

ENERJİ ÜRETİM SANTRALLERİ MALİYET ANALİZİ

Kadir Kaya*

Arş. Gör.,

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun
kadir.kaya@omu.edu.tr

Erdem Koç

Prof. Dr.,

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun
erdemkoc@omu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye’de enerji üretimi ve enerji santral maliyetleri ile ilgili genel bir değerlendirme yapılmıştır. Bu amaçla, Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi değerlendirilmiş olup, Türkiye’nin 2014 yılı Ekim ayı sonu itibarıyla kurulu gücü, Türkiye’de inşa halindeki enerji santralleri ve Türkiye’nin enerji santral hedefleri incelenmiştir. Ayrıca Enerji üretim maliyetlerine etki eden faktörler (santralin kuruluş maliyeti, işletme-bakım maliyeti vb.) araştırılmış, santrallerin birim enerji üretim maliyetleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji üretimi, enerji üretim santralleri, maliyet

COST ANALYSIS OF ENERGY GENERATION PLANTS

ABSTRACT

In this study, a general assesment about energy generation in Turkey and energy generation costs have been carried out, For this purpose, energy generation in Turkey was evaluated and installed power plants of Turkey as the end of October 2014 and under construction power plants of Turkey, and the power generation targets of Turkey were investigated. Moreover, the factors that affect on the energy generation costs (investment and operation cost) were investigated and the unit energy generation costs of power plants were evaluated comperatively.

Keywords: Energy generation, power generation plants, cost

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 18.12.2014

Kabul tarihi : 23.01.2015

Kaya, K., Koç, E. 2015. “Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi,” Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 660, s. 61-68.

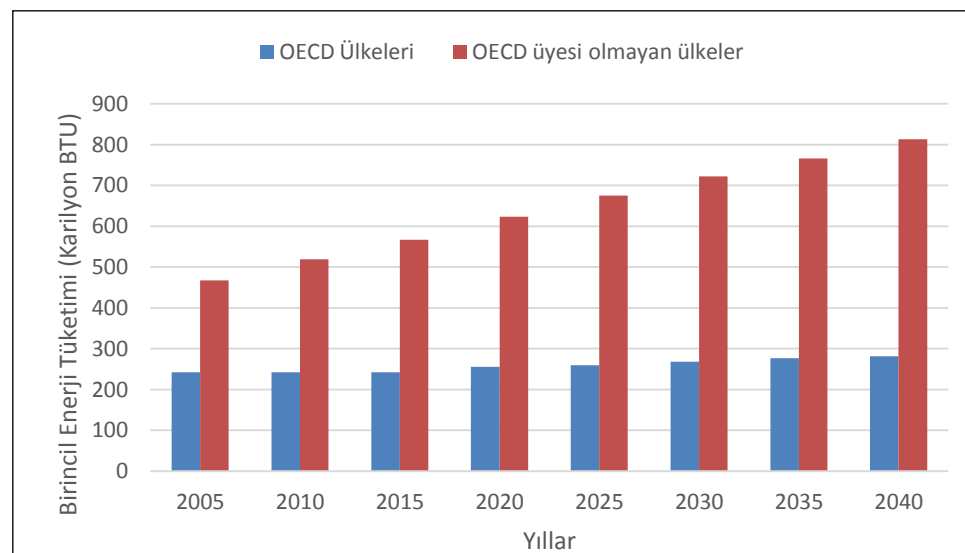
1. GİRİŞ

Günlük hayatımızın hemen her alanında kullanılan enerji, kısaca, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Mekanik (potansiyel ve kinetik), ısı, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi değişik türlerde bulunabilen enerji, uygun yöntemlerle bir enerji türünden diğerine dönüştürülebilmektedir.

Enerji kaynakları kullanılışlarına göre, yenilenebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları; dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Enerjinin herhangi bir değişim ya da dönüşüme uğramamış şekli birincil (primer) enerji, birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji ise ikincil (sekonder) enerji olarak tanımlanmaktadır. Birincil enerji kaynakları petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, dalga, gel-git, güneş ve rüzgar iken; ikincil enerji kaynakları elektrik, benzin, mazot, motorin, kok kömürü, ikincil kömür, petrokok, hava gazı, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) şeklindedir [1-2].

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal bir çevrim sürecinde aynen kalabilen, kullanılmasına rağmen azalmayan, tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Hidrolik, güneş, rüzgar, biyokütle ve dalga birer yenilenebilir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları bir kez kullanıldığında kendini yenileyemeyen enerji kaynakları olup, petrol, kömür, doğal gaz ve uranyum, toryum gibi çekirdek enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [1-2].

Teknolojik gelişmeler, dünya nüfusundaki artış, insanların refah seviyesindeki artış gibi sebeplerle dünyada enerjiye olan talep sürekli artmaktadır. Amerikan Enerji Ajansı (APEA) verilerine göre, 2005 ve 2040 yılları arasında OECD ülkelerindeki enerji tüketiminin fazla değişmeyeceği beklenmesine



Şekil 1. Dünya Enerji Tüketiminde Beklenen Değişim [3]

rağmen, OECD üyesi olmayan ülkelerin enerji tüketiminde yaklaşık %75'lik bir artış (2005 yılında 467 Katrılyon BTU (British Thermal Unit), 2040 yılında 813 katrılyon BTU) beklenmektedir (Şekil 1) [3].

