

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ DERSİ 3

- 3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI
- 3.1 Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynakları
- 3.2 Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU
E-mail: onurbas@agri.ankara.edu.tr
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü
2017

Binlerce yıl **odun, rüzgâr, su ve gelgit kaynaklı enerjiler** birçok medeniyetin yüksek seviyedeki özel üretim sistemlerinde, ticari hayatlarında ve mimari eserlerinde, zaman zaman artarak veya azalarak etkin bir rol oynamıştır (Şen, 2002). Ünlü gelecek bilimci Alvin Toffler'ın ifadesiyle "Birinci Dalga" toplumlarının enerji kaynağı, 18. yüzyılın sonlarında başlayan **Sanayi Devrimi'nin öncesine kadar** bu kaynaklar olmuştur (Toffler, 1996). Isınmak veya yemek pişirmek için ağaçlar kesilmiş; tarlalar hayvanlar yardımıyla işlenmiş; gelgitle, akarsuyla işleyen çarklar ve yel değirmenleri kullanılmıştır. Bu kaynakların kullanımı doğanın kendini yenileme hızından az olduğu için doğa kendini yenileyebilme imkânı bulmuş, kesilen ağaçların yerine yenileri gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında sayılan bu kaynaklar insan hayatındaki ağırlıklı yerini, 1712 yılında, **buhar makinesinin** Thomas Newcomen tarafından yapılmasından sonra **fosil kaynaklara** bırakmaya başlamıştır. İlk olarak, **kömür** yataklarının demir ve diğer madenlerin eritilmesine yaraması ve buhar makinelerinde uzun mesafelere taşınabilmesiyle sanayileşme hızlı bir biçimde artmıştır. İlk **ticari petrol 1859'da** ABD'de kuyudan çıkarılarak kullanılmıştır. 1900'lü yılların başında içten yanmalı motorun insanların günlük yaşamına girmesi ise o güne kadar enerji gereksiniminin yaklaşık % 90'ını sağlayan odun gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin azalmasına neden olmuştur. Ancak, **1970** yıllarında ortaya çıkan **petrol krizleri** ve enerji fiyatlarında yaşanan yükseliş, bir taraftan enerji kaynaklarının nasıl daha verimli kullanılacağını, diğer taraftan **yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme** getirmiştir. **1980'lerde petrol fiyatlarında görülen önemli düşüş** fosil kaynakları tekrar cazip hale getirmiştir. Fakat **1990'lı yıllardan itibaren temiz çevre bilincinin başlamasıyla**; konvansiyonel enerji kaynaklarının hem üretimi hem de tüketimi sırasında küresel anlamda pek çok sorunun olduğu anlaşılmaya başlanmıştır (Gürbüz, 2003; Adıyaman, 2012).

- Çizelge 3.1 'de alternatif enerji kaynaklarının çevresel etkileri verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları çevresel etkiler açısından fosil yakıtlar ile karşılaştırıldığında üstünlüğünün olduğu görülmektedir. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının da çevresel açıdan dezavantajları da olabilmektedir.

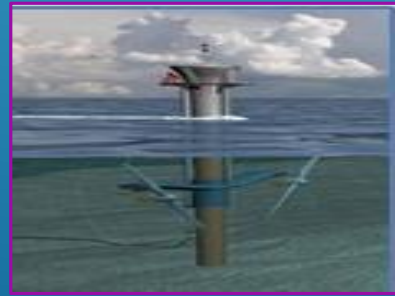
Çizelge 3.1 Kaynak türlerine göre çevresel etkiler (Can, 2011)

| Kaynak | Emisyonlar, Hava Kirliliği ve İklim Değişikliğine Katkı | Deşarjlar, Su Kirliliği ve Sulak Alanlara Etki | Atık Oluşumu | Görüntü Kirliliği | Gürültü Kirliliği | Habitat ve Canlı Yaşamına Etki |
|----------------|---|--|--------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|
| Fosil Yakıtlar | + | + | + | - | + | + |
| Güneş | - | - | - | + | - | - |
| Rüzgar | - | - | - | + | + | + |
| Jeotermal | - | + | - | - | + | + |
| Hidrojen | - | + | - | - | - | - |
| Deniz-Dalga | - | + | - | + | + | + |
| Biyokütle | + | - | + | + | - | + |

