaşam standartları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Günümüzde sosyal ve ekonomik yaşamın dijitalleşmesi nedeniyle, elektrik talebi giderek artmaktadır. Küresel elektrik üretimi 24 milyar 765 milyon MWh seviyesinden yaklaşık % 60 artışla 2040 yılında 39 milyar 290 milyon MWh düzeyine yükselecektir. Üretimde fosil yakıtların payı % 50'ye gerilerken, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı % 40 düzeyine ulaşacaktır. 2040 yılında OECD dışı ülkelerin etkisi ile küresel enerji talebi % 25 oranında artış gösterecektir. OECD dışı ülkelerde elektrik ihtiyacı yaklaşık 2 katına çıkacaktır (IEA, 2019).

Dünyada bütün ülkelerde enerji fiyatları, teknoloji ve inovasyonlardan etkilenmektedir. Dünya enerji sektöründe önemli bir değişim gerçekleşmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetinin azalması, enerji üretimindeki küresel yatırım üzerinde çok büyük bir etki meydana getirmiştir. Gelişmekte olan ekonomiler yenilenebilir enerji konusunda lider olmuşlardır. 2015 yılından bu yana dünyanın yenilenebilir enerjiye yaptığı yatırımın çoğu, Çin'in öncülüğünde, gelişmekte olan ekonomilerde yaşanmıştır. Dünya genelinde düşük gelirli ülkeler yenilenebilir enerji kapasitelerini önemli oranlarda artırmışlardır.

Dünyada enerji için her yıl ortalama 2 trilyon TL yatırım yapılmaktadır. Bu yatırımın % 70'i hükümetler ve kamu tarafından doğrudan veya dolaylı bir şekilde yapılırken, % 30'u ise fiyatlara tepki olarak yapılan yatırımlardır. Diğer bir deyişle, dünyanın enerji geleceğini hükümetler belirleyecektir. Bu nedenle, hükümetlerin doğru kararlar alması çok önemlidir. Araştırma kuruluşu Bloomberg New Energy Finance (BNEF, 2019), dünyada 2018 yılında temiz enerji alanında 332,1 milyar dolarlık yatırım yapıldığını açıklamıştır. Kuruluşun hesaplamalarına göre, bu miktar bir yıl önceki rakamın % 8 oranında altında olmasına rağmen, temiz enerji için yapılan yatırım tutarı beş yıl boyunca yıllık 300

milyar doların üstünde gerçekleşmiştir. 2004 yılında 61,7 milyar \$ olan temiz enerji yatırımları, 209 yılında 206,8 milyar dolara, 2014 yılında 321,3 milyar dolara ve 2018 yılında 332,1 milyar dolara yükselmiştir. Toplam miktarda, yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üretim tesislerine yapılan yatırım ise 256,5 milyar \$ olmuştur. Jeotermal enerji yatırımlarında ise % 10 oranında artış görülmüş ve bu alana 1,8 milyar dolarlık yatırım yapılmıştır (BNEF, 2019).

Küresel olarak yenilenebilir enerji üretim kapasitesine 2018 ile 2050 yılları arasında 11,5 trilyon dolarlık yatırım yapılacaktır. Bunun 8,4 trilyon dolarlık kısmını rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerine yapılacak yatırımlar oluşturacaktır. 2050 yılına gelindiğinde dünyada tüketilen enerjinin üçte ikisi yenilenebilir kaynaklardan sağlanacaktır. Günümüz dünyasında elektrik üretiminin % 63'ünü sağlayan fosil yakıtların payı 2050 yılına kadar % 29'a gerileyecektir. Küresel elektrik üretiminde kömür kullanımı günümüzdeki % 38 seviyesinden 2050 yılına kadar % 11'e kadar azalacaktır (BNEF, 2018).

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA, 2018) tarafından yayınlanan rapora göre, yenilenebilir enerji maliyetlerinin iki yıl içinde fosil yakıtların altına düşmesi beklenmektedir. Sürekli teknolojik gelişmeler sayesinde, son yıllarda yenilenebilir enerji üretim maliyetlerinde hızlı bir düşüş yaşanmaktadır. Bu durum, kısa süre içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının fiyat bakımından fosil yakıtlarla kolay bir şekilde rekabet edebileceği anlamına gelmektedir. Günümüzde kullanılan bütün yenilenebilir enerji teknolojilerinin üretim maliyetlerinin 2020 yılında fosil yakıtlarla aynı seviyede veya daha düşük olması beklenmektedir.

