

Çiğdem Karadağ*

Işıl Işık Gülsaç**

Atilla Ersöz***

Mustafa Çalıřkan****

*Dr., Kimyager,

Uzman Araştırmacı

**Dr., Kimya Mühendisi,

Uzman Araştırmacı

***Dr., Kimya Mühendisi,

Başuzman Araştırmacı

TÜBİTAK Marmara

Araştırma Merkezi,

Enerji Enstitüsü

**** Yenilenebilir Enerji

Kaynakları Şube Müdürü,

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)

Çevre Dostu ve Temiz: Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Milyonlarca yıl önce ölmüş hayvan ve bitkilerin atıkları yüksek ısı ve basınç altında petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtları oluşturdu. Bu yakıtlar, gelişmeleri çok uzun yıllar aldığı için “yenilenmeyen yakıtlar” olarak adlandırılıyor. Fosil yakıtların yerini artık yenilenebilir enerji kaynakları, yani doğada sürekli var olan, güneş, rüzgâr, biyokütle, biyoyakıtlar, jeotermal, hidrolik, okyanus kaynakları vb. enerji kaynakları alıyor. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özelliklerinin başında sürekli tekrarlanabilir olmaları ya da kaynağın tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendilerini yenileyebilmeleri geliyor. Bunun yanında bu teknolojiler özellikle çevre dostu olmaları ve ekolojik denge açısından olumlu etkileri ile öne çıkıyor. Bu nedenle yenilenebilir enerji sistemleri “temiz enerji” olarak da adlandırılıyor.

Dünya nüfusunun artması, teknolojiye paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması, çevresel, sosyal ve ekonomik olarak sürdürülebilirliği sağlama isteği, Kyoto Protokolü gereğince CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarının azaltılması zorunluluğu, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırıyor.

Bugün tüm dünyada çözülmesi gereken en önemli küresel sorunların başında, sürdürülebilir enerji güvenliği geliyor. Petrol ve doğal gaz gibi konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenecek olması, alternatif ve yenilenebilir çözümlerin ortaya

çıkmasını zorunlu kılıyor. Yapılan uzun dönem tahminlerine göre, yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelecekte daha etkin bir rol alması kaçınılmaz.

Peki bu nasıl mümkün olacak? Teknolojik ilerlemeler ve yapılan ARGE çalışmaları ile yenilenebilir enerjilerin yatırım maliyetlerinin azaltılması ve daha verimli hale getirilmeleri gerekiyor. Yenilenebilir kaynaklardan enerji elde eden süreçlerin olgunlaşması ve fosil temelli yakıt fiyatlarının da artmasıyla, yenilenebilir enerji teknolojilerinin diğer enerji elde etme süreçleriyle rekabet edebilir hale gelmesi bekleniyor. Tabii burada herkese çok büyük görevler düşüyor. Çünkü ülkelerin enerji bağımlılıklarını bir şekilde aşabilmelerinin yolu, yatırımların doğru yönlendirilmesinden ve seri üretimin artırılmasından geçiyor.

Yenilenebilir kaynakların kullanımının ve teknolojilerinin yaygınlaşmasını uzun vadede yavaşlatabilecek bazı engeller de bulunuyor. Bunlar arasında, bazı teknolojilerin yüksek maliyetleri ve devlet desteği alınmaması, enerji elde edebilmek için

Kyoto Protokolü nedir?

Kyoto Protokolü, gelişmiş ülkelerin sera gazı (karbondioksit, metan, nitrojen oksit, kükürt heksaflorür, hidroflorokarbon (HFC), perflorokarbon (PFC) salınımlarını 2008-2012 yılları arasında, 1990 yılına göre ortalama % 5 oranında azaltmalarını hedefleyen bir anlaşmadır.

kullanılan tarım ürünlerinin gıda güvenliği üzerindeki etkileri ile ilgili artan endişeler, politika belirleme çalışmalarındaki eksiklikler, elektrik şebekelelerine yapılan yetersiz yatırımlar ve enerji sektöründe şu anda faaliyet gösteren ana oyuncuların yenilenebilir kaynakların uygulanabilirliği ile ilgili kuşku- ları sayılabilir.

Dünyanın en büyük enerji ithalatçısı ve ABD'den sonra en büyük enerji tüketicisi olan Avrupa Birliği, her geçen gün daha da artan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneliyor.