Dünyada enerji talebi her ülkede farklı olmakla birlikte, küresel ölçekte sürekli artmakta olup, bu talebi karşılamak için yatırımlar yapılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) verilerine göre, enerji sektörüne üçte ikisi OECD dışı ülkelerde olmak üzere, toplam 42,2 trilyon dolar yatırım yapılacağı tahmin edilmekte olup, bu yatırımların 17 trilyon dolarının elektrik sektörü, 9,4 trilyon dolarının petrol, 8,5 trilyon dolarının gaz sektörü, 0,8 trilyon dolarının kömür sektörü, 6,5 trilyon dolarının ise yenilenebilir enerji sektörüne yapılması beklenmektedir [3].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının da yakın bir gelecekte tükenecek olması ve enerjiye olan talebin karşılanması için yeni enerji üretim santrallerinin kurulması gerekmektedir. Gelecekte enerji yatırımlarında sağlıklı kararlar alabilmek için enerji santral maliyetleri değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada, Türkiye'de enerji üretimi amacıyla kullanılan santrallerin durumu ve Türkiye'nin enerji üretim potansiyeli belirlenmiş olup, genel olarak enerji maliyetine etki eden faktörler (santralin kuruluş maliyeti, işletme-bakım maliyeti) araştırılmış, santrallerin birim enerji üretim maliyetleri karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. TÜRKİYE'DE GENEL ENERJİ DURUMU

Türkiye, linyit, taş kömürü, asfaltit, ham petrol, bitüm, doğal gaz ve uranyum gibi yenilenebilir; hidrolik, rüzgar, jeotermal, biyokütle ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip bir ülkedir. 2012 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin tespit edilen yerli enerji kaynak potansiyeli Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan, Türkiye'nin görünür linyit rezervi 10782,3 milyon ton; görünür, muhtemel ve mümkün rezervinin toplamının 11752,2 milyon ton olduğu görülmektedir. Tablodan ayrıca, Türkiye'nin elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanılacak jeotermal enerji potansiyelinin 600 MW, ısı enerjisi üretimi amaçlı kullanılacak jeotermal enerji potansiyelinin ise 31500 MW olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli [4]

Kaynaklar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Taş Kömürü (Milyon Ton)	526	425	368,4	1319,4
Linyit (Milyon Ton)	10782,3	826,767	143,141	11752,2
Asfaltit (Milyon Ton)	40,7	29,5	7,3	77,5
Bitüm (Milyon Ton)	1641,4			1641,4
Hidrolik (MW)	36603			36603
Ham Petrol (Milyon Ton)	43,13			43,13
Doğalgaz (Milyar m ³)	6,2			6,2
Uranyum (Ton)	9129			9129
Toryum (Ton)	380000			380000
Jeotermal (Elektrik) (MW)	98		512	600
Jeotermal (Isı) (MW)	3348		28152	31500
Güneş (Mtep)	32,6			32,6
Rüzgar (MW)	48000			48000
Biyokütle (Elektrik) (Mtep)				2,6
Biyokütle (Isı) (Mtep)				6

2.1 Türkiye'de Elektrik Enerjisi Durumu

Dünyada yaygın olarak kullanılan ikincil enerji çeşidi elektrik enerjisidir. Türkiye'de elektrik enerjisi üretimi amacıyla termik santraller, hidrolik santraller, rüzgar santralleri ve jeotermal santrallerden yararlanılmaktadır. Termik santraller; fuel-oil, motorin, ithal kömür, doğal gaz, taş kömürü, linyit gibi yakıtlar yakılarak elde edilen buharın türbinlere gönderilip, türbinlerde buhar enerjisinin kinetik enerjiye, daha sonra da türbine bağlı olan jeneratörlerde elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibiyle çalışmaktadır. Hidrolik santraller, suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak potansiyel enerjiyi önce kinetik enerjiye, sonra da türbin rotoruna bağlı jeneratörlerde

Tablo 2. Türkiye'nin Kaynaklara Göre Elektrik Enerjisi Üretim Kapasitesi [4, 10]

Santral Türü	Yıllar							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014*	
Termik [MW]	27595,1	29339,1	32276,5	33931,1	35027,2	38700	-	
Hidrolik [MW]	13828,7	14553,4	15831,2	17137,1	19609,4	22693	23485	
Rüzgar [MW]	363,7	791,6	1320,2	1728,7	2260,5	2760	3511,8	
Jeotermal [MW]	29,8	77,2	94,2	114,2	162,2	226,2	404,9	
Güneş [MW]	-	-	-	-	9	15	23,8	
Toplam [MW]	41817,2	44761,2	49542,1	52911,1	57059,4	64394,2		

* 31 Ekim 2014 itibarıyla

elektrik enerjisine dönüştürerek enerji üretilmesini sağlamaktadır. Rüzgar enerji santrallerinde, rüzgarın kinetik enerjisinden faydalanılarak elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmektedir. Jeotermal santrallerde ise yer kabuğunun çeşitli katmanlarındaki buhar, sıcak su ve gazlardan yararlanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu bölümde, Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim kapasitesi, Türkiye'de elektrik enerjisi kullanımı ve Türkiye'de inşa halinde bulunan santraller değerlendirilmiştir [1].