IEA tarafından yayınlanan ve gelecek 5 yıl içinde yenilenebilir enerji alanında gerçekleşmesi beklenen gelişmelerin analiz edildiği raporda; Türkiye'nin jeotermal ve biyoenerji alanında kapasitesini artırmayı başaracak ülkelerin başında geldiği bildirilmektedir. Gelecek 5 yıl içinde jeotermal enerjide kapasite % 28 veya 4 GW artışla, 17 GW seviyesine ulaşacaktır. Bu artışın % 70'i ise gelişmekte olan ülkelere gelecektir. Buna göre Çin hariç Asya-Pasifik bölgesinde beklenen artış 2 GW ile başta gelmektedir. Türkiye, Kenya ve Filipinler için toplam artış oranı % 30 düzeyinde olacaktır. Türkiye'nin jeotermal kapasitesini 70 MW artıracığı tahmin edilmektedir. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ, 2018) verilerine göre, 30 Eylül 2018 itibarıyla Türkiye'nin jeotermal kurulu gücü, 43 aktif santralle 1199 MW seviyesinde yer almaktadır. Bu kaynaktan üretim, toplam üretimin ise % 1,4'ünü oluşturmaktadır. Türkiye'de en büyük Jeotermal Elektrik Santrali (JES) ise Zorlu Enerji tarafından işletilen 165 MW'lık Kızıldere JES'dir.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanım süresi ve kanıtlanmış başarıları, algılanan proje riskini azaltmakta ve bu durum da sermaye maliyetini büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu teknoloji gruplarındaki yenilikler devam etmesine rağmen, biyokütle enerjisi, hidroelektrik ve jeotermal enerji, oldukça istikrarlı maliyet profilleri sergileyen ileri teknolojilerdir. Enerji üretimi ve tüketimi konusunda yapılmış olan birçok çalışmada, sürdürülebilir enerji kullanımı, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) temel tartışma konuları olmuştur (Akdağ ve İskenderoğlu, 2018; Akpınar ve Başbüyük, 2011; Akzeybek, 2016; Altun, 2018; Çoban ve Ölmez, 2016; Dikmen, 2019; Doğanay, 2015; Elmacı, 2018; Elmastaş, 2015; Erdoğan ve Ganiev, 2016; Koca ve Bulut, 2015; Kurt, 2019; İslamova, 2015; Özalp, 2019; Ulusoy ve Atay, 2018). Bu çalışmada, dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretimi için yatırım ve üretim maliyetleri değerlendirilmiştir.

2. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin ortalama maliyeti, sübvansiyon uygulanmamış seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE) olarak belirlenir. Günümüz koşullarında LCOE çok rekabetçidir ve devreye alınan yeni projeler için rekabetçi seviyelere düşmeye devam etmektedir. Jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik teknolojilerinin maliyetleri kısmen kararlıdır.

Santralin ömrü boyunca ortaya çıkabilecek maliyetlerin (inşaat, finansman, yakıt, bakım verileri, sigortalar ve teşvikler dahil), santralin ömrü boyunca ürettiği elektrik miktarına (kWh) bölünerek hesaplanır.

$$LCOE = \text{Hizmet ömrü maliyetlerinin toplamı} / \text{Hizmet ömründe üretilen toplam elektrik miktarı}$$

İndirgenmiş elektrik maliyeti, bir enerji santralının yatırım, işletme, bakım vb. masrafları dahil edilerek hesaplanan enerji birim maliyetidir. Diğer bir deyişle, maliyeti karşılamak için enerjinin satılması gereken en düşük fiyattır. LCOE aşağıdaki gibi hesaplanabilir (LCOE, 2016):

$$LCOE = \{(\text{Gecelik yatırım maliyeti} \times \text{Sermaye geri kazanım oranı} + \text{Sabit bakım-onarım maliyeti}) / (8760 \times \text{Kapasite faktörü})\} + (\text{Yakıt maliyeti} \times \text{Isı katsayısı}) + \text{Değişken bakım-onarım maliyeti}$$

Gecelik yatırım maliyeti, birim (kW) güç başına yatırım maliyetidir (\$/kW).

