

# Türkiye’de yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi: Mevcut durum ve gelecek beklentileri

Nevzat ONAT

Department of Electrical-Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Manisa Celal

Bayar University, Manisa, TURKEY

\*Correspondence: nevzat.onat@cbu.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada, Dünya Enerji Konseyi, Uluslararası Enerji Ajansı, OECD gibi uluslararası kuruluşların yayınladığı resmi raporlar ve ülkemizde elektrik enerjisi üretim verileri kullanılarak karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Öncelikle, uluslararası kuruluşların, elektrik enerjisi üretiminde birincil kaynakların kullanımı ile ilgili gelecek tahminleri incelenmiştir. OECD ve dünya ortalamaları dikkate alınarak enerji üretimi, yasa dışı kullanım, kişi başına düşen enerji miktarı gibi göstergelere göre ülkemizin profili çıkarılmaya çalışılmıştır. Rüzgâr, güneş, jeotermal enerji kaynakları alanında yapılan yatırımlar ve bu kaynakların kurulu güç ve üretimdeki paylarının değişimleri de çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu veriler ışığında ulaşılan sonuçlarla, ülkemizin sürdürülebilir kalkınmasına elektrik enerjisi üretimi açısından daha sağlıklı yapıya kavuşması için öneriler sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Sürdürülebilirlik, rüzgâr enerjisi, fotovoltaik, jeotermal, elektrik hırsızlığı.

**Abstract:** In this study, comparative analyzes were made using official reports published by international organizations such as World Energy Council, International Energy Agency, OECD and electricity energy production data in Turkey. First, the future projections of international organizations have been examined for the use of primary resources in electricity generation. Taking into account the OECD and world averages; the energy profile of Turkey has been obtained according to indicators such as energy production, illegal electricity usage rate, the amount of energy per capita. The investments made in the field of wind, solar, geothermal energy resources and the changes in the installed power and production shares of these resources were also evaluated within the scope of the study. With these results, suggestions have been presented for the sustainable development of our country to achieve a healthier structure in terms of electricity energy production.

**Keywords:** Sustainability, wind energy, photovoltaic, geothermal, electricity theft.

## 1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı sürdürülebilir kalkınma kavramının birden fazla parametresini etkileyen önemli bir olgudur. İlk olarak 1989 Brundtland Raporu'nda tanımlanan sürdürülebilirlik kavramı bu gün yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tanıma dayanılarak sürdürülebilir kalkınma; “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını sağlayabilme yeteneklerini tehlikeye atmadan, günümüz dünyasının ihtiyaçlarını karşılayabildiği kalkınma” şeklinde ifade edilebilir [1]. Bu genel ilke, tarımdan endüstriye birçok alanda üretime yönelik tüm faaliyetlerde dünyanın tükenbilir kaynaklarını mümkün olan en az düzeyde kullanma gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu noktada en çok ön plana

çıkan başlık enerji olmaktadır. Birincil kaynakların işlenmesi, elektrik enerjisi başta olmak üzere ikincil kaynaklara dönüşüm sistemleri ve tüketim başta olmak üzere, bu kavram ile ilgili her unsur kalkınma politikalarını sürdürülebilirlik açısından doğrudan etkilemektedir.

Uluslararası enerji kuruluşları enerjisi üretim teknolojisinin sürdürülebilirlik analizini 3A prensibi (*kolay erişilebilirlik* (accessibility), *bulunabilirlik* (availability) ve *kabul edilebilirlik* (acceptability)) ile açıklamaktadır. Bu temel yaklaşım esas alınarak, bir enerji üretim teknolojisinin sürdürülebilirlik parametreleri; üretilen enerjinin birim fiyatı, sera gazı emisyonu, birincil kaynakların bulunabilirliği ve miktarı, enerji dönüşüm verimi, birim enerji başına kullandığı arazi, tatlı su tüketimi, kamuoyu algısı olarak özetlenebilir [2], [3], [4]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle bulunabilirlik, ulaşılabilirlik, sera gazı emisyonu ve kamuoyu algısı gibi göstergeler açısından oldukça önemli avantajlar içerdiği bilinmektedir.

Bu çalışmada, ülkemiz ve dünyada özellikle yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimi hakkında son yıllarda yapılan ulusal ve uluslararası yayınlar ve istatistiklerden yararlanılarak durum analizi yapılmıştır. Elektrik enerjisi, günümüz dünyasında ülkeler için hayati olan unsurlar ile doğrudan ilişkilidir. Bu unsurlar, üretim, milli gelir, sağlık ve eğitim olarak dört ana başlıkta toplanabilir. Elektrik enerjisinden yoksun olan veya bu enerjiye istediği zaman istediği miktarda ulaşamayan ülkelerin bu parametrelerde olumlu gelişmeler sağlayabilmesi neredeyse imkânsızdır. Ülkemizin yenilenebilir ve yerli kaynaklara yönelme ve elektrik üretiminde dışa bağımlılığı azaltma yönündeki politikalarının sonuçları irdelenmeye çalışılmıştır.

## **2. Dünya Enerji Piyasası için Tahminler**

Dünya Enerji Konseyi (DEK) gelecekteki enerji tüketim miktarları ve enerji üretim teknolojileri ile ilgili olarak çeşitli senaryolar üzerinden tahminler yapmaktadır. DEK tarafından 2016 yılında yayınlanan enerji senaryoları; iyimser (unfinished symphony), makul (modern jazz) ve kötümser (hard rock) olarak sınıflandırılmıştır. Bu senaryolar, 2060 yılında aşağıda özetlenen maddelerde beklenen gelişmeleri ve bu gelişmelere neden olan parametreleri ortaya koymaktadır. Özet olarak;

1. 2030 yılından önce dünyadaki kişi başına birincil enerji talebi zirve noktasına ulaşacaktır. Bunun sebebi yeni teknolojilerin verimlilikleri konusundaki belirsizlikler ve sıkı enerji politikalarıdır. 1970 den günümüze enerji talebi ikiye katlanmıştır. 2060 yılına kadar bu artış hızı tarihi seyrine göre daha ılımlı olacaktır. Endüstrileşen

ekonomilerin, hizmet ve sürdürülebilirliğin liderlik ettiği gelişme süreçlerine daha hızlı dönüşümüne katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak; bugüne kıyasla, 2060 yılında,

- Birincil enerji tüketimi % 22 (unfinished symphony), %38 (modern jazz), %46 (hard rock),
- Birincil enerji talebi ise; %10 (unfinished symphony), %25 (modern jazz), % 34 (hard rock)artacaktır.

