

TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİNİN HESAPLANMASI¹

Ahmet Akın KURUCU²

ÖZET

Günümüzde küresel çevresel problemler tek tek insanları etkilediği gibi, küresel çapta insanlığın dünya üzerindeki varlığını sürdürebilmesini de tehdit etmeye başlamıştır. Fosil yakıt kullanımı kaynaklı karbon emisyonlarının yol açtığı küresel ısınma problemi bu tehditlerin en önde gelenidir. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi bu noktada ön plana çıkmaktadır. Nitekim Avrupa ülkeleri başta olmak üzere birçok dünya ülkesi karbon emisyonlarını azaltma taahhütleri çerçevesinde yenilenebilir enerji uygulamalarını artırmaktadırlar.

Yenilenebilir enerji uygulamaları ile insanlığın enerji ihtiyaçları doğayla barışık ve çevresel risklere yol açmadan karşılanır. Yenilikçi teknolojiler sayesinde günümüzde yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimleri ekonomik olarak da fosil ve nükleer kaynaklardan yapılan üretimlerle rekabet edebilir hale gelmiştir. Yenilenebilir enerjinin yerel ve dağınık üretim faaliyetleri yerel halka iş ve gelir imkânı sağlar. En önemlisi de uygun şekilde yürütüldüğü takdirde yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi, atıksız çevreye saygılı bir üretim şeklidir.

Bu çalışmada Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyeli Mackay’ın (2009) yöntemi ile rüzgâr, su, güneş vd. kaynaklara göre ayrı ayrı hesaplanarak, Türkiye’nin enerji ihtiyaçlarını kendi yerel ve yenilenebilir kaynaklarından karşılayıp karşılayamayacağı sorusuna yanıt aranmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyeli yıllık 4307 TWh olarak bulunmuştur. Türkiye’nin enerji tüketimi resmi rakamlara göre 80 milyar toe’dur (ETKB, 2014). Bu rakam yaklaşık 930 TWh elektrik enerjisine eşittir. Bu çalışmada 4307 TWh enerji üretiminin mümkün olduğu hesaplandığına göre Türkiye ihtiyacı olan enerjinin yaklaşık beş katını, nükleer enerjiye yönelmeden, termik santrallerin ihtiyacı olan

¹ Bu makale doktora tezinden üretilmiştir.

² akurucu@gmail.com

kömürü çıkarmak uğruna insanların hayatını harcamadan, doğayı ve çevreyi yağmalamadan yenilenebilir kaynaklardan sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde karşılmasının mümkün olduğu açıkça görülmektedir. Bulunan bir diğer sonuç da Türkiye'nin akarsu kaynaklarından elde edebileceği enerji potansiyelinin rüzgâr potansiyelinin dörtte biri, güneş potansiyelinin ise beşte biri kadar olmasıdır. Yani Türkiye aslında barajlar ve hidroelektrik santrallerle Türkiye derelerini, nehirlerini ve bunlarla beraber o yörelerdeki insan hayatlarını ve doğal çevreyi boşuna yok etmektedir. Türkiye mevcut rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyellerini kullanarak, kendi kendine yeten, sürdürülebilir bir enerji sistemi kurabilir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli, sürdürülebilir enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi

Assessment of the Renewable Energy Potential in Turkey

ABSTRACT

Contemporary global environmental problems affect not only human beings but also humanity as a whole and put a threat on the continuation of human race on earth. Global warming, as a result of the fossil fuel usage, is the most important one of these problems. Energy production from renewable resources is the key point to solve this problem. Starting with Europe many countries in the world enhance their renewable energy applications.

Energy needs of humanity can be fulfilled with renewable energy applications without any environmental risks and in accordance with the harmony of nature. New and creative technologies made renewable energy productions economically competitive with fossil fuel productions. Moreover renewable energy applications provide local businesses and income for local people.

In this study, Turkey's renewable energy potential is calculated for every renewable energy resource separately according to MacKay's method in order to determine whether Turkey can supply its all energy needs from its own renewable energy resources.

Calculations show that Turkey's renewable energy potential is 4307 TWh. Considering Turkey's primary energy consumption is about 80 billion toe (ETKB, 2014),

which is more or less equivalent to 930 TWh of electric energy, Turkey can produce five times more energy than it consumes from renewables . So there is no need for nuclear plants nor coal mining which costs many lives. Another result is that, Turkey has four times more wind power potential than its hydro power potential. Also the solar power potential fivefolds the hydro power potential. This shows Turkey is in a very wrong path of building dams and hydro power plants that destroys river ecologies and human societies. Turkey should focus on its wind and solar energy sources and set the rivers flow free. Turkey can build a sustainable energy system with wind and solar power.