2.1.1 Türkiye'de Elektrik Enerjisi Üretim Kapasitesi

Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim santrallerinin kurulu gücünün 2008 ve 2013 yılları arasındaki değişimi Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan, Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminde en fazla termik santrallerden yararlanıldığı görülmekte olup, bu santrallerin yarısından fazlasında yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Tablo değerlendirildiğinde, ayrıca

Tablo 3. Ocak 2014 İtibarıyla Türkiye'de İnşa Halindeki Santraller [5]

Yakıt/Kaynak Türü	Santral Sayısı	İnşa Halindeki Kapasite [MW]
Hidrolik Santral	210	6527,4
Doğalgaz Yakıtlı Termik Santral	28	2624,9
İthal Kömür Yakıtlı Termik Santral	3	2150
Rüzgar Santrali	53	1535,9
Linyit Yakıtlı Termik Santral	7	881,5
Jeotermal Santral	10	313,2
Asfaltit Yakıtlı Termik Santral	1	270
Fuel-Oil Yakıtlı Termik Santral	1	110,4
Diğer Termik Santraller	3	25
Biyokütle Enerji Santrali	6	16
Atık Isı Santrali	1	5,5
Toplam	324	14459,8

Türkiye'de bulunan bütün enerji santral kapasitelerinin artmakta olduğu görülmekte olup, bu durum, Türkiye'de enerji ihtiyacının her yıl giderek artmasından kaynaklanmaktadır.

2.1.2 Türkiye'de İnşa Halinde Olan Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri

Gelişmekte olan ülkeler arasın-

da yer alan Türkiye’de enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla, Türkiye’de yeni üretim santralleri kurulmakta olup, Ocak 2014 itibarıyla proje fiili gerçekleşme oranı %10’un üzerinde olan santraller Tablo 3’te verilmiştir. Tablodan, Türkiye’de inşa halindeki elektrik enerjisi üretim santrallerinin toplam kapasitesinin 14459,8 MW olduğu, bu kapasitenin Türkiye’nin 2013 yılı sonundaki toplam kapasitesinin (64394,2 MW) yaklaşık %23’ü olduğu görülmektedir. Tablo incelendiğinde, ayrıca Türkiye’de inşa halinde olan santrallerden sırasıyla, en fazla olanları hidrolik (6527,4 MW), doğalgaz yakıtlı termik santral (2624,9 MW), ithal kömür yakıtlı termik santral (2150 MW) ve rüzgar santrali (1535,9 MW) şeklindedir.

2.1.3 Türkiye İçin Enerji Üretim Santrali Hedefleri

Türkiye, enerji arz güvenliğini esas alan bir enerji politikası yürütmektedir. Bu politikayla, yerli kaynaklara öncelik vermek suretiyle kaynak çeşitliliğinin sağlanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzındaki payının artırılarak hem enerji ve tabii kaynaklar alanındaki faaliyetlerin çevreye duyarlı bir şekilde yürütülmesi hem de petrol ve doğal gaz alanlarında kaynak çeşitliliğinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu politika doğrultusunda, Cumhuriyetimizin yüzüncü yılı için arz güvenliği, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimliliğine yönelik belirlenen hedefler şunlardır.

- Bilinen linyit ve taşkömürü kaynaklarımızın tamamının elektrik üretiminde kullanılması,
- İki nükleer santralin devreye alınması ve üçüncü nükleer santralin inşaatına başlanması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzındaki payının %30’a çıkarılması,
- Teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek hidroelektrik potansiyelinin tamamının elektrik üretiminde kullanılması,
- Rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20.000 MW’a çıkarılması,
- 600 MW’lık jeotermal enerji potansiyelinin tamamının işletmeye alınması,
- Elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesinin 110.000 MW’a çıkarılması,
- Toplam enerji üretiminin 440 milyar kWh’a yükseltilmesidir [5].

Türkiye’de belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalarla, ilerleyen yıllarda termik santraller, hidrolik santraller, jeotermal santraller ile ilgili hedeflerin gerçekleştirilmesi sağlanacaktır.

Türkiye’de 2013 sonu itibarıyla rüzgar enerjisi kurulu gücü 2958,45 MW olmuş olup, Türkiye’de 2013 sonu itibarıyla inşa halinde 980,90 MW kapasiteli rüzgar santrali bulunmak-

tadır. İnşa halindeki rüzgar santrallerinin tamamlanması ile birlikte Türkiye’nin rüzgar santrali kurulu gücü 3939,45 MW olacaktır. Bu değer, hedeflenen 20000 MW’lık enerji kapasitesinin yaklaşık %20’sine tekabül etmektedir [6].