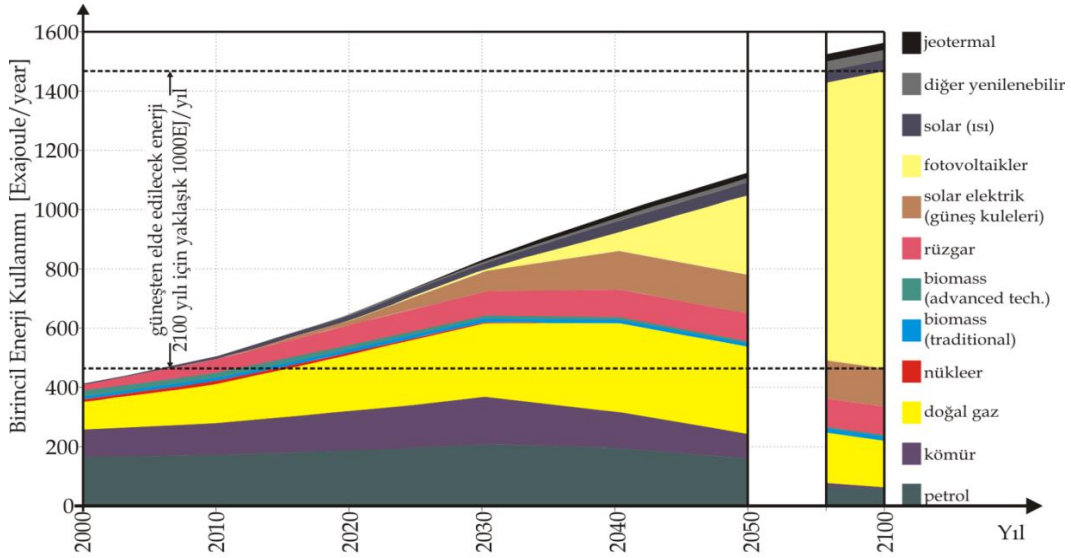
2. Elektrik enerjisi talebi 2060 yılında bu güne göre ikiye katlanacaktır. Artan kentsel yaşam oranı ve gelişmişlik düzeyi ile birlikte, elektrik enerjisinin olabildiğince temiz kaynaklardan üretilmesi için önemli yatırımlar yapılması ve politika değişiklikleri gerekecektir. 2060 yılına kadar yapılacak elektrik üretim yatırımı senaryolara göre 35 – 43 trilyon dolar olarak tahmin edilmektedir.

3. Güneş ve rüzgâr enerjisi yatırım ve teknolojilerindeki gelişim aralıksız ve artarak devam edecektir. 2060 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarındaki gelişim elektrik enerji üretimini yönlendirecek ve bunun liderliğini de güneş ve rüzgâr yapacaktır.

Bu teknolojilerle enerji üretiminin maliyetlerindeki düşüş de artacak ve iyimser – makul senaryolarda günümüz değerlerine göre %70 azalacaktır.

2014 yılında dünyadaki toplam elektrik enerjisinin %4'ünü üreten güneş ve rüzgâr dönüşüm sistemlerinin payı 2060 yılında iyimser senaryoya göre %39, kötümser senaryoya göre %20 değerlerine ulaşacaktır.

Diğer fosil yakıt kabul edilmeyen enerji kaynaklarının gelişimi de devam edecektir. Hidroelektrik kaynaklar özellikle Afrika için önemli hale gelirken, nükleer yatırımlar Çin başta olmak üzere doğu Asya'da yoğunlaşacaktır. Yukarıdaki 3 ve 4 üncü tahminler ışığında Dünya Enerji Konseyi tarafından 2004 yılında yayımlanmış elektrik enerjisi gelecek yüzyıl beklentilerinin geçerliliğini koruduğu söylenebilir (Şekil 1).



Şekil 1. 2000 - 2100 yılları aralığında için elektrik enerjisi üretiminde birincil enerji payları değişim beklentisi [5].

4. Kömür ve petrolün birincil enerji tüketimindeki payları 1970'den 2014'e sadece %5 değişerek %86'dan %81'e gerilemiştir. Özellikle kömür talebinin 2020'de tepe noktasına ulaşarak azalma eğilimine gireceği hesaplanmaktadır.

2060 yılında bu gün yaklaşık %80 olan kömür ve doğalgaz bağımlılığının %70 (hard rock), %63 (modern jazz) veya %50 (unfinished symphony) değerlerine gerileyeceği belirtilmektedir.

5. Ulaşım ve taşımacılık sektöründe birincil enerji kullanımının çeşitlendirilmesi en önemli konu başlığı olarak ele alınmaktadır. 2014 yılında bu alanda petrole bağımlılık %92 iken, 2060 yılında %78 (hard rock), %67 (modern jazz) veya %60 (unfinished symphony) değerlerine düşmesi beklenmektedir.

Orta sınıfın kullandığı hafif elektrikli araç filosunun da bu günkü sayısının 2,5 veya 2,7 katına çıkması, elektrikli araçların oransal olarak %26 - %32 değerlerine ulaşması da beklentiler arasındadır. Ayrıca hibrid araçların da toplam araç filosunun %24 - %31'ini oluşturacağı hesaplanmaktadır.

6. Karbon emisyonlarının azaltılması ve küresel ısınmanın sınırlanması en karmaşık konu olarak görülmektedir. Oluşan karbon piyasasının soruna çözüm olmasına gelecek 30 – 40 yıl için çok iyimser bakılmamaktadır. Senaryolar arasındaki farklar da bu öngörüğü desteklemektedir.

İyimser senaryoya göre 2014'ten 2060'a karbon emisyonlarındaki azalma %61 olarak öngörülmürken, makul senaryo bu değeri %28 olarak belirtmektedir. Kötümser senaryo

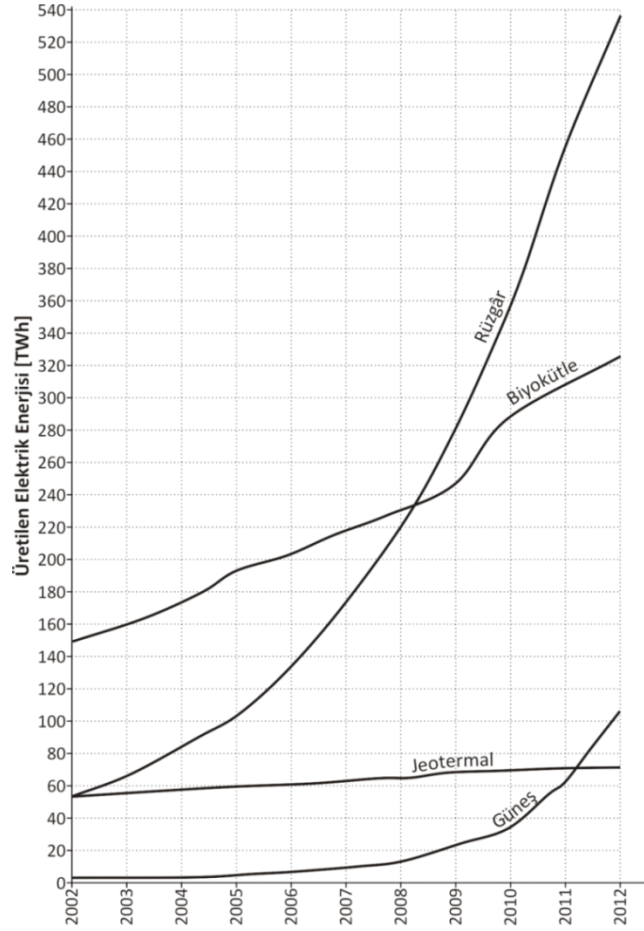
ise %5 artış olacağını hesaplamaktadır. Her üç senaryo da 2020 – 2040 arasında emisyon değerlerinin maksimum düzeylere ulaşacağını belirtmektedir.