- ▶ İçinde bulunduğumuz yüzyılda, dünyamızın karşılaştığı en önemli sorunların başında **güvenli enerji temini** gelmektedir. Özellikle gelişmiş dünya ülkelerinde enerji üretimi ve kullanımı **sürdürülebilir bir yapıda değildir**. Bunun nedeni, dünya genelinde enerjinin **%80-90 gibi çok büyük bir oranda fosil esaslı kaynaklardan** elde ediliyor olmasıdır.
- ▶ Bu yapının sürdürülebilir olmadığına en önemli göstergeleri,
 - ▶ fosil esaslı kaynak kullanımının çevreyi kirletmesi,
 - ▶ iklim değişikliğine sebep olması,
 - ▶ rezervlerinin tükeniyor olması ve
 - ▶ fiyat istikrarının olmamasıdır.
- ▶ Dünya için önemli tehdit oluşturan iklim değişikliğine karşı alınabilecek **en önemli tedbir, fosil esaslı kaynakların enerji teminindeki payını azaltmaktır**.
- ▶ Enerji temininde fosil esaslı kaynak kullanımına **en büyük alternatif de yenilenebilir enerji** kaynaklarına yönelmektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının **çevreyi kirletmemesinin** yanı sıra tercih edilmelerini sağlayan önemli konu başlıkları; **ülkelerin dışa bağımlılıklarını azaltması, yakıt giderlerinin olmaması, amortisman sürelerinin sonunda çok ucuz enerji sağlamalarıdır**. Tüm bu avantajları nedeniyle gün geçtikçe yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi hızla artmaktadır (Atçı, 2012).

- ▶ Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (**OECD**-Organisation for Economic Co-operation and Development) tarafından yapılan **21. yüzyılın genel kavramı çalışmasında küresel enerji sektörü** beş temel eksen üzerine inşa edilmiştir (Anonim, 2011d; Atçı, 2012):
 - ▶
 - 1. Dünyada tüm alanlarda enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlamak,
 - 2. Temiz enerjilerin kullanımını sağlamak,
 - 3. Çevreye duyarlı, yeni teknolojilerin geliştirilmesini sağlamak,
 - 4. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlamak,
 - 5. Enerji üretim ve tüketiminde yeni teknolojilerin geliştirilmesini sağlamak.
 - ▶
 - ▶ Bu perspektif içerisinde, enerji güvenliğinin ve kaynak çeşitliliğinin sağlanması için, temel stratejilerden birisi **yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi**dir (Atçı, 2012).
 - ▶

- ▶ Aslında günümüzdeki tüm fosil ve yenilenebilir enerji kaynakları **güneş kökenlidir**. Güneşte oluşan hidrojen fizyon reaksiyonları ile açığa çıkan ısı enerjisi radyasyon biçiminde uzaya yayılmakta, bunlardan bir bölümü de milyonlarca yıl fotosentez ve metabolizma süreçlerinin yoğun olduğu dünyamıza ulaşmaktadır. Bu bağlamda **fosil yakıtlar tekrar oluşum döngüsü yüz binlerce yıl süren bir bakıma yenilenemeyen bir enerjidir**.
- ▶ **Yeniden oluşum döngüsü, yüzyılın altında olan fotosentez ve metabolik hidrokarbonlardan oluşan enerjiler yenilenebilir enerji olarak isimlendirilebilir** (Boyacı, 2007).
- ▶ **Yenilenebilir enerjiyi doğal ortamda sürekli ve tekrarlı biçimde ortaya çıkan akımlardan elde edilen veya kullanıldıkça aynı oranda beslenen enerji olarak tanımlamak da mümkündür** (Şen, 2002; Onurbaş Avcıoğlu vd, 2011).
- ▶ **Doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji yenilenebilir enerjidir** (Uyar, 2006; Boyacı, 2007).
- ▶ **Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal, deniz ve biyokütle enerjileri; güneş kaynaklı, sürdürülebilir ve temiz enerjilerdir.**



Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından karşılaşılan **problemlerin başında**