Avrupa Birliği Yenilenebilir Enerji Konseyi (EREC), 2020 yılı itibari ile AB enerji ihtiyacının % 20'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasını önerdi ve Avrupa Komisyonu 2008 yılının Ocak ayında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yönergesi'ni hazırladı. Bu Yönerge'de 2020 yılında % 20 oranında yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı, enerji verimliliğinin % 20 oranında artırılması ve CO₂ emisyonlarının % 20 oranında azaltılması hedefleniyor. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yönergesi, AB üye ülkeleri için zorunlu ulusal ve geçici hedefler belirliyor ve ulaşımda % 10 oranında yenilenebilir enerji kaynağı kullanımını zorunlu kılıyor. Ülkelerin yenilenebilir enerji teknolojileri konusunda aksiyon planları oluşturması ve bu teknolojilerin yaygınlaşması için halkın bilgilendirilmesi, idari ve hukuki engellerin ortadan kaldırılması isteniyor.

Çok yakın bir zamanda, 31 Mart 2009'da, Brüksel'de Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi'nde, Sanayi, Ulaşım, Araştırma ve Enerji Komitesi'nin (ITRE) hazırladığı, Binaların Enerji Performansı Yönergesi (EPBD) kabul edildi. ITRE raporunda 2018 yılına kadar bütün yeni binaların net sıfır emisyonlu olması gerektiği belirtiliyor. Bu binalarda hem enerji verimliliği hem de kaynağın bol olarak bulunduğu yerde yenilenebilir enerji kullanımı öngörülüyor. Ayrıca, Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi, 2018 yılından önce binalarda yenilenebilir enerji kullanımını zorunlu kılacak önlemlerin alınmasını istiyor. Bu yönerge sayesinde AB'nde enerji güvenliğinin, sürdürülebilirliğinin ve sanayi şirketleri arasındaki rekabetin artacağı düşünülüyor.

Avrupa Birliği genelinde yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı dağılımına baktığımızda en büyük payı biyokütle alıyor. Bunu sırası ile hidroelektrik santralleri, rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjisi kaynakları izliyor. 27 Avrupa Birliği üye ülkesi arasında yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı ve yaygınlaştırılması konusunda en çok çaba harcayan ülkeler Almanya, Fransa, Hollanda, İngiltere, İtalya, İspanya ve Avusturya. En çok yatırım ve

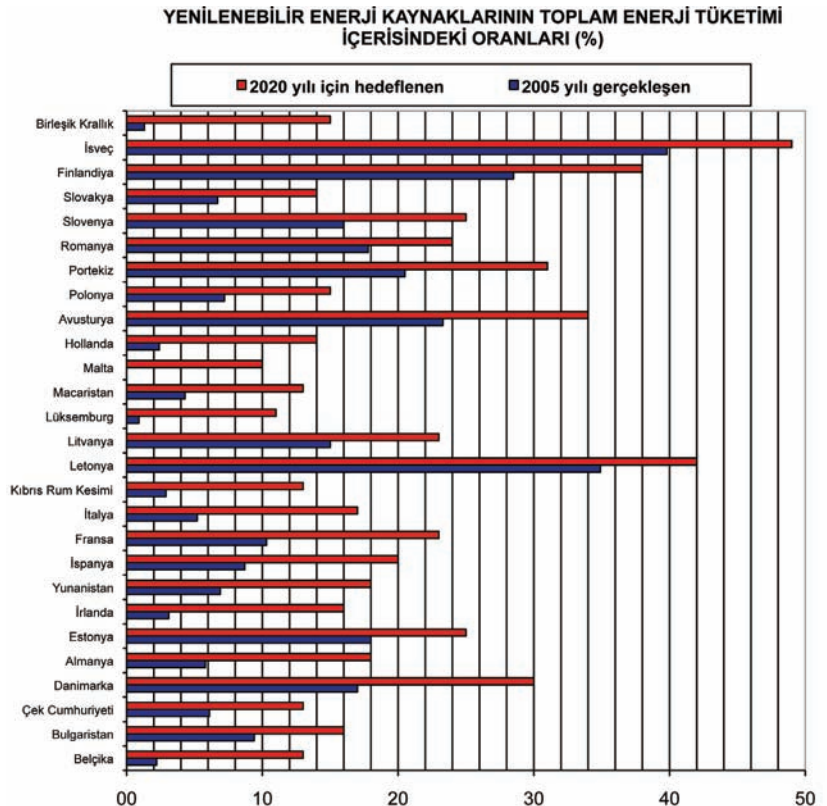
devlet desteği Almanya'da gerçekleştiriliyor. Artık her Alman vatandaşı bir güç üreticisi durumunda. İtalya jeotermal kaynakların en çok kullanıldığı ülke. Avusturya küçük hidroelektrik santrallerinde öncü. Hollanda ise biyokütle konusunda iddialı. AB geneline bakıldığında, Avrupa Birliği Yenilenebilir Enerji Yol Haritası'ndaki 2010 yılı değerlerine ulaşamayacağı öngörülüyor. Elektrik üretiminde ise durum daha ümit verici. Danimarka, Almanya, Finlandiya, Macaristan, İrlanda, Lüksemburg, İspanya, İsveç ve Hollanda'da ulusal ülke hedeflerine ulaşılması konusunda istikrarlı adımlarla ilerleniyor. Biyoyakıt sektöründeki gelişme ise oldukça yavaş. Sadece üç üye ülke, Almanya, Fransa ve İsveç % 1'den fazla biyoyakıt kullanma hedeflerine ulaşabilecek. Isıtma ve soğutma sektöründe büyük bir potansiyel olmasına rağmen gelişme hayli yavaş. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlardan en çok kazanç sağlayan ülke ise İtalya. Bunu sırası ile Almanya, Fransa ve İngiltere izliyor.