7. Enerji üçlüsü olarak belirtilen «enerji güvenliği», «enerjinin eşit dağılımı» ve «çevre sürdürülebilirliği» kavramlarını dengelemek için küresel işbirliği ve teknolojik danışmanlık politikalarına ihtiyaç vardır.

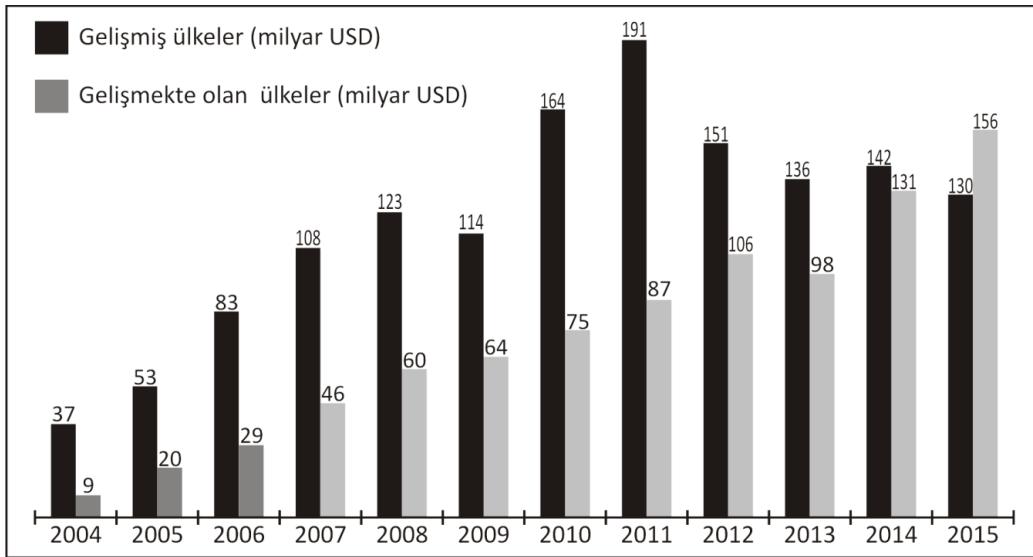
Özellikle kötümser senaryo, ekonomik büyümenin baskı altına girmesi ve toplumsal gerginliklerin artmasıyla birlikte, küresel etkilerin dikkate alınmasını ve dünyanın yerel enerji güvenliğine odaklanma eğiliminde olduğunu göstermektedir [6].

### **3. Yenilenebilir Enerji Yatırımları**

Fosil yakıtların dünya üzerinde homojen olmayan dağılımları veya politik nedenlerle çeşitli açılardan içerdiği dezavantajlar tüm ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya yöneltmektedir. Bu durum ekonomik olarak gelişmiş ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelerin de bu teknolojilere çeşitli şekillerde teşvik mekanizmaları geliştirmesi sonucunu doğurmaktadır. Şekil 2’de Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi miktarının değişimleri incelendiğinde, özellikle rüzgâr, biyokütle ve güneş enerjisi dönüşüm sistemlerindeki artışın çok hızlı olduğu görülmektedir. 2002-2012 yılları arasında rüzgârdan elektrik enerjisi üretim yaklaşık 10 kat artarak 50 TWh den 530 TWh’e ulaşmıştır. Biyokütle en çok kullanılan ikinci yenilenebilir enerji kaynağı olarak yıllık 320 TWh in üzerinde elektrik enerjisi sağlamaktadır. Fotovoltaik enerji üretiminde de yıllık 100 TWh’in üzerine çıktığı görülmektedir [7]. Şekil 3’den yenilenebilir enerji yatırımlarının özellikle son yıllarda dünya geneline yayıldığı söylenebilir. 2004 yılında toplam yenilenebilir enerji yatırımının sadece %20’si gelişmekte olan ülkeler tarafından yapılırken, lineer sayılabilecek bir artış göstermiş ve 2015 yılında %54,5 değerine ulaşmıştır. 2015 yılında toplam 286 milyar dolar olan yenilenebilir enerji yatırımlarında gelişmekte olan ülkelerin payı 156 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu değer, sürdürülebilir enerji teknolojilerinin kalkınmada sağladığı avantajların dünya ülkeleri tarafından dikkate alındığını göstermektedir. Ancak tüm bu verilere rağmen ülkemizin ve dünyanın fosil yakıtlara bağımlılığı da devam etmektedir.



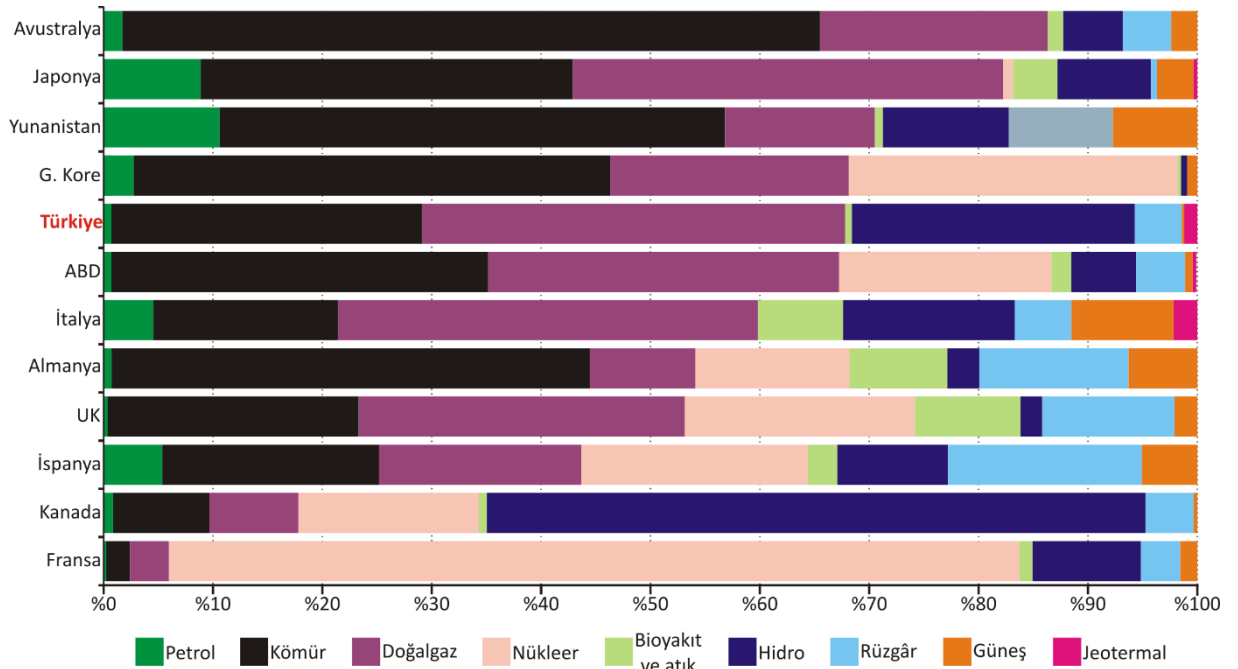
Şekil 2. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin değişimi (hidroelektrik hariç) [8].