Anaparanın geri kazanım oranı (GKO), faiz ve vadeye göre alınan kredi veya yatırımın geri ödeme hesabını yapmaya yarayan orandır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$GKO = \{i(1+i)^n\} / \{(1+i)^n - 1\} \quad i = \text{Faiz} \quad n = \text{Vade}$$

Sabit bakım-onarım maliyeti, çalışanların maaşları, primler, idari harcamalar, planlanmış bakımlar gibi kullanıma göre değişmeyen yıllık işletme ve bakım maliyetleridir (\$/kW-yıl).

Değişken bakım-onarım maliyeti, su, elektrik, malzeme değişimi gibi kullanıma göre değişen maliyetlerdir (\$/kWh).

Kapasite faktörü, belirli bir sürede üretilen toplam enerjinin tam kapasitede üretilebilecek enerjiye oranıdır. Bakım, arıza, güvenlik vb. sebeplerden dolayı gerçek üretim değeri, ideal üretim değerine kıyasla kesintiye uğrar. Bu durum kapasite faktörü ile belirtilir ve değeri 0-1 arasındadır.

Yakıt maliyeti, yenilenebilir enerji santralleri için sıfır (0) alınır.

Isı katsayısı, 1 kWh elektrik üretmek için kullanılan enerji miktarıdır. Yenilenebilir enerji santralleri için sıfır (0) alınır (Btu/kWh).

Yıllık çalışma süresi (8760 saat), bir yılda saat olarak çalışma süresidir.

Biyokütle, hidroelektrik ve jeotermal enerji, oldukça istikrarlı maliyet profilleri sergileyen ileri teknolojilerdir. Bu teknolojilerin tahmini maliyetleri, büyük ölçüde fosil yakıtla çalışan elektrik üretimi maliyetleri arasında yer almıştır. Nitekim, bu teknolojiler için LCOE değerinin, fosil yakıt teknolojilerine ilişkin LCOE aralığının altında olduğu tahmin edilmektedir. 2017 yılında devreye alınan yeni hidroelektrik santralleri için ağırlıklı ortalama LCOE, MWh başına 50 \$_{US} civarındadır. Yeni biyokütle ve jeotermal enerji projeleri için ağırlıklı ortalama LCOE, MWh başına yaklaşık 70 \$_{US} düzeyindedir (IRENA, 2018).

Yenilenebilir enerjiler için LCOE maliyetlerin düşük olmasının başlıca nedenleri, temel rekabet gücünü yansıtan aşağıdaki etmenlerdir:

- Düzenleyici ve kurumsal çerçevenin uygun olması
- Alım ve ülke risklerinin düşük olması
- Tasarım işlemleri için yerel ve güçlü bir yapının olması
- Vergi rejimlerinin uygun olması
- Proje geliştirme maliyetlerinin düşük olması
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun özelliklerde olması