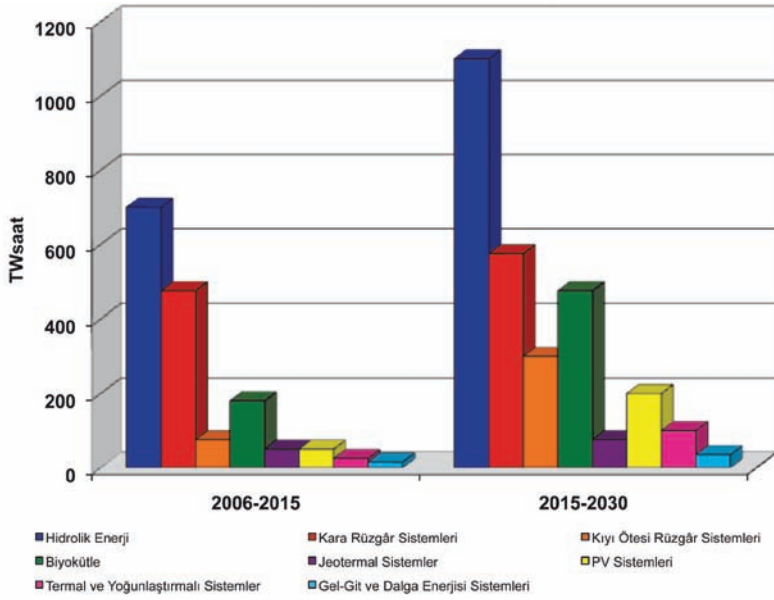
Avrupa Birliği'nin 2020 yılı Yenilenebilir Enerji Yol Haritası'ndaki % 20 yenilenebilir enerji hedefine ulaşılması için araştırma ve geliştirme çalışmalarının hızlandırılması, halkın bilinçlendirilmesi ve yatırımların artması için özel sektörün desteklenmesi gerekiyor.

Avrupa Birliği'ndeki gelişmelere paralel olarak dünyada da son yıllarda elektrik üretimi, ısıt-

Bugün Avrupa'da, tüm enerji kaynakları arasında yenilenebilir enerjinin payı halen % 7 seviyelerinde. Şu anki durumun, 2020 hedefi olarak gösterilen % 20'nin çok altında olduğu görülüyor. AB üyesi 27 ülkedeki yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimindeki oranları Şekil 1'de gösteriliyor.

Şekil 1. AB üyesi ülkelerin yenilenebilir enerji kaynağı kullanım oranları





Şekil 2. Dünya'daki yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik üretimindeki artış (International Energy Agency, World Energy Outlook, 2008)

Yenilenebilir enerji kaynakları 2006 yılında birincil enerji ihtiyaçlarının sadece % 7'sini karşılamış. 2030 yılında bu değer % 10'lara çıkması bekleniyor. Günümüzde, yenilenebilir kaynaklar, dünyadaki toplam enerji ihtiyacının % 18'ini karşılıyor; bunlar arasında birinci sırayı hidroelektrik enerji santralleri alıyor.