Şekil 3. Yenilenebilir enerji teknolojilerine yapılan yatırımların yıllık bazda değişimleri [9].

#### 4. Elektrik Enerjisi Üretiminde Birincil Kaynak Kullanımı

Şekil 4'de 2015 yılı için ülkemizin ve dünyada gelişmiş kabul edilen bazı ülkelerin elektrik enerjisi üretiminde birincil kaynak kullanımları verilmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) üyesi 29 ülke içinde Türkiye, elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıt kullanımı açısından 9., doğalgaz kullanımında 5. sırada yer almaktadır. Jeotermal enerji kullanımında Yeni Zelanda ve İtalya'nın ardından 3. sırada yer almaktadır. Hidroelektrik enerji üretiminde de 7. en büyük üretim kapasitesine sahiptir [10]. Ancak, özellikle nükleer, yenilenebilir atık ve yerel kaynağımız olan kömür teknolojilerine yapılacak yatırımlar, gerek birincil enerji kaynaklarında çeşitliliğin sağlanması gerekse dışa bağımlılığın azaltılması anlamına gelmektedir ve sürdürülebilir kalkınma ile arz güvenliği açısından çok önemlidir.



Şekil 4. IEA ülkelerinde birincil enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi [10].

#### 5. Türkiye Enerji Görünümü

Ülkemizin enerji üretimi açısından sürdürülebilir kalkınmayı destekleyecek bir yapıya sahip olabilmesi için yoğun çabalar gösterilmektedir. Yakın gelecekte aşağıdaki başlıklarda son yıllarda yaşanan olumlu yöndeki değişimlerin artarak devam ettirilmesi zorunludur. Ülkenin enerji politikalarının belirlenmesinde lokomotif görevi gören stratejik planlarda; şeffaflık, güvenilirlik, yenilikçilik ve öncülük, işbirliği, etkinlik, uyumluluk kavramları temel değerler ve

ilkeler olarak dikkate alınmaktadır [11]. Bu strateji belgesinde enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payının artırılması amacıyla takip edilen stratejiler şöyle özetlenebilir:

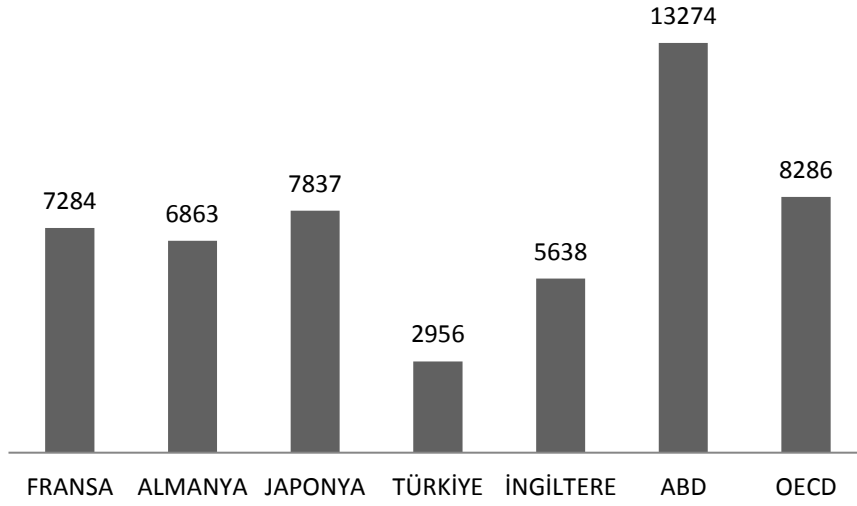
- Lisans alınan projelerde tamamlanma süreçlerinin aksamadan devamı için gerekli tedbirlerin alınması ve öngörülen sürede tamamlanmaları
- Bundan sonraki planlamalarda teknolojik gelişme ve yasal düzenlemelerle birlikte yenilenebilir enerji potansiyelindeki gelişmelerin de dikkate alınması.
- Hidroelektrik üretim kapasitesinden azami ölçüde yararlanılabilmesi ve özel sektörün bu alana yatırımını özendirerek mekanizmaların kullanılmaya devam edilmesi,
- Hidroelektrik üretimi için elverişli su kaynaklarının belirlenmesi ve geliştirilmesinde, havza temelinde bütüncül bir yaklaşımın ve değişen tüketim taleplerinin göz önüne alınarak gerekli işbirliği ve koordinasyonun sağlanması.
- Hidroelektrik santrallerine ekonomik analiz kriterlerinin günümüz koşullarına göre değerlendirilmesi.
- Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin kesintili enerji üretimi yapan güneş ve rüzgâr santrallerinin daha fazla kullanılmasına imkân verecek şekilde teknik donanım açısından güçlendirilmesi.
- Jeotermal kaynakların kullanımında rejenerasyon yapılarak yeniden kullanılabilme özelliklerinin devam ettirilmesine yönelik koruma ilkelerinin gözletilmesi.
- Ekonomik olarak yatırım yapılabilir düzeydeki elektrik enerjisi üretimine elverişli jeotermal alanların özel sektöre açılması konusundaki çalışmaların hızlandırılması.
- Yenilenebilir enerji kaynakları dönüşüm teknolojileri alanında her aşamaya yönelik yerli teknoloji geliştirme çalışmalarına ağırlık verilmesi [12].

Yukarıda sıralanan stratejik amaçlara ulaşmayı sağlayacak hedefler de belirlenmiştir. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde ülkenin karşılaştığı olumsuzluklar da vardır. Teknik açıdan sıralanabilecek sorunlar aşağıda sıralanmıştır.