maliyetin yüksekliği,

enerji depolanmasındaki güçlük,

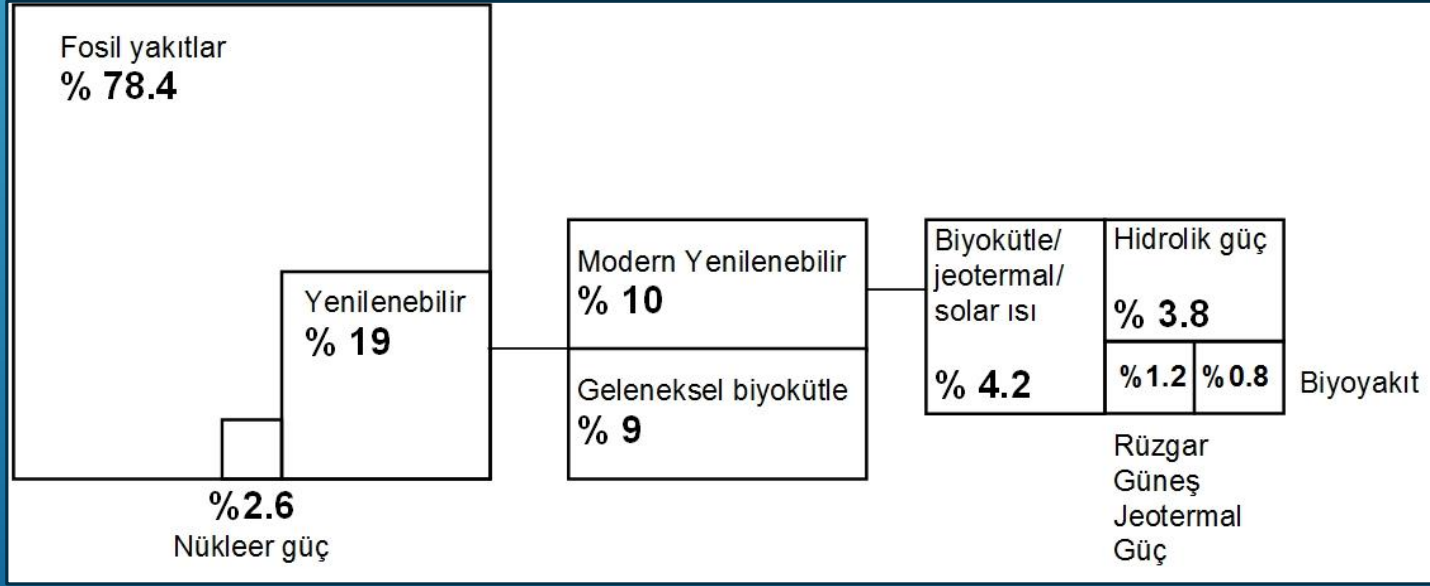
altyapısal sorunlar gelmektedir (Anonim, 2006a).

Enerji altyapısının birincil enerji kaynaklarına göre kurulu olması altyapının yeniden ele alınıp yenilenebilir enerji rezervlerinin bulunduğu yerlere kayması gerekmektedir. Ayrıca başlangıç maliyetlerinin yüksek olması yenilenebilir enerji teknolojileri açısından önemli bir sorun olarak görülmektedir (Yapar, 2014).

Yerel demokrasilerin gerçekleşmesi açısından da alternatif enerji kaynaklarının önemli bir rolü bulunmaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarının merkezden kontrolcü yapılarının aksine alternatif enerji kaynakları daha çok yerel yönlendirmelere ihtiyaç duymaktadır. Bu özelliği ile alternatif enerji kaynakları enerji üretimi sürecine toplumun her kesiminin katılımını sağlamakta ve sosyal açıdan toplumsal bilinçlenmenin sağlanmasına katkı vermektedir. Böylece, yerel halk da enerji üretimi sürecinde söz sahibi olmakta ve demokrasinin toplumun en alt tabakasına bile nüfuz etmesi başarılabilir (Keskin ve Güleren, 2013). Bu durum yenilenebilir enerji teknolojilerinin sosyal refah ve toplumsal bilinçlenmeye yönelik avantajları olarak gösterilmektedir. Kırsal kesimin ülke enerji ekonomisine katılması ve yerel yönetimlerin gücünün artırılması açısından yenilenebilir enerji kaynakları önem arz etmektedir (Yapar, 2014).

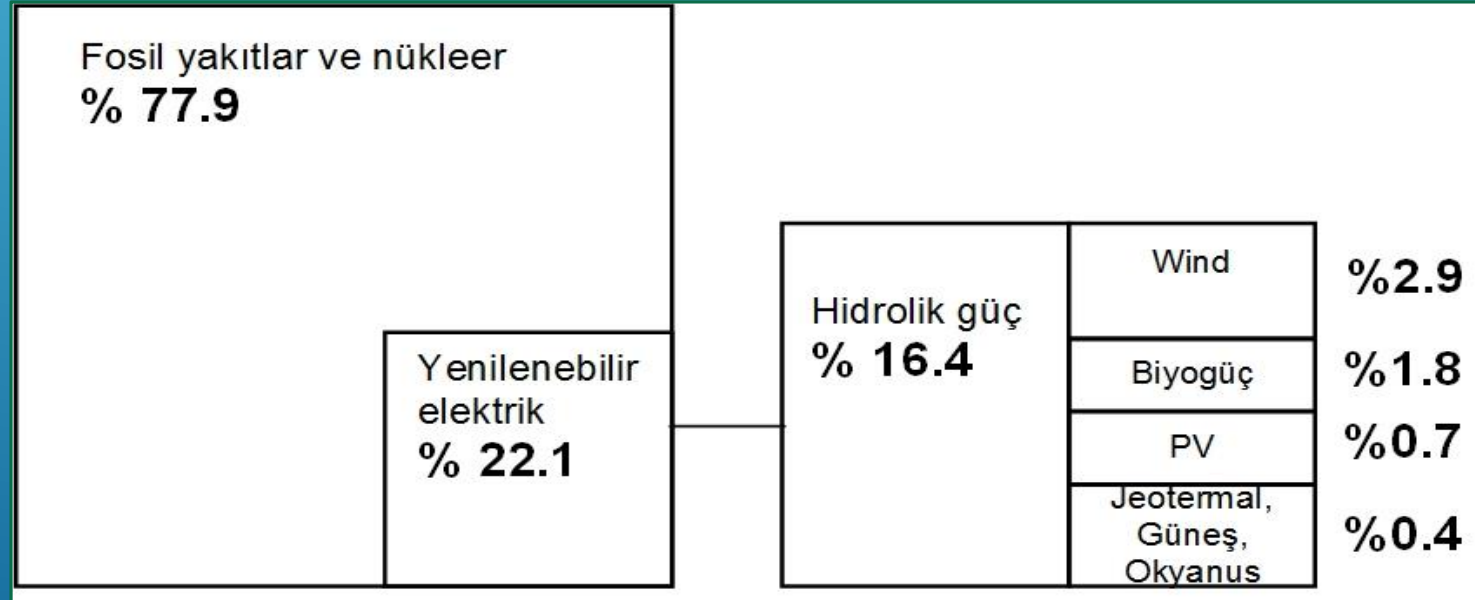
3.1 DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