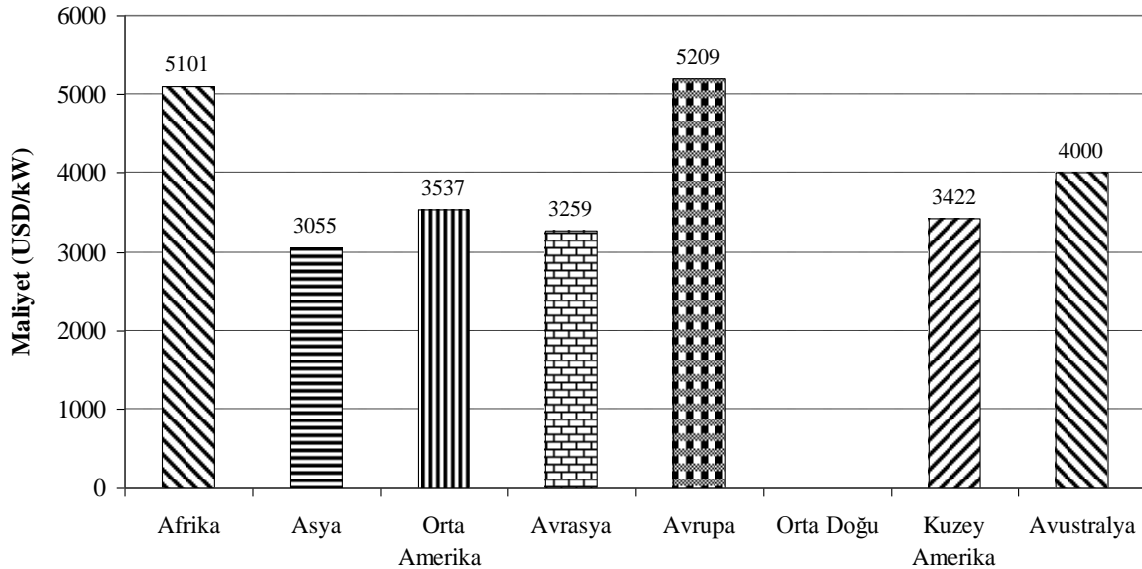
3. Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretiminde Yatırım Maliyeti

Dünya genelinde jeotermal enerjiden 2017 yılında elektrik üretimi için toplam yatırım maliyeti değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretimi için toplam yatırım maliyetlerinin ortalama değerleri dikkate alındığında, yatırım maliyetleri ortalama değerlerinin 3055–5209 \$_{US}/kW aralığında değiştiği görülmektedir. Dünyada ortalama yatırım maliyetinin en düşük (3055 \$_{US}/kW) olduğu bölge Asya kıtası, en yüksek olduğu (5209 \$_{US}/kW) bölge ise Avrupa kıtasıdır (Şekil 3.1). Dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretimi için yatırım maliyetlerinin kıtasal ortalaması 3991,38 \$_{US}/kW düzeyindedir.

Tablo 3.1: Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi İçin Yatırım Maliyetleri

(REN21, 2018)

Bölge	Toplam Yatırım Maliyeti (\$ _{US} /kW)			Kapasite Faktörü		
	Min.	Max.	Ortalama	Min.	Max.	Ortalama
Afrika	3745	7689	5101	0,8	0,92	0,87
Asya	1867	8736	3055	0,41	0,9	0,85
Orta Amerika	-	-	3537	-	-	0,57
Avrasya	-	-	3259	-	-	0,8
Avrupa	3613	8919	5209	0,6	0,8	0,66
Orta Doğu	-	-	-	-	-	-
Kuzey Amerika	2029	6720	3422	0,8	0,924	0,87
Avustralya	3783	4440	4000	0,8	0,8	0,8
Güney Amerika	4348	4348	4348	0,8	0,95	0,83
Kıtasal Ortalama	3230,83	6808,67	3991,38	0,70	0,88	0,78
Çin	-	-	-	-	-	-
Hindistan	-	-	-	-	-	-
ABD	5162	6720	5328	0,8	0,8	0,8