Biyokütlenin evsel ve endüstriyel amaçlı ısınmada kullanım kapasitesi 2006 yılında 293 MTEP'tir. Isı eldesi amaçlı biyokütle tüketiminin 2030 yılında 453 MTEP'e çıkması öngörülmüyor.

ma ve biyoyakıt uygulamalarına yapılan yatırımlar oldukça arttı. Yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişimi desteklemek amacıyla yeni ABD hükümetinin öngördüğü hedefler doğrultusunda, gelecek 10 yıl içinde 150 milyar dolar yatırım yapılması planlanıyor. ABD'de üretilecek 1 milyon hibrit aracın 2015'te yollarda olacağı, bu konuda verilebilecek en çarpıcı örneklerden. ABD'de sera gazı emisyonu yaratan gazların 2050'li yıllarda % 80 oranında azaltılması, yenilenebilir enerjilerin payının 2012'de % 10 ve 2025'te % 25 olması da ulaşılabilecek diğer hedefler olarak gösteriliyor.

Dünyada gelecek yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle uygulamalarının öne çıkması bekleniyor. Biyokütle, ısı ve elektrik enerjisi elde edilmesi ve sıvı yakıt üretebilme özellikleriyle, bütün fosil temelli yakıtların yerine geçebilme kapasitesi taşıyor. 2006 yılında 1186 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) olan dünya biyokütle ihtiyacının 2030 yılında 1660 MTEP olacağı belirtiliyor.

Yenilenebilir enerji alanında yapılan yatırımların 2007-2030 yılları arasında 5,5 trilyon \$ olacağı öngörülmüyor. Bu yatırımların % 60'ının elektrik üretimine, % 36'sının ısı üretimi için yenilenebilir kaynakların kullanılmasına, % 4'ünün ise biyoyakıtlara ayrılacağı tahmin edilmekte.

Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin önümüzdeki on yıllık süreçlerde büyümesi bekleniyor. 2006 yılında dünya elektrik üretiminin % 18'i (3470 TWh/saat) (tera watt saat) yenilenebilir kaynaklardan karşılanmış. Bu değer 2015 yılında % 20 (4970 TWh/saat), 2030 yılında da % 23 (7705 TWh/saat) olması öngörülmüyor. Yenilenebi-

li enerjiler arasında hidrolik enerji, elektrik üretiminde başı çekiyor. Hidrolik enerjiyi sırasıyla kıyıdaki rüzgâr sistemleri, biyokütle, deniz üzerindeki rüzgâr sistemleri, jeotermal sistemler, PV sistemleri, yoğunlaştırılmalı güneş sistemleri, dalga ve rüzgâr enerjileri izliyor. 2015 yılından sonra genel eğilimin biraz değişmesi ve güneş enerjisi sistemlerinin önem kazanması bekleniyor (Şekil 2).

Yenilenebilir kaynaklardan güç üretimi maliyetinin 2030 yılına kadar düşmesi bekleniyor. Bu düşüş, özellikle göreceli olarak daha olgun olan teknolojilerde (jeotermal ve kıyıdaki rüzgâr gücü sistemleri) belirgin hale gelecek. Hidrolik enerji kurulum maliyetlerinin değişeceği düşünülüyor.

Gerçekte, her bir teknoloji için üretim maliyetleri yerli kaynak bulunabilirliğine, talebe ve tahmin edilen hizmet ömrüne göre bölgeden bölgeye değişiklik göstermekte. Örneğin yıllık rüzgâr hızının 10 m/s olduğu Yeni Zelanda'da kıyıdaki rüzgâr enerjisi elde etme sistemlerinin maliyeti 35 \$/kWhsaat iken, yıllık rüzgâr hızının 7 m/s olduğu Danimarka ve Almanya'da maliyet değerleri aynı değil. Bu sebeple destekleme politikaları da bölgeden bölgeye değişiklik gösteriyor.