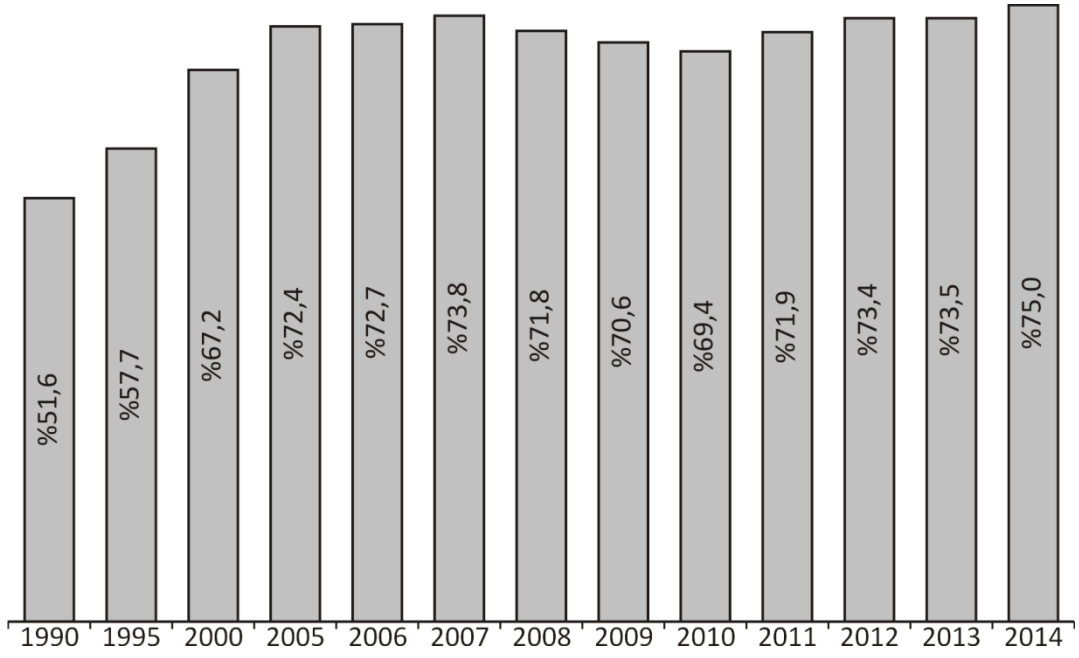
1. Türkiye'de kişi başına elektrik enerjisi tüketimi gelişmiş ülkeler ve OECD ortalamasının oldukça altındadır. Bu durum ülkenin farklı özellikleri ile de ilişkilidir. Ancak, dünyada gelişmişlik parametreleri arasında sayılan bu göstergede orta ve uzun vadede önemli artışlar beklenmelidir. Enerji üretimi yatırım planlamalarında bu öngörü de dikkate alınmalıdır. Şekil 5'de görüldüğü gibi bu parametre açısından OECD ortalaması ülkemizin 2,8 katı civarındadır.
2. Ülkemiz birincil enerji kaynaklarında dışa bağımlılık açısından oldukça dezavantajlı durumdadır. TÜİK verilerine göre 2011 yılında ülkemizin toplam ithalatı 240 milyar



dolar olarak gerekleŒmiŒtir. Bu ithalatta enerjiye ödenen bedel yaklaŒık 54 milyar dolardır ve toplam ithalatın %22'sini oluŒturmaktadır. Bu değerler 2015 yılında biraz daha olumlu yönde deęiŒim gstermiŒ, toplam ithalat 207,2 milyar dolar, enerji ithalatı 37,8 milyar dolar değerlerine gerilemiŒtir. Toplam ithalatta enerjinin payı %4 gibi önemli bir oranda azalarak %18 olmuŒtur. Enerjide dıŒa bağımlılığın deęiŒimi Œekil 6'da verilmiŒtir. Kolayca görüleceği üzere birincil enerji kaynaklarında %73 civarında seyreden ithalata dayalı hammadde temini sürdürülebilir kalkınmayı desteklemekten uzaktır. Enerjide dıŒa bağımlılığın sadece ekonomik bir olgu olarak görülmesi de eksik bir tanımlamadır. Bu kavram, güvenlik zafiyeti oluŒturmasının yanında, uluslararası alanda politik ve sosyal alanlarda rekabet etme gücünü de olumsuz etkilemektedir.

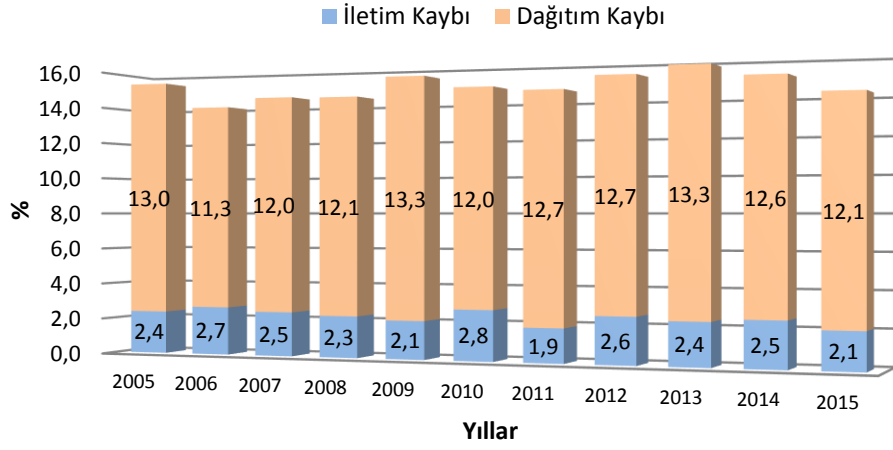


Œekil 5. Bazı ülkelerde kiŒi baŒına dŒen elektrik enerjisi tüketimi [13].

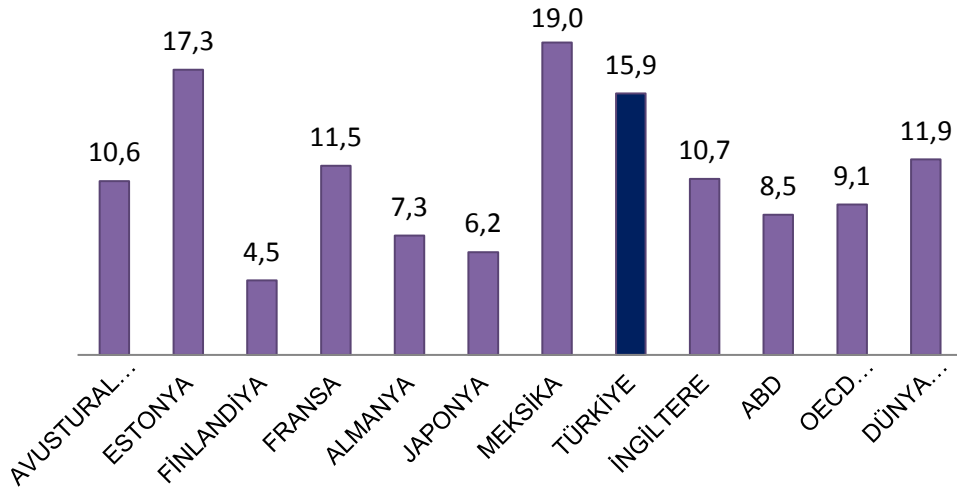


Şekil 6. Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarının temininde dışa bağımlılığı [14].