Key Words: Renewable energy, Turkey's renewable energy potential, sustainable energy, wind energy, solar energy

1.Giriş

Enerji insanlığın hayat kaynağıdır. Enerji kaynaklarını kullanmadan insan soyunun dünya üzerindeki varlığını devam ettirebilmesi söz konusu bile olamaz. Yüz binlerce yıl önce insanoğlu ateşi kullanarak, vahşi çevresinde hayatta kalmayı başarmış ve günümüze kadar varlığını sürdürebilmiştir.

Günümüzde küresel çevresel problemler tek tek insanları etkilediği gibi, küresel çapta insanoğlunun dünya üzerindeki varlığını sürdürebilmesini de tehdit etmeye başlamıştır. İnsan nüfusu özellikle son yüzyılda hızlı bir biçimde artmıştır. Bunun yanında insanların tüketim seviyeleri de eskisiyle kıyaslanamayacak bir hızda artmaktadır. Bu nüfus ve tüketim artışı doğanın sunduğu kaynaklar üzerindeki baskıyı artırmakta, yenilenemeyen doğal kaynaklar giderek tükenmektedir.

Petrol, kömür, doğal gaz gibi doğanın milyonlarca yılda oluşturduğu fosil enerji kaynakları tükenmektedirler. Bu enerji kaynaklarının devamlı ve artarak kullanımı yerel ve küresel ölçekte birçok çevresel probleme de yol açmaktadır. Fosil yakıt kullanımı kül, duman, asit yağmurları gibi yerel ve bölgesel kirliliklere yol açtığı gibi bunlara ilaveten atmosfere karışan karbonun yol açtığı küresel ısınma, günümüzün en önemli küresel çevre sorunudur.

Fosil yakıtlara alternatif olarak, kullanılmakta olan nükleer enerji de insanlığın enerji ve çevre problemine çare olamaz. Nükleer yakıt olan uranyum da dünya üzerinde kısıtlı miktardadır ve azalmaktadır. Nükleer enerji, çevre ve insanlığa kaza ve radyasyon risklerinin yanında, binlerce yıl boyunca gelecek kuşaklar üzerine tehdit olarak kalacak nükleer atık problemi de getirmektedir.

Yenilenebilir enerji uygulamaları, insanlığın enerji ihtiyacını doğayla barışık ve çevresel risklere yol açmadan karşılanmasının yoludur. Günümüzde yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi ekonomik olarak fosil ve nükleer kaynaklardan yapılan üretimlerle rekabet edebilir hale gelmiştir. Yenilenebilir enerjinin yerel ve dağınık üretim faaliyetleri, büyük petrol şirketleri yerine yerel küçük firmalara ve yerel halka iş ve gelir imkânı sağlar. En önemlisi de uygun şekilde yürütüldüğü takdirde yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi, atıksız, doğal kaynak tüketmeyen bir üretim şeklidir. Bundan on yıl önce sadece bilimsel amaçlı yürütülen birçok yenilenebilir enerji projesi artık günlük kullanıma sunulmuştur. Modern teknolojiler maliyetleri düşürmüş, verimi artırmıştır.

Türkiye'nin nüfusu 75 milyonun üzerindedir bu nüfus hızla artmaktadır. Yıllık nüfus artış hızı 2013 yılında % 1.37 olmuştur. (TUIK,2014). Bunun yanında Türkiye ekonomik olarak da gelişmiş ülkelere nazaran hızlı büyümektedir. Türkiye ekonomisi 2010 ve 2011 yıllarında ortalama % 9 büyümüştür (Hazine, 2014). Yüksek nüfus artışı ve hızlı ekonomik büyüme Türkiye'yi dünyanın enerji ihtiyacı en hızlı artan ülkelerinden biri haline getirmektedir. Enerji tüketimi 2010 yılında % 8,9 artarak OECD ortalamasının iki katı olarak gerçekleşmiştir (BP, 2011).

Sürekli katlanarak artan enerji ihtiyacını Türkiye ithalatla karşılamaktadır. Türkiye 2011 yılında kullandığı doğalgazın % 98'ini, petrolün de % 93'ünü ithal etmiştir. Türkiye'nin 2011 yılında enerji ithalatına ödediği para 23 milyar Amerikan dolarının üzerindedir (ETKB, 2012). Türkiye kullandığı toplam enerjinin % 70'den fazlasını ithal etmektedir ve Türkiye'nin cari açığının en önemli nedeni de bu yüksek enerji ithalatıdır (Yanar & Kerimoğlu, 2011).