Enerji santral yatırımı yapılmadan önce, farklı santral tiplerinin maliyet unsurlarının değerlendirilmesi, doğru santral tipinin seçilmesi ve sağlıklı yatırım kararı alınması açısından önemlidir.

3. ENERJİ ÜRETİM SANTRALLERİNİN MALİYET ANALİZİ

Enerji santrallerinde maliyet unsurlarının değerlendirilmesinde, genellikle santralin ilk yatırım maliyeti ve birim enerji üretim maliyeti dikkate alınmaktadır. Santralin birim enerji üretim maliyeti, santralin kullanım ömrü boyunca yapılan bütün harcamaları (ilk yatırım maliyeti, işletme/bakım maliyetleri) kapsayan, santralden birim enerji elde edilmesi için gerekli olan maliyeti ifade eden ekonomik bir değerlendirme kriteridir. Enerji santrallerinde elektrik enerjisi üretimine etki eden faktörler, santralin ilk yatırım maliyeti ve işletme/bakım maliyetidir.

İlk Yatırım Maliyeti:

İlk yatırım maliyeti, santralin işletmeye başlamadan önce enerji üretimine hazır hale getirilmesi amacıyla, makina-teçhizat, bina, arazi vb. temel elemanlar için yapılan harcamalardır. Enerji santral maliyetlerinin en büyük kısmı ilk yatırım maliyetleridir.

İşletme/Bakım Maliyeti:

İşletme/bakım maliyetleri ise santral kurulumu sonrası santralden enerji üretmek için yapılması gereken harcamalardır. İşletme maliyetleri, sabit işletme maliyeti ve değişken işletme maliyeti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sabit işletme maliyeti çalışanların maaşları ve primler, santral genel ve idari harcamaları, santral destek ekipmanları, planlanmış bakımlar gibi maliyetlerdir. Değişken işletme maliyetleri ise santralde kullanılan yakıtlar, enerji, su, kimyasallar, katalizörler, gazlar, yağlayıcılar, tükenen malzeme ve kaynaklar ile atıkların neden olduğu maliyetlerdir.

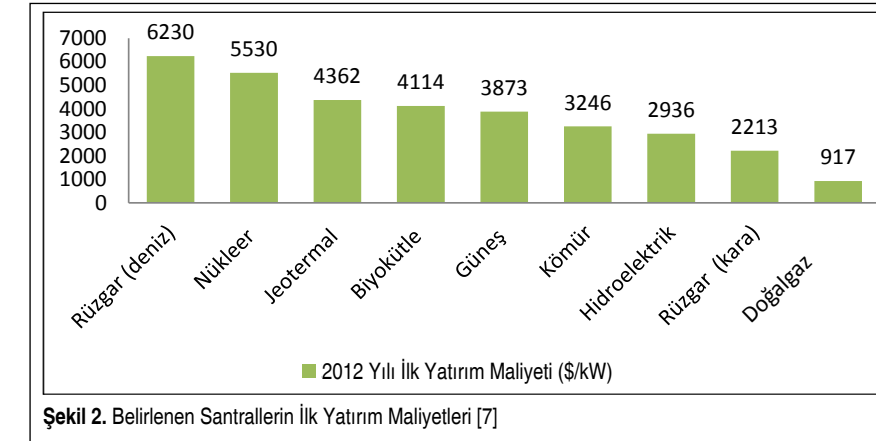
Kömür ve doğalgaz yakıtlı termik santral, nükleer santral, hidroelektrik santral, rüzgar enerji santralleri (kara ve deniz üstü), güneş enerji santrali, jeotermal enerji santrali ve biyokütle enerji santrali için \$/kW cinsinden ilk yatırım maliyetleri, \$/kW-yıl cinsinden sabit işletme maliyetleri ile \$/MWh cinsinden değişken işletme maliyetleri Tablo 4’te verilmiştir. Tabloda, ilk yatırım maliyeti bir birim güç elde edilmesi için santralden birim güç elde edilmesi için ödenmesi gereken maliyet ve değişken işletme maliyeti bir birim enerji elde edilmesi için ödenmesi gereken maliyet olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Enerji Santrali Maliyetleri [7]