- **Dünya enerji tüketimi**nde %78.4 ile en büyük paya fosil enerji kaynakları sahiptir. İkinci sırada %19 ile tüm yenilenebilir enerjiler yer almaktadır. Nükleer enerjinin ise küresel enerji tüketimindeki payı %2.6'dır. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde %9'luk bölümü geleneksel biyokütle oluşturmaktadır. %10'luk modern yenilenebilir kaynaklar içerisinde ise; biyokütle-jeotermal-güneş ısı enerjileri (%4.2), hidrolik güç (%3.8), rüzgar-güneş-biyokütle-jeotermal güç (%1.2) ve biyoyakıtlar (%0.8) yer almaktadır.



Şekil 3.1 Dünya enerji tüketimi içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının miktarı (2012) (Anonymous, 2014b)

- ▶ 2013 yılı itibariyle Dünya **elektrik üretimi** içerisinde enerji kaynaklarının dağılımı da Şekil 3.2'de verilmiştir. Dünya toplam elektrik üretiminin %77.9'u fosil yakıtlar ve nükleer enerjiden karşılanmıştır. Yenilenebilir elektriğin payı ise %22.1'dir. Elektrik üretiminde yararlanılan yenilenebilir kaynaklardan en büyük paya %16.4 ile hidrolik enerji sahiptir. Bunu sırasıyla; %2.9 ile rüzgar enerjisi, %1.8 ile biyokütle enerjisi, %0.7 ile güneş PV ve %0.4 ile jeotermal-güneş ısı-okyanus enerjileri takip etmektedir.



Şekil 3.2 Dünya elektrik üretimi içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı (2013) (Anonymous, 2014b)

- Dünyanın yenilenebilir enerji kaynakları teknik potansiyeli Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelgede **WEA** (World **Energy** Assessment), (**GEA**) The Global **Energy** Assessment ve bir grup araştırmacı tarafından bildirilen potansiyel değerleri yer almaktadır.