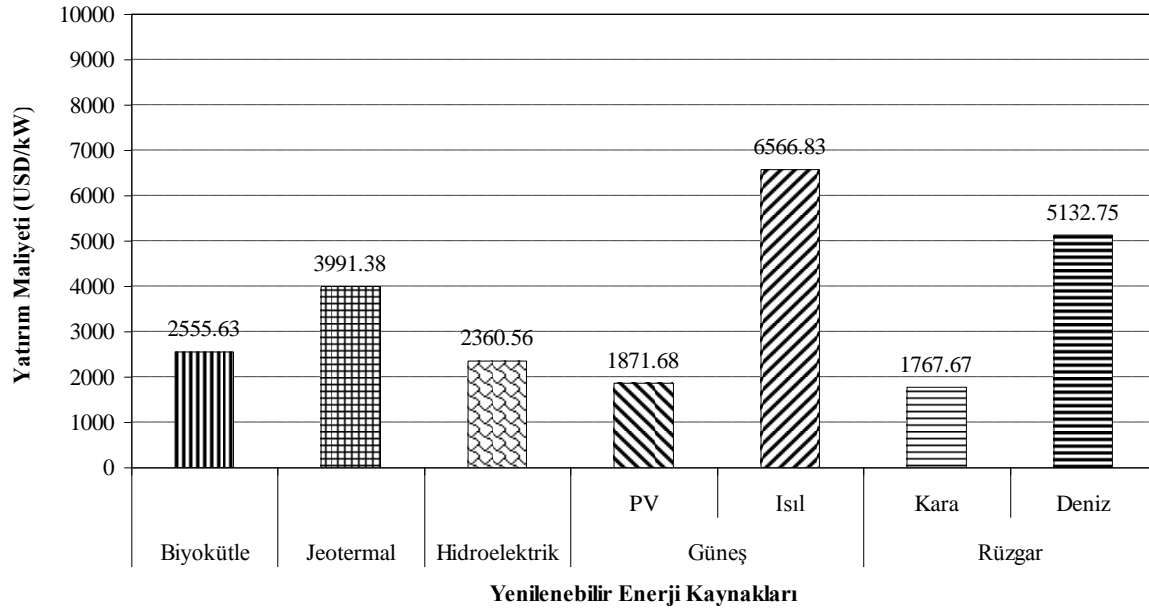
Şekil 3.1: Dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretimi için yatırım maliyetlerinin kıtalara göre değişimi (2017) (REN21, 2018)

3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi İçin Yatırım Maliyetleri

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi için ortalama yatırım maliyetlerinin değişimi Tablo 3.2 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi için ortalama yatırım maliyetleri dünyanın farklı bölgelerine bağlı olarak değişmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, birim kurulu güç (kW) başına en düşük ortalama yatırım maliyeti, 1767,7 \$_{US}/kW değeri ile karasal rüzgar enerjisinden elektrik üretimindedir. Karasal rüzgardan elektrik üretimini, 1871,7 \$_{US}/kW değeri ile güneş PV elektrik üretimi izlemektedir. Dünya genelinde birim kurulu güç başına ortalama yatırım maliyeti; hidroelektrik üretiminde 2360,56 \$_{US}/kW, biyokütleden elektrik üretiminde 2555,63 \$_{US}/kW, jeotermal enerjiden elektrik üretiminde 3991,4 \$_{US}/kW, deniz üstü rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde 5132,8 \$_{US}/kW ve güneşten ısı elektrik üretiminde 6566,8 \$_{US}/kW düzeyindedir.

Tablo 3.2: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretiminde Yatırım Maliyetlerinin Değişimi (2017) (REN21, 2018)

	Yenilenebilir Enerji Kaynakları						
	Biyokütle	Jeotermal	Hidroelektrik	Güneş		Rüzgar	
				PV	Isıl	Kara	Deniz
Yatırım maliyeti (\$_{US}/kW)	2555,63	3991,4	2360,56	1871,7	6566,8	1767,7	5132,8



Şekil 3.2: Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi için ortalama yatırım maliyetlerinin değişimi (2017) (REN21, 2018)