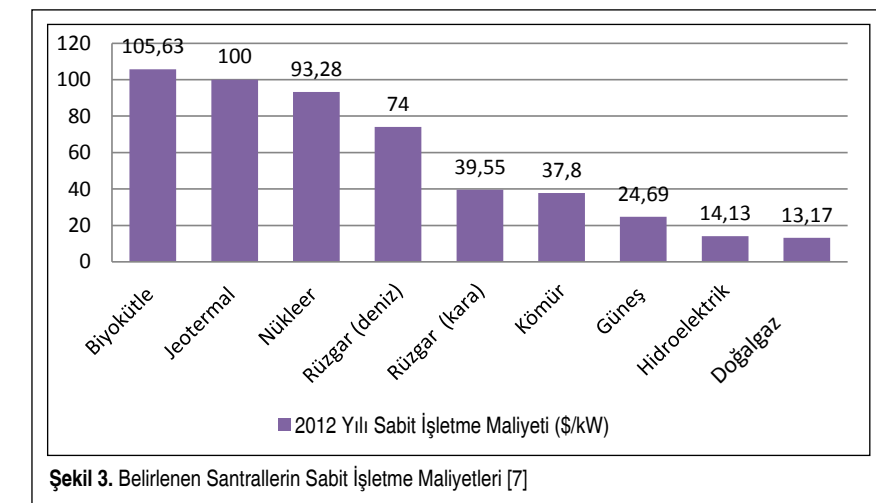
Santral Tipi	İlk Yatırım Maliyeti (\$/kW)	Sabit İşletme Maliyeti (\$/kW-yıl)	Değişken İşletme Maliyeti (\$/MWh)
Rüzgar Santrali (Deniz Üstü)	6230	74	-
Nükleer Santral	5530	93,28	2,14
Jeotermal Enerji Santrali	4362	100	-
Biyokütle Eneji Santrali	4114	105,63	5,26
Güneş Enerji Santrali	3873	24,69	-
Kömür Yakıtlı Linyit Santral	3246	37,8	4,47
Hidroelektrik Santral	2936	14,13	-
Rüzgar Santrali (Kara)	2213	39,55	-
Doğalgaz Yakıtlı Linyit Santral	917	13,17	3,6

Tablo değerlendirildiğinde, rüzgar santralleri, jeotermal enerji santralleri, güneş enerji santralleri ve hidroelektrik santraller yenilenebilir enerji santrallerinin değişken işletme maliyetlerinin olmadığı görülmektedir.

Tablodan, ilk yatırım maliyetleri yüksek olan santraller sırasıyla, deniz üstü rüzgar enerji santrali (6230 \$/kW), nükleer santral (5530 \$/kW) ve jeotermal



Şekil 2. Belirlenen Santrallerin İlk Yatırım Maliyetleri [7]



Şekil 3. Belirlenen Santrallerin Sabit İşletme Maliyetleri [7]

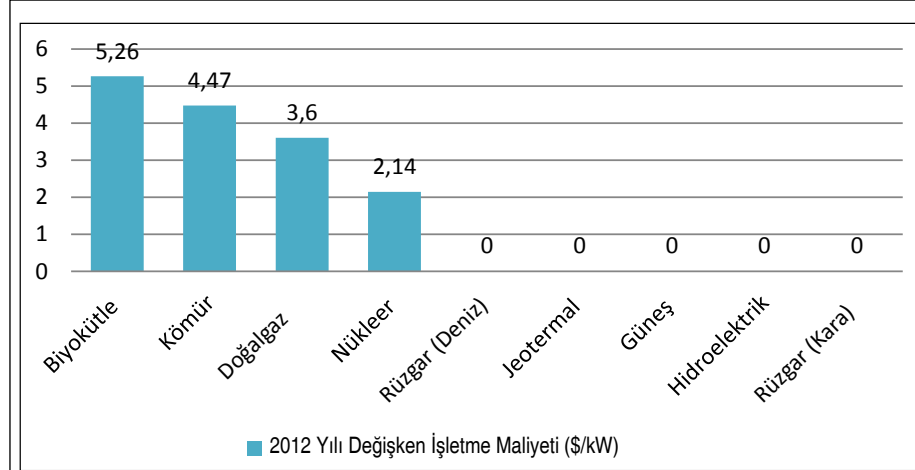
enerji santrali (4362 \$/kW) iken; ilk yatırım maliyetleri düşük olan santraller ise doğalgaz yakıtlı linyit santral (917 \$/kW), karada kullanılan rüzgar santrali (2213 \$/kW) ve hidroelektrik santral (2936 \$/kW) olduğu görülmektedir. Sabit işletme maliyeti en yüksek olan santraller sırasıyla, biyokütle enerji santrali (105,63 \$/kW-yıl), jeotermal enerji santrali (100 \$/kW-yıl) ve nükleer santral (93,28 \$/kW-yıl); düşük olan santraller ise sırasıyla, doğalgaz yakıtlı termik santral (13,17 \$/kW-yıl), hidroelektrik santral (14,13 \$/kW-yıl) ve güneş enerji santralidir (24,69 \$/kW-yıl). Değişken işletme maliyeti yüksek olan santraller, biyokütle enerji santrali (5,26 \$/MWh) ile kömür yakıtlı linyit santral (4,47 \$/MWh); düşük olan santraller ise nükleer santral (2,14 \$/MWh) ile doğalgaz yakıtlı linyit santral (3,6 \$/MWh) şeklindedir.

Hidroelektrik santral, rüzgar enerji santrali (kara ve deniz), güneş enerji santrali ve jeotermal enerji santralin herhangi bir yakıt gideri olmadığı için değişken işletme maliyeti sıfırdır. Belirlenen santrallerin santral tipine göre, ilk yatırım (Şekil 2), sabit işletme (Şekil 3) ve değişken işletme (Şekil 4) maliyetleri verilmiştir.