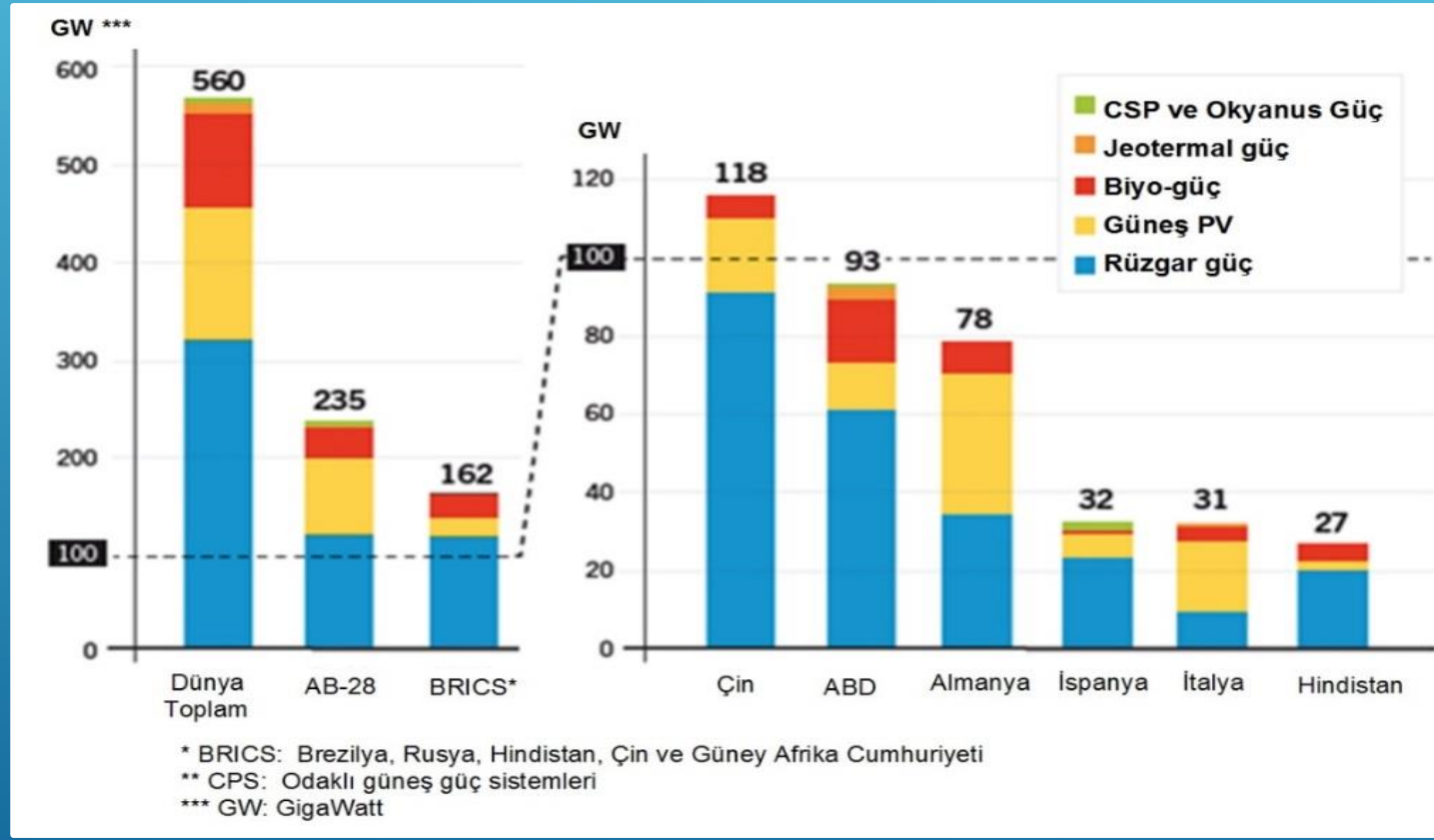
Çizelge 3.2 Çeşitli literatürlere göre yenilenebilir enerji kaynaklarının teknik potansiyeli (EJ/yıl)
(Turkenburg, 2013)

| Yenilenebilir enerji kaynakları | Teknik potansiyel (EJ/yıl) | | |
|---|----------------------------|--------------------|----------------|
| | WEA (2000) | Chum et al. (2011) | GEA (2012) |
| Jeotermal enerji | 5.000 | 130-1.420 | 810-1.545 |
| Direkt güneş enerjisi | > 1.575 | 1.575-50.000 | 62.000-280.000 |
| Rüzgar enerjisi | 640 | 85-580 | 1.250-2.250 |
| Biyokütle enerjisi (tarım kökenli) | >276 | 50-500 | 160-270 |
| Hidrolik güç | 50 | 50-52 | 50-60 |
| Okyanus enerjisi | Tahmin edilemeyen | 7-331 | 3.240-10.500 |
| TOPLAM | >7.600 | 1.900-52.800 | 76.500-294.500 |

| Çarpan | Ön ek ismi | Sembol | Çarpan | Ön ek ismi | Sembol |
|------------|--------------|--------|-----------|--------------|--------|
| 10^{-1} | Desi | d | 10^1 | Deka | da |
| 10^{-2} | Santi | c | 10^2 | Hekto | h |
| 10^{-3} | Mili | m | 10^3 | Kilo | k |
| 10^{-6} | Mikro | μ | 10^6 | Mega | M |
| 10^{-9} | Nano | n | 10^9 | Giga | G |
| 10^{-12} | Piko | p | 10^{12} | Tera | T |
| 10^{-15} | Femto | f | 10^{15} | Peta | P |
| 10^{-18} | Atto | a | 10^{18} | Ekza | E |

Dünya, AB-28 ve BRICS (Brasil, Russia, India, China, South Africa) ülkelerinin 2013 yılı yenilenebilir enerji kapasiteleri Şekil 3.3'te görülmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kapasitesi en fazla olan 6 ülke de şekilde yer almaktadır.

Dünya toplam yenilenebilir güç kapasitesi 560 GW ve bu güç içerisinde kaynakların payı sırasıyla rüzgar, güneş ve biyokütle olmuştur. Dünya yenilenebilir kurulu gücünün %42'si AB-28 ülkelerinde, %29'u BRICS ülkelerinde ve geriye kalan %29 ise diğer Dünya ülkelerinde bulunmaktadır.



Şekil 3.3 Yenilenebilir enerji kaynakları Dünya, AB-28, BRICS ve En büyük Ülkelerin kapasiteleri, 2013 (hidrolik dahil değil) (Anonymous, 2014b)

Yenilenebilir enerji kaynakları açısından dünya genelinde önde gelen ekonomiler Çizelge 3.3'de gösterilmektedir. Özellikle Çin ve ABD'nin yenilenebilir enerjide dünyanın önde gelen ülkeleri oldukları görülmektedir.