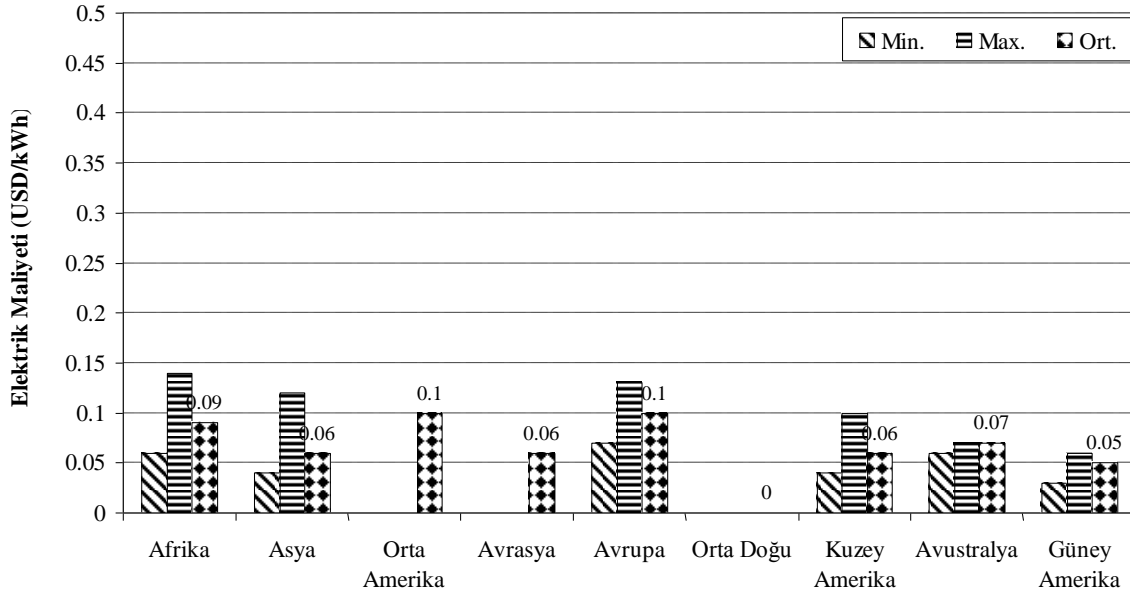
4. Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretiminde Üretim Maliyeti

Dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretimi için enerji maliyeti değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretimi için enerji maliyetlerinin ortalama değerleri dikkate alındığında, enerji maliyetleri ortalama değerlerinin 0,05–0,10 \$_{US}/kWh aralığında değiştiği görülmektedir (Şekil 4.1). Dünyada ortalama enerji maliyetinin en düşük (0,05

$\$/\text{kWh}$) olduğu bölge Güney Amerika bölgesi, en yüksek olduğu ($0,10 \text{ } \$/\text{kWh}$) bölge ise Avrupa ve Orta Amerika kıtasıdır. Dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretiminde enerji maliyeti kıtasal ortalaması olarak $0,074 \text{ } \$/\text{kWh}$ düzeyindedir.

Tablo 4.1: Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretiminde Enerji Maliyetleri (2017) (REN21, 2018)

Bölge	Enerji Maliyeti ($\$/\text{kWh}$)		
	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
Afrika	0,06	0,14	0,09
Asya	0,04	0,12	0,06
Orta Amerika	-	-	0,10
Avrasya	-	-	0,06
Avrupa	0,07	0,13	0,10
Orta Doğu	-	-	-
Kuzey Amerika	0,04	0,10	0,06
Avustralya	0,06	0,07	0,07
Güney Amerika	0,03	0,06	0,05
Kıtasal Ortalama	0,05	0,103	0,074
Çin	-	-	-
Hindistan	-	-	-
ABD	0,07	0,10	0,07



Şekil 4.1: Dünya genelinde jeotermal enerjiden elektrik üretiminde enerji maliyetlerinin kıtalara göre değişimi (2017) (REN21, 2018)

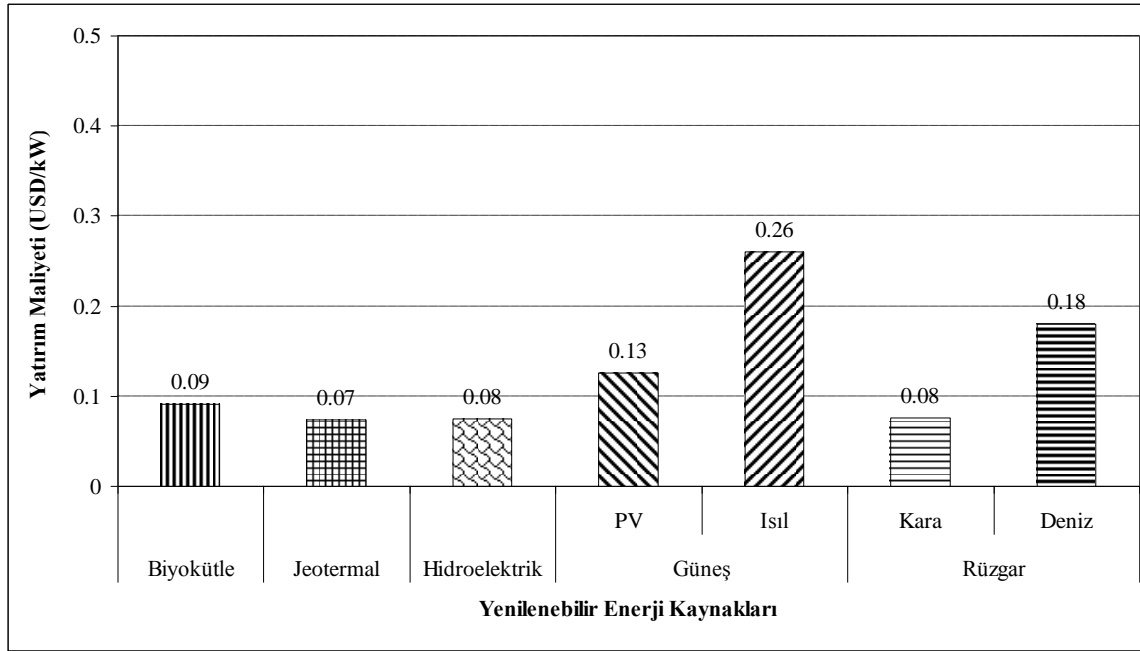
4.1. Yenilenebilir Elektrik Üretim Maliyetleri