- Ülkenin en önemli sorunlarından biri de dünya ve OECD ortalamalarının çok üzerinde seyreden elektrik enerji sistemindeki kayıp kaçak oranlarıdır. Şekil 7'de TEİAŞ verilerine dayanılarak kayıp-kaçak oranları verilmiştir. İletim kayıplarının oldukça makul düzeylerde kalmasına rağmen dağıtım kayıplarında sürdürülebilir üretim modelini engelleyici ve rekabet gücünü azaltan oranlar görülmektedir. Şekil 8'de bu parametre açısından ülkemizin bazı ülkelerle karşılaştırmalı oranları verilmiştir [15]. Literatürde toplam iletim ve dağıtım kayıplarında %6 civarında oluşan oranlar teknik olarak kabul edilebilmektedir. Dolayısıyla bu değerlerin üzerinde kalan kısım elektrik hırsızlığı anlamına gelmektedir. Bu kabule dayanılarak yapılan hesaplama ile kayıp-kaçak miktarının ekonomik boyutu Tablo 1'de hesaplanmıştır.



Şekil 7. Türkiye iletim ve dağıtım kayıplarının değişimi [15].



Şekil 8. 2014 yılı için kayıp kaçak oranlarında Türkiye ve bazı OECD ülkelerinin görünümü [15].

**Tablo 1 Kayıp kaçak elektrik enerjisinin maliyeti**

<b>TÜRKİYE</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Brüt Üretim [TWh]	240,15	251,96
Yıllık Kayıp [TWh]	37,13	37,3
Teknik Kayıplar (%6) [TWh]	14,41	15,1
Elektrik Hırsızlığı [TWh]	22,72	22,2
Birim Enerji Fiyatı [TL/kWh]	0,24*	0,24*
Toplam Kayıp Maliyeti [TL]	8.911.200.000	8.952.000.000
<b>Hırsızlık Maliyeti [TL]</b>	<b>5.452.800.000</b>	<b>5.328.000.000</b>

## 6. Türkiye'nin Yenilenebilir Elektrik Enerjisi Potansiyeli

### 6.1. Rüzgâr Enerjisi

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından 50m yükseklikte ve 7,5m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5MW santral kurulabileceği varsayımıyla hesaplanmıştır. Toplam santral kurulabilir alan ülke yüzölçümünün %1,3 üne tekabül eder ve toplam kurulabilir kapasite 48GW olarak belirlenmiştir. Rüzgâr gücünün değerlendirilmesinde kapasite kullanım oranları ve yatırımın geri dönüş süresi gibi parametreler önem kazanmaktadır. YEGM tarafından yapılan analizler sonucu elde edilen veriler Tablo 2'de özetlenmiştir [16].

**Tablo 2 Türkiye'nin yatırım yapılabilir rüzgâr gücü potansiyeli [16]**

Rüzgâr Gücü	50 m yükseklikte Rüzgâr Gücü [W/m <sup>2</sup> ]	50 m yükseklikte Rüzgâr Hızı [m/s]	Toplam Alan [m <sup>2</sup> ]	Toplam Potansiyel Kapasite [MW]
İyi	400 - 500	7,5 - 8,1	5.851,87	29.259,36
Çok İyi	500 - 600	8,1 - 8,6	2.598,86	12.994,32
Çok İyi	600 - 800	8,6 - 9,5	1.079,98	5.399,92
Çok İyi	>800	>9,5	39,17	195,84
TOPLAM			<b>9.569,88</b>	<b>47.849,44</b>

Türkiye 2015 yılında 261,78 GWh enerji üretimi yapmıştır Bu değer 11,65 GWh'lik kısmı rüzgâr santrallerinden elde edilmiştir. Bu değer toplam üretimin %4,45'ine tekabül etmektedir. 2015 yılı sonu itibariyle kurulu güç 4,7 GW olmuştur. ETKB tarafından ise 2015 sonu hedefi 10 GW olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi hedeflenen değer yaklaşık yarısı gerçekleşmiş durumdadır. 10 GW seviyesine ancak 2019 sonunda ulaşılabileceği tahmin edilmektedir. 2023 Eylem Planında belirlenen hedef 20 GW'tır. Günümüzde gerçekleşen ilerleme eğilimiyle bu değere ulaşılması zor görülmektedir. Ocak 2017 sonu itibariyle ülkemizin toplam kurulu gücü 78,497 GW değerine ulaşmıştır. Kurulu rüzgâr santrali gücü 5,738 GW, rüzgâr santrali sayısı 148 olmuştur. Kurulu güçte rüzgârın payı da 2015 yılı sonu değerlerine göre yaklaşık %2,5 artışla %7,3 olarak gerçekleşmiştir. Belirlenen hedeflere ulaşmayı güçleştiren başlıca nedenler;

- **Sürekli değişen mevzuatlar:** 2005 yılından bu güne, 2006 hariç her yıl hem devam eden, hem de yeni yapılacak proje süreçlerini etkileyecek yeni düzenlemeler yapılmış ve sektörün önünü görmesi zor olmuştur.
- **Yatırım sürecinde yaşanan sorunlar:** Yukarıda belirtilen mevzuat değişiklikleri yatırım süreçlerini sürekli değiştirmiş ve uzatmıştır. Geline son noktada yatırım süreci
  - Proje geliştirme
  - Yarışma
  - Ön Lisans
  - Lisans ve Devreye alma aşamalarını içermekte ve 5 – 6 yıl gibi bir süre almaktadır.
- **Ticari ortamdaki belirsizlikler:** Alım garantisi nedeniyle satış riski makul olarak karşılanmasına rağmen, özellikle döviz kurlarındaki aşırı dalgalanmalar ve elektrik piyasasında oluşan fiyat riskleri bozucu etki yapmaktadır. Ayrıca 2016 yılında yapılan alım garantisi şartlarındaki değişikliğin de negatif etki yapacağı öngörülmektedir.
- **Teknik nedenler:** TEİAŞ tarafından açıklanmış toplam rüzgar enerji santrali kapasitesinde firmalardan ve mevzuattan kaynaklanan atıl değerlerin ortaya çıkması, şebekeye entegre rüzgar santrallerinin puant talebin %25 değeriyle sınırlanması, rüzgar verilerinde yaşanan problemler, ölçüm sistemlerindeki teknik sorunlar v.b. [16].