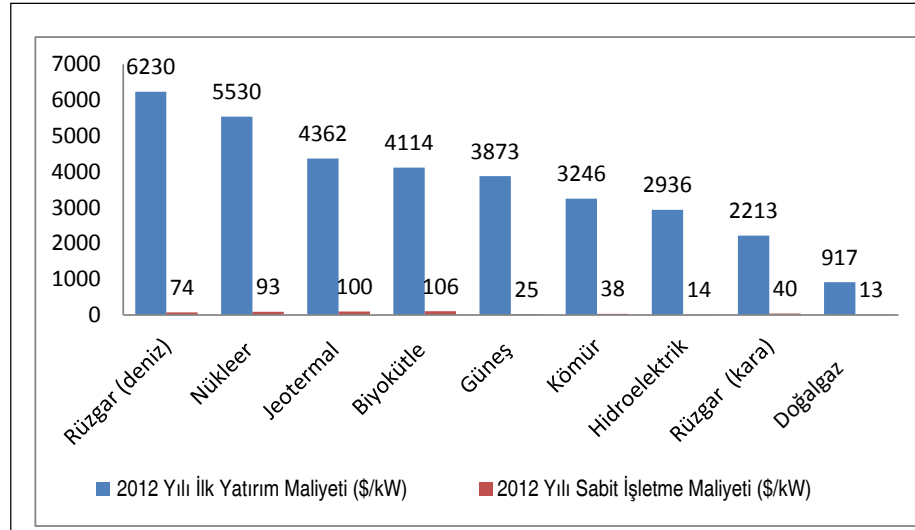
Belirlenen santrallerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri karşılaştırma amacıyla yeniden Şekil 5’te verilmiştir. Şekilden, ilk yatırım maliyetleri düşük olan santrallerin sırasıyla, doğalgaz yakıtlı termik santral, rüzgar santrali (kara) ve hidroelektrik santral olduğu görülmektedir. Şekilden ayrıca, sabit işletme maliyetleri en düşük olan santrallerin sırasıyla, doğalgaz yakıtlı termik santral, hidroelektrik santral ve güneş enerji santrali olduğu görülmektedir.

Belirlenen enerji santrallerinin 2012 ve 2014 yıllarındaki ilk yatırım ve birim enerji üretim maliyetleri karşılaştırmalı olarak Tablo 5’te verilmiştir. Tabloda, maliyet unsurları belli bir aralıkta verilmiş olup, bu aralık maliyet unsurlarının bölgesel olarak farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Tablodaki değişim miktarları belirlenen yıldaki değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Tablodan, belirlenen santrallerin ilk yatırım maliyetleri değerlendirildiğinde, nükleer



Şekil 4. Belirlenen Santrallerin Değişken İşletme Maliyetleri [7]



Şekil 5. Santral Tipine Göre İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri [7]

Tablo 5. Enerji Santrallerinin İlk Yatırım ve Birim Enerji Üretim Maliyetleri [8, 9]

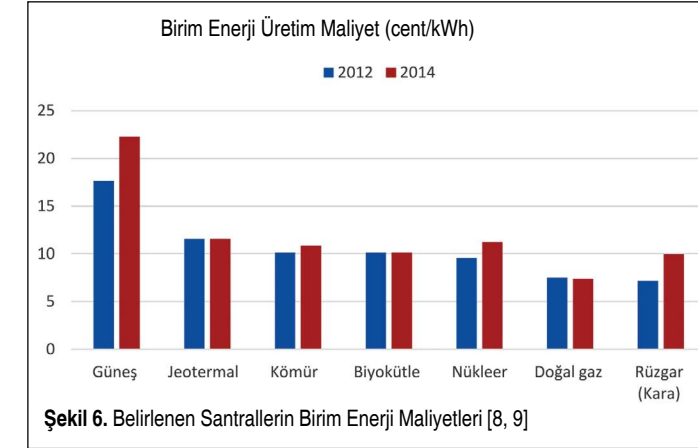
Santral Tipi	İlk Yatırım Maliyeti (\$/kW)			Birim Enerji Üretim Maliyeti (cent/kWh)		
	2012 Yılı	2014 Yılı	Değişim (%)	2012 Yılı	2014 Yılı	Değişim (%)
Nükleer Santral	5385-8199	5385-8053	-1,08	7,7-11,4	9,2-13,2	17,3
Güneş Enerji Santrali	3000-3500	3500-4500	23,08	14,9-20,4	18,0-26,5	26,1
Jeotermal Enerji Santrali	4600-7250	4600-7250	0	8,9-14,2	8,9-14,2	0,0
Biyokütle Enerji Santrali	3000-4000	3000-4000	0	8,7-11,6	8,7-11,6	0,0
Kömür Yakıtlı Termik Santral	3000-8400	3000-8400	0	6,2-14,1	6,6-15,1	6,9
Rüzgar Enerji Santrali (Kara)	1500-2000	1400-1800	-8,58	4,8-9,5	3,7-16,2	39,2
Doğalgaz Yakıtlı Termik Santral	1006-1318	1006-1318	0	6,1-8,9	6,1-8,7	-1,3

santralin en yüksek ilk yatırım maliyetine (2012 yılı 5385-8199 \$/kW); doğalgaz yakıtlı termik santralin ise en düşük ilk yatırım maliyetine (2012 yılı 1006-1018 \$/kW) sahip olduğu görülmektedir.