2030 yılında dünyada kullanılacak biyoyakıt miktarı 118 MTEP olarak tahmin ediliyor. Bu biyoyakıtlardan etanol, biyodizele oranla daha fazla talep görüyor. Selülozik temelli ikinci nesil biyoyakıtların da 2015-2030 arasında ticari olarak üretilebileceği öngörülmüyor. Dünyadaki yenilenebilir enerji kaynaklarından 2006 yılında 300 MTEP ısı elde edilmiş. Isı eldesi için kullanılan ana kaynaklar olan biyokütleden, güneş enerjisinden ısı enerjisi eldesinden ve jeotermal enerji süreçlerinden şu anda dünya ihtiyacının % 6'sı karşılanıyor. Yenilenebilir enerjilerden ısı eldesinin ise 2030 yılında 516 MTEP'e erişeceği tahmin ediliyor.

Önümüzdeki yıllarda, güneş enerjisinin ısınma amacıyla kullanılması süreçlerinin artacağı ile ilgili veriler bulunuyor. Çin, dünyada bu amaçla kurulu toplam sistemlerin % 60'ına sahip, bu sistemlerle 2006 yılında 3 MTEP civarında enerji elde etmiş. Dünyada güneş enerjisiyle ısınma kapasitesinin 2030 yılında 45 MTEP olacağı tahmin ediliyor.

	Yenilenebilir Enerji Potansiyeli (kWh/yıl)	Yenilenebilir Enerji Kullanımı (kWh/yıl)
Hidroelektrik Güç	129,5	45,3
Rüzgâr Enerjisi Sistemleri	148 milyar	1,3 milyar
Güneş Enerjisi Sistemleri	380 milyar	bilinmiyor
Jeotermal Sistemler:	295 milyar	29 milyar
Biyokütle (biyoyakıtlar dahil)	10 milyon	7 milyon

Tablo 1. Türkiye yenilenebilir enerji potansiyelleri ve kullanımı değerleri

Dünyada jeotermal ısı 2006 yılında 3 MTEP enerji sağlamıştır. ABD, İsveç, Çin, Türkiye ve İzlanda doğrudan jeotermal enerji kullanımında lider konumunda. Örneğin İzlanda'da bu yolla toplam ısınma ihtiyacının % 45'i karşılanmakta. 2030 yılında doğrudan jeotermal enerji kullanımının 18 MTEP olacağı öngörülmüyor.

Türkiye özellikle hidrolik, rüzgâr, güneş ve biyokütle olmak üzere önemli miktarda yenilenebilir enerji kaynağına sahip. Yenilenebilir enerji kaynakları kömürden sonra ikinci sırada yer alıyor. 2007 yılında ülkemizde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen genel enerji miktarı (ısı ve elektrik birlikte) toplam birincil enerji arzının % 10,4'üdür.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi miktarı 2007 yılında genel üretimin % 22,5'ini karşılamıştır. Türkiye'de yenilenebilir enerji elde edilmesinde en önemli pay hidroelektrik ve biyokütleyle ait. Rüzgâr ve güneş enerjisinin payı henüz çok küçük olmakla birlikte, gelecekte artması bekleniyor. Tablo 1, ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyellerini ve bunların kullanım miktarlarını gösteriyor.

Tespit edilmiş olan ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelimiz 129,5 milyar kWh/yıl. Bu potansiyelin % 35,5'i işletmede, % 11,1'i kurulum halinde, geri kalan % 53,4'ü de proje seviyesinde. 2020 yılında ise 35.000 MW hidroelektrik santral gücüne ulaşılması bekleniyor.

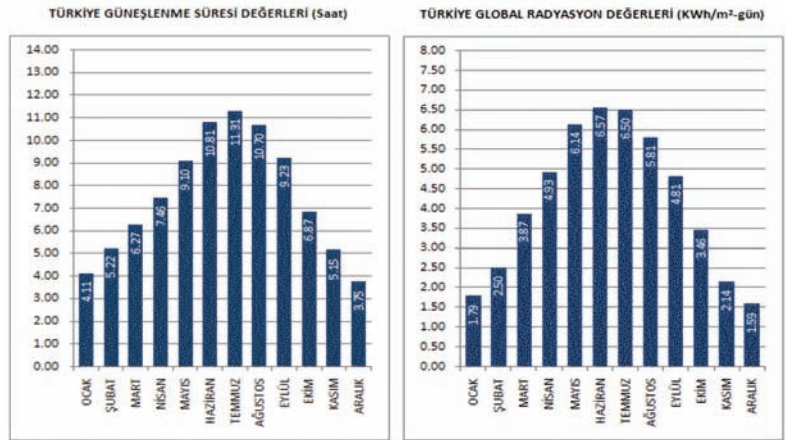
Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) verilerine göre, yer seviyesinden 50 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5000 MW, 7,0 m/s'nin üzerindeki bölgelerde ise 47.000 MW'ın üzerinde rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunuyor. Bu potansiyelin yaklaşık olarak 37.000 MW'ı karasal, 10.000 MW'ı ise deniz üstü rüzgâr potansiyeli. Ülkemizde rüzgâr enerjisi yatırımlarında büyük artışlar oluyor. Şebeke bağlantılı rüzgâr santralleri kurulu gücü 20 MW'tan 435,35 MW'a çıkmıştır. Ayrıca 85.000 MW civarında rüzgâr enerjisine dayalı lisans başvurusu yapılmış ve bunların değerlendirilerek lisanslandırılmasına yönelik çalışmalara başlanmıştır.