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde ortalama enerji maliyetlerinin değişimi Tablo 4.2 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde ortalama enerji maliyetleri dünyanın farklı bölgelerine bağlı olarak değişmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, üretilen birim enerji (kWh) başına en düşük

enerji maliyeti, 0,074 \$_{US}/kWh değeri ile jeotermal enerjiden elektrik üretimindedir. Jeotermal elektrik üretimini, 0,075 \$_{US}/kWh değeri ile hidroelektrik üretimi izlemektedir. Dünya genelinde birim kurulu güç başına ortalama yatırım maliyeti; karasal rüzgardan elektrik üretiminde 0,076 \$_{US}/kWh, biyokütleden elektrik üretiminde 0,091 \$_{US}/kWh, jeotermal enerjiden elektrik üretiminde 3991,4 \$_{US}/kW, deniz üstü rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde 0,126 \$_{US}/kW ve güneşten ısı elektrik üretiminde 0,18 \$_{US}/kW düzeyindedir.

Tablo 4.2: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretiminde Enerji Maliyetlerinin Değişimi (2017) (REN21, 2018)

	Yenilenebilir Enerji Kaynakları						
	Biyokütle	Jeotermal	Hidroelektrik	Güneş		Rüzgar	
				PV	Isıl	Kara	Deniz
Enerji maliyeti (\$_{US}/kWh)	0,091	0,074	0,075	0,126	0,26	0,076	0,18



Şekil 4.2: Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde enerji maliyetlerinin değişimi (2017) (REN21, 2018)

5. Öneriler

Günümüzde ülkeler arasında devam eden ticaret uyuşmazlıkları başta olmak üzere, küresel politik ortamın belirsizlikler barındırması ve hükümetlerin temiz enerjiye sağladığı destek ödeneklerinin tüm dünyada kesintilere maruz kalması, yenilenebilir enerji sektörünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumda, kısa-orta vadede yenilenebilir enerji fiyatlarında rekabetin artacağı ve konsolidasyonlar da yukarı yönlü bir hareket yaşanabileceği öngörülmektedir. Daha uzun vadede ise ulaşım ve ısıtma sektörlerinin yenilenebilir enerji talepleri giderek yükselmekte ve politika yapıcılar ticaret ile ilgili anlaşmazlıkları geride bırakarak bu alana odaklanacaklardır.

Bütün dünyada yenilenebilir enerji yatırımları konusunda önemli bir geçiş süreci yaşanmaktadır. Yenilenebilir enerji, azalan maliyetler ve iklim değişikliğiyle mücadeleyi desteklemelerinden dolayı giderek daha önemli duruma gelmektedir. Yenilenebilir kaynaklarda hava koşullarından kaynaklanan dalgalanmayı engellemek için elektrik şebekelerinde esneklik sağlanmalıdır. Yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmak hedefi, bir takım zorlukları da beraberinde getirmektedir. Yatırım mekanizması, hem en az vergi yükü hem de yerelde istihdam ve katma değer oluşturmaktadır. Fosil yakıtlara, özellikle de kömüre olan yatırım konusunda dünya genelinde çok büyük çekince bulunmaktadır. Türkiye, temiz enerjiye geçmek için iyi bir başlangıç yapmıştır. Jeotermal, güneş ve rüzgar enerjisine yatırımlarını artırması gerekmektedir. Enerji verimliliğine yönelik hedeflerin belirlenmesi de öncelik olmalıdır.