Belirlenen santrallerin 2012 ve 2014 yıllarındaki ilk yatırım maliyetleri değerlendirildiğinde, nükleer santral ve rüzgar enerji santralının ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı, güneş enerji santralının ilk yatırım maliyetinin arttığı, diğer santrallerin ilk yatırım maliyetlerinin ise değişmediği gözlemlenmiştir.

Santrallerin birim enerji üretim maliyetlerindeki değişimin daha iyi görülebilmesi için, belirlenen santrallerin 2012 ve 2014 yıllarındaki birim enerji üretim maliyetleri Şekil 6'da verilmiştir. Burada, birim enerji maliyet değerlerinde verilen aralıkların (Tablo 5) ortalamaları dikkate alınmış olup, 2012 yılı esas alınarak birim enerji maliyeti büyükten küçüğe göre sıralanmıştır. Şekilde, en yüksek birim enerji üretim maliyetine sahip olan santralin güneş enerji santrali (2012 yılı 17,65 cent/kWh), en düşük birim enerji üretim maliyetine sahip olan santralin ise rüzgar enerji santrali (2012 yılı 7,15 cent/kWh) olduğu gözlemlenmiştir.

Belirlenen santrallerin birim enerji üretim maliyetlerindeki değişim değerlendirildiğinde; rüzgar (kara) (%39,16), güneş (%26,06), nükleer (%17,28) ve kömür yakıtlı termik santrallerin (%6,9) birim enerji üretim maliyetlerinin arttığı, jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinde birim enerji üretim maliyetlerinin değişmediği, doğalgaz yakıtlı termik santrallerinde ise birim enerji üretim maliyetinin azaldığı (%1,33) görülmektedir (Tablo 5 ve Şekil 6).



Şekil 6. Belirlenen Santrallerin Birim Enerji Maliyetleri [8, 9]

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'de enerji üretimi amacıyla kullanılan santrallerin durumu ve Türkiye'nin enerji üretim potansiyeli belirlenmiş olup, genel olarak enerji maliyetine etki eden faktörler (santralin kuruluş maliyeti, işletme-bakım maliyeti) araştırılmış, santrallerin birim enerji üretim maliyetleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş olup, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Dünyada, 2005 ve 2040 yılları arasında OECD ülkelerindeki enerji tüketiminin fazla değişmeyeceği beklenmesine rağmen, OECD üyesi olmayan ülkelerin enerji tüketiminde yaklaşık %75'lik bir artış (2005 yılında 467 Katrilyon BTU, 2040 yılında 813 katrilyon BTU) beklendiği belirlenmiştir.
- Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) verilerine göre, enerji sektörüne üçte ikisi OECD dışı ülkelere olmak üzere, toplam 42,2 trilyon dolar yatırım yapılmasının beklendiği belirlenmiştir. Bu yatırımların 17 trilyon dolarının elektrik sektörü, 9,4 trilyon dolarının petrol, 8,5 trilyon dolarının gaz sektörü, 0,8 trilyon dolarının kömür sektörü, 6,5 trilyon dolarının ise yenilenebilir enerji sektörüne yapılması beklenmektedir.
- 2012 yılı sonu itibarıyla Türkiye'deki elektrik santral kapasitesinin 57059,4 MW olduğu, bu santrallerin 35027,2 MW'lık kısmı termik santraller, 19609,4 MW'lık kısmı hidrolik santraller, 2260,5 MW'lık kısmı rüzgar santralleri, 162,2 MW'lık kısmı ise jeotermal santrallerden oluştuğu tespit edilmiştir.
- Türkiye'de inşa halinde olan elektrik enerjisi üretim santrallerinin toplam kapasitesinin 14459,8 MW olduğu belirlenmiştir. Bu santrallerin 6527,4 MW'lık kısmını hidrolik santraller, 2624,9 MW'lık kısmını doğalgaz yakıtlı termik santraller, 2150 MW'lık kısmını ithal kömür yakıtlı termik santraller, 1535,9 MW'lık kısmını ise rüzgar santralleri oluşturmaktadır.