## 6.2. Güneş Enerjisi (Fotovoltaikler ve Güneş Kuleleri)

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin  $308 \text{ cal/cm}^2$  -gün veya  $3,6 \text{ kwh/m}^2$  -gün olduğu kabul edilmektedir. Günlük ortalama güneşlenme süresi ise 7,2 saattir. Güneş enerjisi potansiyeli açısından Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri başta olmak üzere, Karadeniz Bölgesi haricindeki tüm bölgeler yatırım yapılabilir niteliktedir [17], [18]. Bu değerler bölgeler arasında farklılık göstermesine rağmen Türkiye güneş kuşağında kabul edilir. Yapılan çalışmalar sonucu, Türkiye için güneşin 376 TW'lık bir güç kaynağı olduğu hesaplanmıştır. Bu değer ülkenin toplam kurulu gücünün 500 katı gibi çok yüksek bir değerdir. Enerji olarak karşılığı ise  $975 \times 10^{12}$  kWh'e tekabül etmektedir. Ancak bu gücün tamamının enerjiye dönüştürülmesi mümkün olamaz. Enerjiye dönüştürülebilir brüt potansiyel toplam gücün %2,5 kadardır. Bu da yıllık  $24 \times 10^{14}$  kWh anlamına gelir. Ancak bu teknik potansiyelin %182'i kadar olan yıllık yaklaşık 50.000 GWh elektrik enerjisi üretimine uzun vadede ulaşılabileceği öngörülmektedir [19]. Özellikle 2011 yılında yapılan mevzuat revizyonları ile teşvik miktarlarının artırılması ile şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem yatırımları çok büyük ivme kazanmıştır. 2015 yılı başında 64 MW olan lisanssız fotovoltaik kurulu güç değeri Şubat 2017 itibarıyla 820 MW'a ulaşmıştır [20]. Ayrıca iki adet toplam kurulu gücü 12,9 MW olan santrali de 2016 sonunda kurulu güce ilave edilmiştir. Kurulu güç hedefi 2023 yılı sonu için 3000 MW olarak belirlenmiştir [21]. 2017 yılı başında Konya'da kurulacak 1000 MW gücünde lisanslı fotovoltaik santralin ihalesi de tamamlanmıştır. Bu veriler dikkate alındığında hedef değere ulaşılması mümkün görülebilir.

## 6.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal kaynakların dağılımı ülkeler ve ülke içinde bölgeler arasında önemli değişimler göstermektedir. 2016 yılı sonunda dünyada elektrik enerjisi üretimi amaçlı kurulu jeotermal santral gücü 13,3 GW'dır. Bu kurulu güçten yıllık yaklaşık 75 TWh elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu değer bu santrallerin kapasite kullanım oranlarının ortalama %64 gibi çok yüksek değerlerde olduğunu göstermektedir. Türkiye, üzerinde bulunduğu Alp-Himalaya kuşağının özellikleri nedeniyle yüksek jeotermal potansiyele sahip olan bir ülkedir. Ülkenin jeotermal potansiyeli teorik olarak 31,5 GW'tır [22]. Bu alandaki yatırımlar da özellikle 2012 yılından sonra hızla artarak 114 MW değerinden 2017 yılı başında 821 MW'a ulaşmıştır. Bu kurulu güç toplam potansiyelin yaklaşık %3'ünü oluşturmaktadır.

## 7. Türkiye ve Dünyada Yenilenebilir Enerji Profili

Tablo 3'te 2004 -2014 yılları arasında, Türkiye ve Dünya için yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki gelişimleri verilmiştir. Son on yıllık periyotta kurulu güçte yenilenebilir enerji teknolojilerindeki artış hızı dünya ortalaması yıllık %18,2 civarındadır. Bu değer Türkiye için %44,82 olarak gerçekleşmiştir. Bu artışta güneş, rüzgâr ve jeotermal teknolojilerinin başı çektiği kolayca görülmektedir. Her yıl %23 büyüyen dünya rüzgâr kurulu gücünün kurulu güçteki payı %6, üretimdeki payı ise %3,1'e ulaşmıştır. Ülkemizde ise TEİAŞ verilerinden yapılan hesaplamalar sonucu, güneş kurulu gücündeki yıllık ortalama artış %94 civarındadır. 2004 yılında 51,6MW olan rüzgâr kurulu gücü 2014 sonu itibariyle 3630 MW'a ulaşmıştır. Benzer şekilde dünyadaki güneş enerjisi yatırımları da çok hızlı artış göstermiş ve kurulu güç yıllık ortalama %51 artışla 93 GW değerine ulaşmıştır. Bu değer toplam kurulu güçteki payı %2,9, üretimdeki karşılığı ise 0,9 olmuştur. Ülkemizin güneş enerjisi yatırımları nispeten gecikmiş ve ancak 2012 yılı sonrasında veriler elde edilmeye başlanmıştır. Bu nedenle tabloda üretim verileri hidroelektrik harici tüm yenilenebilir kaynaklar için toplu olarak verilmiştir. Tabloya dikkat edilirse, kurulu güçteki paylara göre üretimdeki payların düşük olduğu görülecektir. Bunun başlıca nedeni kapasite kullanım oranlarının konvansiyonel sistemlere göre düşük olmasıdır. Yenilenebilir kaynaklardan kapasite kullanım oranları açısından konvansiyonel kaynaklarla rekabet edebilecek tek yatırım büyük güçlü hidroelektrik santralleridir. Ancak özellikle güneş pillerinde yakın gelecekte ince film teknolojisi ve nanoteknoloji kullanımı ile birim yüzey başına verimin artacağı ve kapasite kullanım oranlarının daha rekabetçi düzeylere ulaşacağı beklenmektedir. Türkiye'nin kurulu gücünün kapasite kullanım oranlarının dünya ortalamasının altında olduğu görülmektedir. Bunun nedeni birincil enerji kaynaklarında dışa bağımlılığın oluşturduğu bazı zorlamalar ve mevzuat nedeniyle oluşan piyasa şartları olduğu söylenebilir.

Tablo 3. 2004 - 2014 yılları arasında yenilenebilir enerji teknolojilerinin elektrik enerjisi kurulu gücünde paylarının gelişimi ve üretimdeki etkinlikleri [9], [15].