KAYNAKÇA

- Akdağ, S., & İskenderoğlu, Ö. (2018). Avrupa Birliğine Üye Ve Aday Ülkelerde Yenilenemeyen Enerji, Yenilenebilir Enerji Ve Nükleer Enerji Tüketiminin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi. *Turkish Studies Economics, Finance and Politics*, 13/30:1–14.
- Akpınar, E., & Başbüyük, A. (2011). Jeoekonomik Önemi Giderek Artan Bir Enerji Kaynağı: Doğalgaz. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 6/3:119–136.
- Akzeybek, R. (2016). Enerji Güvenliği Bağlamında Çin'in Afrika Politikası. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 11/8:25–42.
- Altun, T. (2018). Hanelerde Enerji Verimliliği: Davranışsal Müdahaleler Ve Kamu Politikaları İçin Anahtar İlkeler. *Turkish Studies Economics, Finance And Politics*, 13/22:91–106.
- BNEF. (2018). Bloomberg New Energy Finance.
- BNEF. (2019). Bloomberg New Energy Finance.
- Çoban, M.N., & Ölmez, Ü. (2016). Mavi Ekonomi Ve Mavi Büyüme. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 12/3:155–166.
- Dikmen, A.Ç. (2019). Türkiye'de Güneş ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları Ve Çevre Maliyetinin Azalmasına Katkıları. *Turkish Studies*, 14/2:275–293.
- Doğanay, R. (2015). Enerji Savaşları Güncelinde Tarihe Bir Atıf: Chester Projesi. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 10/9:169–192.
- Elmacı, S. (2018). Türkiye'de Nükleer Enerji Santralleri Kurulmasının Coğrafi Açından Değerlendirilmesi. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 13/3:283–298.
- Elmastaş, N. (2015). Türkiye'nin Enerji Sektörü Açısından Şeyl (Kaya) Gazı Potansiyeli Ve Önemi. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 10/14:291–310.
- Erdoğan, M., & Ganiev, J. (2016). Orta Asya Ülkelerinde CO₂ Emisyonu, İktisadi Ve Finansal Gelişme Ve Fosil Yakıt Enerji Tüketimi İlişkisi. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 11/21:471–486.
- EPIAŞ. (2019). Elektrik Piyasası İşletme Anonim Şirketi, Ankara.

-
- IEA. (2019). International Energy Agency. World Energy Outlook.
- IRENA. (2018). Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı.
- İslamova, P. (2015). Hazar Denizinin Statüsü Hakkında Görüşmeler Ve Bu Sürecin Yerel Ve Bölgesel Enerji Güvenliğine Etkisi. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 10/2:483–490.
- Koca, N., & Bulut, R. (2015). Sosyal Bilgiler Öğretmen Adaylarının Türkiye'nin Enerji Kaynaklarına İlişkin Görüşleri. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 10/11:1007–1022.
- Kurt, Ü. (2019). Türkiye Ekonomisinde Finansal Gelişme, Enerji Tüketimi Ve Ekonomik Büyüme İlişkisi. *Turkish Studies*, 14/2:599–614.
- LCOE. (2016). Simple Levelized Cost of Energy (LCOE) Calculator Document, NREL.
- Özalp, M. (2019). Küresel Ölçekte Türkiye'nin Enerji Arz Ve Talep Güvenliği. *Turkish Studies*, 14/1:537–552.
- TEİAŞ. (2018). Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Ankara.
- Ulusoy, T., & Atay, H. (2018). İl Özel İdarelerinde Alternatif Finansman Kaynakları: Karbon Sertifikaları Ve Kullanımı. *Turkish Studies Economics, Finance and Politics*, 13/30:477–494.