- Türkiye'de belirlenen enerji hedeflerinin gerçekleştirilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalarla ilerleyen yıllarda termik santraller, hidrolik santraller, jeotermal santraller ile ilgili hedeflerin gerçekleştirilmesinin sağlanacağı beklenmektedir.
- Türkiye'de 2013 sonu itibarıyla rüzgar enerjisi kurulu gücü 2958,45 MW olduğu, Türkiye'de 2013 sonu itibarıyla inşa halinde 980,90 MW kapasiteli rüzgar santrali bulunduğu belirlenmiştir. İnşa halindeki rüzgar santrallerinin tamamlanması ile birlikte, Türkiye'nin rüzgar santrali kurulu gücü 3939,45 MW olacağı ve bu değer hedeflenen 20.000 MW'lık enerji kapasitesinin yaklaşık %20'sine tekabül ettiği belirlenmiştir.
- Santral tiplerinin ilk yatırım maliyetleri değerlendirildiğinde, ilk yatırım maliyetleri yüksek olan santrallerin sırasıyla, deniz üstü rüzgar enerji santrali (6230 \$/kW), nükleer santral (5530 \$/kW) ve jeotermal enerji santrali (4362 \$/kW); ilk yatırım maliyetleri düşük olan santraller ise doğalgaz yakıtlı linyit santral (917 \$/kW), karada kullanılan rüzgar santrali (2213 \$/kW) ve hidroelektrik santral (2936 \$/kW) şeklinde olduğu belirlenmiştir.
- Santral tiplerinin sabit işletme maliyetleri değerlendirildiğinde, en yüksek olan santraller sırasıyla, biyokütle enerji santrali (105,63 \$/kW-yıl), jeotermal enerji santrali (100 \$/kW-yıl) ve nükleer santral (93,28 \$/kW-yıl); düşük olan santraller ise sırasıyla, doğalgaz yakıtlı termik santral (13,17 \$/kW-yıl), hidroelektrik santral (14,13 \$/kW-yıl) ve güneş enerji santrali (24,69 \$/kW-yıl) şeklinde olduğu tespit edilmiştir.
- Santral tiplerinin değişken işletme maliyetleri değerlendirildiğinde ise değişken işletme maliyeti yüksek olan santraller biyokütle enerji santrali (5,26 \$/MWh) ile kömür yakıtlı linyit santral (4,47 \$/MWh), düşük olan santraller ise nükleer santral (2,14 \$/MWh) ile doğalgaz yakıtlı linyit santral (3,6 \$/MWh) olduğu belirlenmiştir.
- Santrallerin birim enerji üretim maliyetleri değerlendirildiğinde, en yüksek birim enerji üretim maliyetine sahip olan santralin güneş enerji santrali (2014 yılı 18-26,5 cent/kWh), en düşük birim enerji üretim maliyetine sahip olan santralin ise rüzgar enerji santrali (2014 yılı 3,7-16,2 cent/kWh) olduğu görülmektedir.
- Belirlenen santrallerin birim enerji üretim maliyetlerindeki değişim değerlendirildiğinde, rüzgar (kara) (%39,16), güneş (%26,06), nükleer (%17,28) ve kömür yakıtlı termik santrallerin (%6,9) birim enerji üretim maliyetlerinin arttığı, jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinde birim enerji üretim maliyetlerinin değişmediği, doğalgaz yakıtlı termik santrallerinde ise birim enerji üretim maliyetinin azaldığı (%1,33) görülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Koç, E., Şenel, M. C. 2013. "Türkiye Enerji Potansiyeli ve Yatırım-Üretim Maliyet Analizi," Termodinamik Dergisi, sayı 245, s. 72-84.
2. Koç, E., Kaplan, E. 2008. "Dünya ve Türkiye'de Genel Enerji Durumu II Türkiye Değerlendirilmesi," Termodinamik Dergisi, sayı 188, s. 106-118.
3. Future World Energy Demand Driven by Trends in Developing Countries, U.S. Energy Administration, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=14011#>, son erişim tarihi: 21.10.2014.
4. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2013. Mavi Kitap, www.enerji.gov.tr, son erişim tarihi: 15.11.2014.
5. EÜAŞ 2013 Elektrik Sektörü Üretim Raporu, www.enerji.gov.tr, son erişim tarihi: 18.11.2014.
6. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB). 2014 Türkiye Rüzgar enerjisi İstatistik Raporu, www.tureb.com.tr, son erişim tarihi: 07.03.2014.
7. Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants. 2013. Independent Statistics & Analysis
8. Levelized Cost of Energy Analysis, lizard version 6.0, 2012.
9. Levelized Cost of Energy Analysis, lizard version 8.0, 2014.
10. BP Statistical Review of World Energy. 2014. British Petroleum (BP), London, UK.
11. Koç, E., Şenel M. C. 2013. "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme," Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 54, sayı 639, s. 32-44.
12. Şenel, M. C. 2012. "Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları – Dinamik Davranış," Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, s. 202.
13. Yazar, Y. 2010. "Türkiye'nin Enerjideki Durumu ve Geleceği," Seta Analiz, sayı 31, s. 23.
14. DSİ Genel Müdürlüğü 2013 Faaliyet Raporu, <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2013-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2>, son erişim tarihi: 10.10.2014.
15. MMO, 2012. Türkiye'nin Enerji Görünümü, Yayın No: MMO/588, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara.

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Makina Dergisi

Online Makale Yönetimi



[ANA SAYFA \(GİRİŞ SAYFASI\)](#)

YAZAR

HAKEM

EDİTÖR

» HOŞGELDİNİZ

YAZAR GİRİŞİ

e-Posta :

Şifre :

[Yeni Kullanıcı](#) | [Şifremi Unuttum](#)

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [\[Yeni Kullanıcı\]](#) bağlantısına tıklayınız.

Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir.

Şifrenizi hatırlamıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [\[Şifremi Unuttum\]](#) bağlantısına tıklayınız.

Sistemle ilgili sorularınızı yayin@mmo.org.tr e-posta adresine gönderebilirsiniz.

makalelerinizi online sistem üzerinden ulaştırabilirsiniz