KAYNAK	2004		2014		2004 - 2014 YILLIK ORTALAMA ARTIŞ (%)	2014				
	KURULU GÜÇ [GW]	PAYI (%)	KURULU GÜÇ [GW]	PAYI (%)		ÜRETİM [TWh]	ÜRETİMDEKİ PAYI (%)	ORTALAMA ÇALIŞMA SÜRESİ	ORTALAMA KAPASİTE KULLANIM ORANLARI (%)	
DÜNYA	Hidro	715	18,8	1055	17,1	4	3898	16,6	3694	42,17
	Rüzgar	48	1,3	370	6	23	728	3,1	1967	22,45
	Biomass	39	1	93	1,5	9	423	1,8	4545	51,88
	Güneş	3	0,1	181	2,9	51	211	0,9	1168	13,33
	Jeotermal	9	0,2	13	0,2	4	94	0,4	7225	82,48
	<b>Toplam Yenilenebilir</b>	<b>814</b>	<b>21,4</b>	<b>1712</b>	<b>27,7</b>	<b>18,2</b>	<b>5353</b>	<b>22,8</b>	<b>3127</b>	<b>35,70</b>
	Toplam Konvansiyonel (Petrol, D. Gaz, Kömür)	2986	78,6	4468	72,3	4	18127	77,2	4057	46,31
	<b>DÜNYA TOPLAM</b>	<b>3800</b>	<b>100</b>	<b>6180</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>23480</b>	<b>100</b>	<b>3799</b>	<b>43,37</b>
TÜRKİYE	Hidro	12,645	34,339	23,643	34,01	6,5	40,64	16,13	1719	19,62
	Rüzgar	0,019	0,0516	3,63	5,22	94	10,9	4,33	989	11,29
	Biomass	0	0	0,3	0,43	10				
	Güneş	0	0	0,04	0,06	10				
	Jeotermal	0,015	0,0407	0,404	0,58	103,6				
	<b>Toplam Yenilenebilir</b>	<b>12,679</b>	<b>34,431</b>	<b>28,017</b>	<b>40,3</b>	<b>44,82</b>	<b>51,54</b>	<b>20,46</b>	<b>1839,6</b>	<b>21,00</b>
	Toplam Konvansiyonel (Petrol, D. Gaz, Kömür)	24,145	65,569	41,503	59,7	5,7	200,42	79,54	4829	55,13
	<b>TÜRKİYE TOPLAM</b>	<b>36,824</b>	<b>100</b>	<b>69,52</b>	<b>100</b>	<b>6,6</b>	<b>251,96</b>	<b>100</b>	<b>3624</b>	<b>41,37</b>

## 8. Sonuç

Bu çalışmada ele alınan veriler ve gelecek senaryoları dikkate alındığında, ülkemizin enerji ile ilgili çeşitli göstergeler açısından durumuna yönelik ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- ✓ Dünyada ve Türkiye’de rüzgâr ve güneş (PV) santrallerinin gerek kurulu güç, gerekse birim enerji maliyeti azalması açılarından hızlı gelişimlerinin devam etmesi beklenmektedir. Ülkemiz bu iki sektörde özellikle 2008 yılı sonrasında kurulu güç ve üretimdeki pay göstergeleri açısından, oransal olarak dünya ortalamalarının üzerinde gelişim göstermiştir.
- ✓ Ülkemizin birincil enerji kaynaklarda fosil yakıtlara bağımlılığı dünya ortalamalarındadır. Her geçen yıl iyileşme kaydedilse de, birincil enerji kaynaklarının temininde dışa bağımlılık halen sürdürülebilir kalkınmayı desteklemekten uzaktır. Özellikle son yıllarda yerli kömür kaynaklarının kullanımına yönelik çalışmaların hızlanması dışa bağımlılığı azaltıcı etki yapabilir. Bu alanda yapılacak yatırımların, çevresel riskleri de dikkate alınarak, atıkların



mümkün olan en verimli şekilde değerlendirilmesini sağlayan yeni teknolojileri kullanması gerekmektedir.

- ✓ Ülkemizin enerjinin verimli kullanımı, kayıp – kaçak ile mücadele, birincil kaynakların çeşitlendirilmesi, dışa bağımlılığın azaltılması, yenilenebilir enerji mevzuatının istikrarlı bir yapıya kavuşturulması başlıklarında daha aktif ve sonuç alıcı politikalar izlemesi şarttır.
- ✓ Özellikle kayıp – kaçak oranları ve kişi başına düşen elektrik enerjisi miktarları açısından OECD ülkelerine göre dezavantajlı göstergeler mevcuttur. Kayıp-kaçak oranlarının azaltılmasında günümüz bilişim teknolojilerinin ve akıllı-şebeke yaklaşımlarının etkin olarak kullanılması gerekmektedir.
- ✓ Rüzgâr enerjisi potansiyelimizin henüz yaklaşık %10'unu kullanabilir durumdayız. Bu sektöre yapılan yatırımların artarak devam etmesi ve potansiyelin azami ölçüde kullanılması çok önemlidir.
- ✓ Özellikle yerli sermaye ile yenilenebilir enerji santrali ekipmanlarının üretimi özendirilmelidir.
- ✓ Yenilenebilir enerjiye yatırımın ekonomik getirilerinin yanı sıra çevresel etkileri de teşvik mekanizmalarının belirlenmesinde dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmanın devamında, Türkiye'deki enerji üretim kaynaklarının, birim enerji maliyeti, arazi kullanımı, sera gazı emisyonu, tatlı su tüketimi, ulaşılabilirlik, verim gibi sürdürülebilirlik parametreleri açılarından incelenmesi hedeflenmektedir.

## **Kaynaklar**

- [1] Bruntland GH., Our common future: the World Commission on Environment and Development, Oxford University Press; 1987
- [2] Bayar, H., Onat, N., "Sürdürülebilir kalkınma ve hidrojen", IV. Ulusal Hidrojen Enerjisi kongresi ve Sergisi, 213-218, Kocaeli, 15-16 Ekim 2009.
- [3] Evans, A., Strezov, V., Evans, T. J., Assessment of Sustainability Indicators for Renewable Energy Technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1082-1088, 2009.
- [4] Newton, M. J., Hopawell, P. D., Costs of Sustainable Electricity Generation, Power Engineering Journal, 68-74, (2002).
- [5] World Energy Council, Survey of Energy Resources, Chapter 11: Solar Energy, p.297, 2004.
- [6] World Energy Council, World Energy Scenarios, www.worldenergy.org, 2016.
- [7] International Energy Agency, Key world energy statistics, 2016.
- [8] Observer, EDF, Fondation Pour Le Monde, Worldwide electricity production from renewable energy sources, Stats and Figures Series, 1. Electricity production in the world:

General forecasts, Fifteenth inventory, 2013 edition, <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/inventaire/pdf/15e-inventaire-Chap01-Eng.pdf>.

- [9] World Energy Council, World Energy Perspectives Renewables Integration [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org), 2016.
- [10] International Energy Agency, Energy Policies of IEA Countries, Turkey 2016 Review, OECD/IEA, 2016.
- [11] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2010-2014).
- [12] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, Aralık 2014
- [13] TEİAŞ, Elektrik İstatistikleri, 2013.
- [14] Türkiye Petrolleri, Ham Petrol ve doğalgaz sektör raporu, Mayıs 2016.
- [15] TEİAŞ, Elektrik İstatistikleri, 2015.
- [16] Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği, Rüzgâr Enerjisi ve Etkileşim Raporu, Kasım, 2016.
- [17] Şen, Z., Türkiye'nin Temiz Enerji İmkânları, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan Mayıs-Haziran, 6-12, 2004.
- [18] Varınca, K. B., Gönüllü, . T., Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, UGHEK '2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ESOGÜ, Eskişehir, 21-23 Haziran 2006.
- [19] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi, Ankara, Haziran 2009.
- [20] <http://enerjienstitusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw/>. Şubat, 2017.
- [21] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, Şubat, 2017.
- [22] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>, Şubat, 2017.