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengin bir ülkedir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilerine göre Türkiye'nin güneşlenme süresi ve yatay yüzeye gelen toplam radyasyon değerleri yandaki grafiklerde incelenebilir. Ülkemizde güneş termik sistemleri ile üretililecek elektrik enerjisi miktarı 380 milyar kWh/yıldır.

Türkiye, güneş enerjisinden ağırlıklı olarak sıcak su üretimi amaçlı yararlanıyor. Ülkemizde gü-

neş enerjisinden sıcak su üretimine yönelik düzensel güneş kolektörlerinin teknolojik altyapısı oldukça gelişmiş durumda ve yaygın olarak kullanılıyor. Türkiye'de 2007 yılı için kurulu düzensel güneş kolektörü alanının yaklaşık 12 milyon m² olduğu tahmin ediliyor. Bu kullanım miktarı ile Türkiye dünya sıralamasında ön sıralarda geliyor. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmeye yönelik uygulamalar (güneş pili ve güneş termik sistemleri teknolojisi) ise henüz ekonomik olmamaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmıyor.

Bugüne kadar yapılan araştırmalara göre, ülkemizde 2000 MW elektrik, 31.500 MW termik jeotermal enerji potansiyeli var. Jeotermal potansiyelin 550 MW'lık bölümü elektrik üretimi için uygun. Isıl jeotermal enerji potansiyelimiz ile 103.000 konut ısıtılıp, 215 kaplıca işletiliyor. Aydın-Germencik'te 25/40/100 MW ve Kızıldere'de 5,5 MW gücünde jeotermal elektrik üretim santralleri yapım aşamasında.



Ülkemizin biyokütle potansiyeli yaklaşık 8,6 milyon TEP. Bunun 6 milyon TEP'i ısınma amaçlı kullanılıyor. Biyogaz üretim potansiyeli 1,5-2 milyar m³/yıl olarak tahmin ediliyor. Yerli kaynaklardan üretililecek biyodizel ve biyoetanol potansiyelimiz ise sırasıyla 1,5 milyon ton/yıl ve 3,5 milyon ton/yıl. Ayrıca, tarıma elverişli olup da kullanılmayan arazilerden üretililecek 1,5 milyon ton biyodizel, 3,5 milyon ton biyoetanol kaynağımız bulunuyor.

Sonuç olarak, Dünyada, Avrupada ve ülkemizde yenilenebilir teknolojiler geleceğin enerji pazarında çok önemli bir paya sahip olacak ve aynı zamanda heyecan verici yatırım fırsatları yaratacak.

Kaynaklar
International Energy Agency, World Energy Outlook, 2006.
International Energy Agency, World Energy Outlook, 2008.
http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Press_Releases/EREC_PRESS_

RELEASE_ITRE_VOTE_ON_THE_EPBD.pdf
<http://www.euractiv.com.tr/enerji/link-dossier/ab-yenilenebilir-enerji-politikasi>
http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Press_Releases/EREC_Press_release_2020_Roadmap_17_11_08.pdf
PwC Renewable Energy Report, 2009.

Dünyada jeotermal ısı 2006 yılında 3 MTEP enerji sağlamıştır. ABD, İsveç, Çin, Türkiye ve İzlanda doğrudan jeotermal enerji kullanımında lider konumunda. Örneğin İzlanda'da bu yolla toplam ısınma ihtiyacının % 45'i karşılanmakta. 2030 yılında doğrudan jeotermal enerji kullanımının 18 MTEP olacağı öngörülmüyor.

Şekil 3. (GEPA) verilerine göre Türkiye'nin güneşlenme süresi ve yatay yüzeye gelen toplam radyasyon değerleri