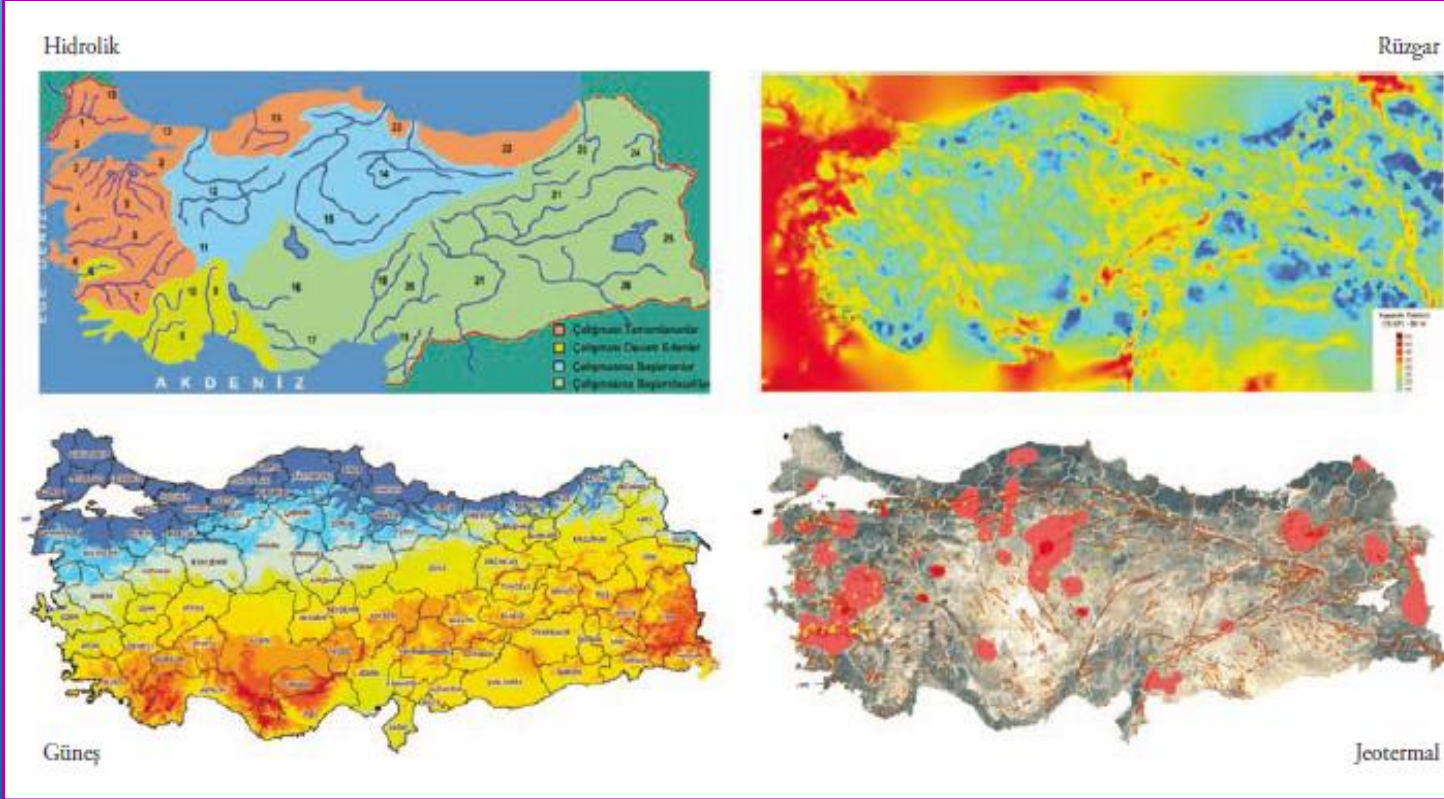
Çizelge 3.3 2013 yılı sonu itibariyle Dünyada yenilenebilir enerji toplam kapasite ve üretim sıralaması (Anonymous, 2014b)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-----------|------------|-----------|-----------------|------------|
| Güç | | | | | |
| Yenilenebilir enerji (hidrolik dahil) | Çin | ABD | Brezilya | Kanada | Almanya |
| Yenilenebilir enerji (hidrolik dahil değil) | Çin | ABD | Almanya | İspanya/İtalya | Hindistan |
| Kişi başına düşen yenilenebilir güç (hidrolik dahil değil) | Danimarka | Almanya | Portekiz | İspanya/İsviçre | Avusturya |
| Biyogüç üretimi | ABD | Almanya | Çin | Brezilya | Hindistan |
| Jeotermal güç | ABD | Filipinler | Endonezya | Meksika | İtalya |
| Hidrojen | Çin | Brezilya | ABD | Kanada | Rusya |
| Hidrojen üretimi | Çin | Brezilya | Kanada | ABD | Rusya |
| Yoğunlaştırılmış güneş termal güç (CSP) | İspanya | ABD | BAE | Hindistan | Cezayir |
| Güneş PV | Almanya | Çin | İtalya | Japonya | ABD |
| Kişi başına düşen güneş PV | Almanya | İtalya | Belçika | Yunanistan | Çek Cum. |
| Rüzgar gücü | Çin | ABD | Almanya | İspanya | Hindistan |
| Kişi başına düşen rüzgar gücü | Danimarka | İsviçre | İspanya | Portekiz | İrlanda |
| Isı | | | | | |
| Güneşten su ısı | Çin | ABD | Almanya | Türkiye | Brezilya |
| Kişi başına düşen güneşten su ısı | Kıbrıs | Avusturya | İsrail | Barbados | Yunanistan |

Avrupa Birliği'nin (AB) yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili 1997 yılında hazırlanmış olduğu Beyaz Belge'ye göre; %6 olan yenilenebilir kaynak kullanımının kademeli olarak artırılarak 2020'de en az %20'ye yükseltilmesi amaçlanmıştır. Hedeflenen değerlere 2010 yılı öncesinde ulaşılmış, bazı kaynaklarda bu hedefler aşılmıştır (Özcan, 2013).

3.2 TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından Dünyadaki diğer ülkelere kıyasla oldukça zengin bir çeşitliliğe ve kapasiteye sahiptir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları çeşitliliği (<http://www.eie.gov.tr>)

Yenilenebilir enerji kaynakları çeşitliliği açısından;

- Rüzgar enerjisinde Ege ve Marmara ile Batı Karadeniz bölgeleri;
- Güneş enerjisinde Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege bölgeleri;
- Hidroelektrik enerjide Doğu ve Güneydoğu Anadolu ile Doğu Akdeniz ve Doğu Karadeniz bölgeleri;
- Jeotermal enerjide İç Anadolu ve Ege bölgeleri;
- Orman ve tarım ürünleri, tarımsal ve hayvansal atık ve artıklar, evsel ve kentsel atıkların dahil olduğu biyokütle enerjisinde de Türkiye'nin tüm bölgeleri gösterilebilir.

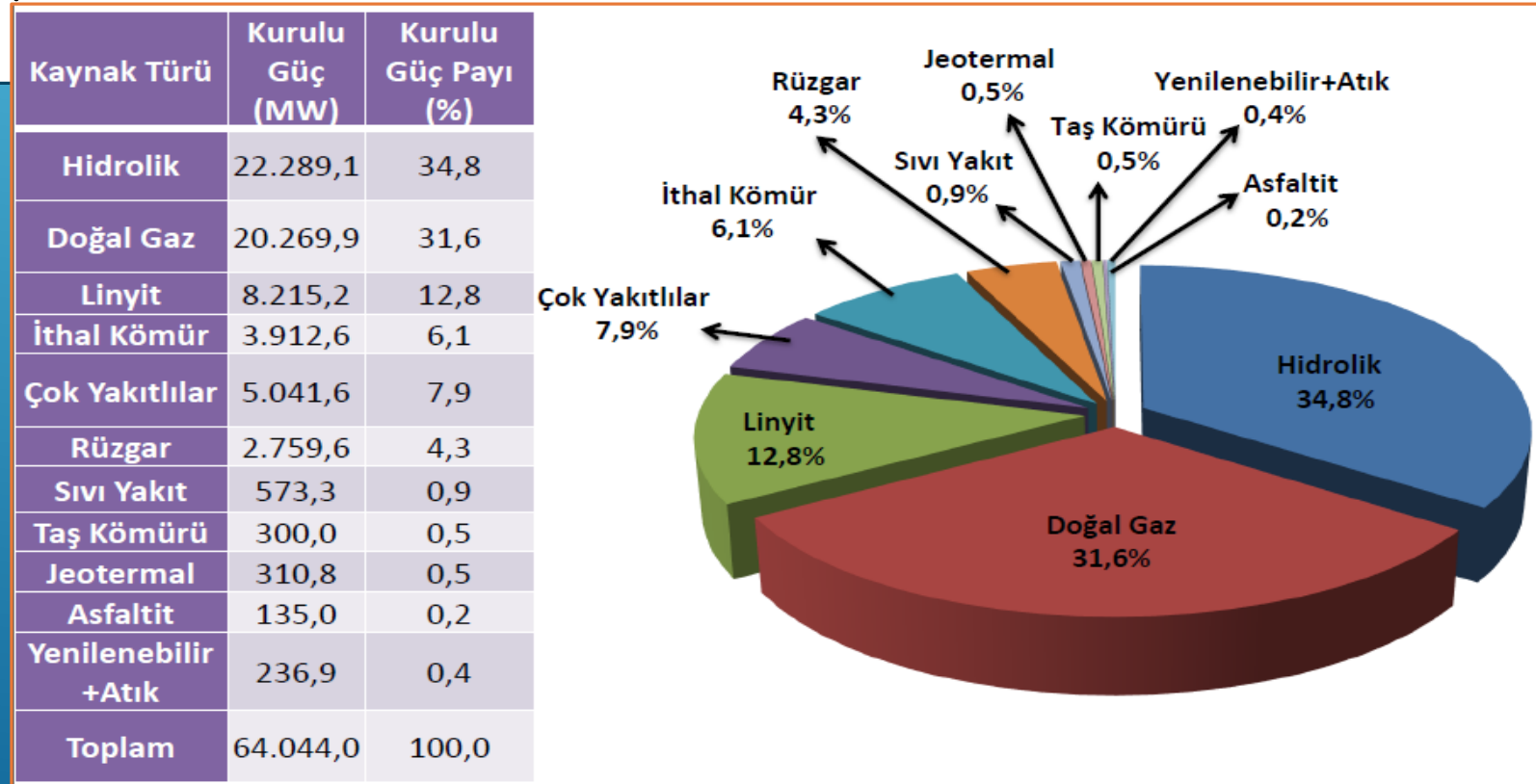
- ▶ Hemen hemen tüm yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olan Türkiye'nin potansiyel değerleri Çizelge 3.4'de görölmektedir.

Atatürk barajı 4500 MW

Çizelge 3.4 Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları potansiyel değerleri (Atçı, 2012)

| Yenilenebilir Enerji Kaynağı | Potansiyel (TWh/yıl) |
|------------------------------|----------------------|
| Güneş | 500 |
| Rüzgar | 400 |
| Jeotermal | 16 |
| Hidrolik | 450 |
| Biyokütle | 1.58 |
| Dalga | 10 |

Şekil 3.5'de ise TEİAŞ verilerine göre Türkiye'nin 2013 yılı sonuna ait **elektrik enerjisi kurulu gücü** yer almaktadır. Türkiye elektrik üretiminde kurulu gücün yaklaşık %60'ı fosil yakıt kaynaklıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde kurulu güç değerleri; hidrolikte 22.3 GW, rüzgarda 2.8 GW, jeotermal 0.3 GW ve biyokütlede 0.24 GW civarındadır. Kurulu güç değerleri yukarıdaki çizelgede verilen potansiyel değerleri ile karşılaştırıldığında Türkiye yenilenebilir enerji potansiyelinin düşük oranının kullanıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5 2013 sonu itibariyle Türkiye'de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların kurulu güç değerleri (Anonim, 2014c)

Ülkemizde yenilenebilir enerjilerle ilgili **ilk düzenleme 2003** yılında gerçekleşmiştir. 5015 sayılı Petrol Piyasası Düzenleme Kanununa göre; biyoyakıt üretimi ve dağıtımı ile ilgili düzenleme ve denetleme işlemleri EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) tarafından yapılmaktadır.

İlk Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu ise 2005 yılında yayınlanmıştır. 5346 sayılı bu yasada; yenilenebilir enerjilerin elektrik ve biyoyakıt üretiminde kullanılmasıyla ilgili düzenlemeler yer almaktadır. Bu yasada çeşitli teşvikler bulunmaktadır. Bu kapsamda; on senelik alım garantisi verilmekte ve elektriğin satış fiyatı **kWh için € 0,05-0,055** olarak ön görülmektedir. Sadece kendi ihtiyacını karşılayan ve kurulu gücü 200 kW'tan az olan tesislere YEK (Yenilenebilir Enerji Kaynakları) Belgesi alım muafiyeti de sağlanmaktadır.

2005 yılında çıkarılan yasada enerji kaynakları arasında ayırım yapılmadan tümünün aynı miktarda fiyatlandırılması nedeniyle uygulamada olumsuzluklar oluşmuştur. Bu olumsuzlukların giderilmesi amacıyla YEK yasası yeniden düzenlenerek **2010 yılı sonunda** resmi gazetede yayınlanmıştır. Yeni yasa da yenilenebilir enerji kaynakları ayrı ayrı dikkate alınarak fiyatlandırma yapılmıştır. Bu fiyatlar (<http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5346.pdf>);

Güneş enerjisi için 13.3

Biyokütle enerjisi için 13.3

Jeotermal enerji için 10.5

Rüzgar enerjisi için 7.3

Hidrolik enerji için 7.3 ABD Doları sent/kWh'dir.

Yeni yasal düzenlemeyle ayrıca, yerli teknolojiyi de teşvik etmek amacıyla yurt içi imalatla kurulan yenilenebilir tesislere ayrıca ilave fiyat da öngörülmüştür.