Dünyada yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi devamlı ve sistemli bir artış eğilimindedir. Türkiye ise Avrupa Birliğine aday ülke olarak AB politika ve uygulamalarına uyum sağlama zorunluluğunda iken, yenilenebilir enerji konusunda Birliğin tam tersi yoldadır. Buna mukabil Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan elde ettiği enerjinin toplam tüketilen enerji içindeki payı devamlı bir düşüş içindedir. Köyden kente göç neticesinde, Türk insanı daha az odun vb biyolojik enerji kaynakları kullanmakta, fosil yakıtlar biyolojik yakıtların yerini almaktadır. Aynı süreç hemen hemen bütün dünya ülkelerinde de yaşanmaktadır, fakat diğer ülkelerde rüzgâr türbinleri, fotovoltaiik elektrik üretimleri gibi modern yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması dolayısıyla toplamda yenilenebilir enerjinin kullanımı artmaktadır. Türkiye'de ise klasik yenilenebilir enerji kaynakları terk edilirken, modern kaynaklarının kullanımına da geçilememiştir.

Bu makalede Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklarından üreteceği enerji potansiyeli hesaplanarak, Türkiye'nin enerji konusunda kendi kendine yeterli ve sürdürülebilir bir politika izleyip izleyemeyeceği tartışılacaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Mackay 2009 tarihli "Sustainable Energy-Without the Hot Air" adlı çalışmasında modern küresel çevre problemlerinin enerji bağlantısını ortaya koyarak, enerji sorunlarını tartışmaktadır. Çalışmasının bir kısmında da Birleşik Krallığın yenilenebilir enerji kaynaklarıyla kendi kendine yetip yetemeyeceği sorusuna cevap aramaktadır. Bu çalışmada Mackay'ın metodu Türkiye'nin gerçek yenilenebilir enerji potansiyelini hesaplamada kullanılacaktır. Önce her yenilenebilir kaynağın Türkiye'deki birim alandaki potansiyeli hesaplanacak sonra da bu potansiyel uygulama için uygun alan miktarıyla çarpılarak toplam potansiyel elde edilecektir.

Yenilenebilir enerji potansiyeli proje bazında yerel ölçümlerle bulunabilir. Örneğin bir hidroelektrik santral belli bir ırmağın üzerine yapılacaksa, o akarsuyun taşıdığı yıllık su miktarı ölçülür, alternatif baraj yüksekliklerine ve tutulacak su miktarına göre bir üretim potansiyeli hesaplanabilir. Mackay'ın metodu ülke çapında yapılacak hesaplamalar için en uygun metottur ve Birleşik Krallık ülkeleri için 2009 yılında yaptığı hesaplar ve yayınladığı eser yeşil enerji konusunda Avrupa Birliği ülkelerinde temel kitap haline gelmiştir.

Bu hesaplama teknik potansiyeli verecek fakat maliyet hesabı yapılmayacaktır. Esasen yenilenebilir enerji projelerinde maliyet hesabı hatalı sonuçlar vermektedir. Yapılan maliyet hesaplarına ekonomik gelir ve giderler konulmakta çevresel gelir ve giderler göz ardı edilmekte, böylece birçok çevreci proje yüksek maliyetli görülmektedir. Bir diğer nokta da teşviklerdir. Yenilenebilir enerji projeleri bütün Dünyada çeşitli teşviklerle desteklenmektedir. Bugün ekonomik olarak zarar edecek birçok proje yenilenebilir enerji teşviklerinin Avrupa seviyelerine çıkarılmasıyla yapılabilir hale gelecektir. Bunların yanında yenilenebilir enerji teknolojileri şu an öğrenme evresindedirler. Fiyatlar devamlı bir düşüş trendi içindedir. 10 sene içinde güneş paneli fiyatları yaklaşık üç kat düşmüştür. Yani bugün için maliyet hesaplarında kâr etmeyeceği görülen bir proje iki sene sonra kâr eder hale gelecektir.

3. Bulgular

Bu bölümde her bir yenilenebilir enerji kaynağı için Türkiye'nin üretim potansiyeli hesaplanmıştır.

3.1 Rüzgâr

Türkiye'nin karasal alanının rüzgâr enerjisi potansiyeli tipik bir rüzgâr çiftliğinin metrekaare başına düşen potansiyeli Türkiye'nin rüzgâr çiftliği kurulmaya müsait alanıyla çarpılarak bulunabilir.

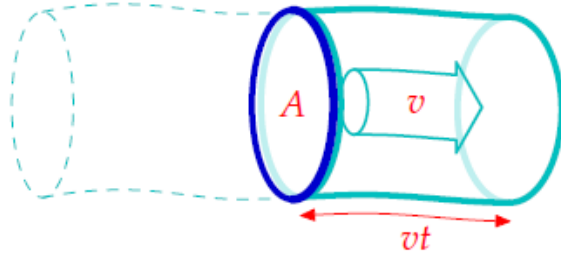
Güç= birim alana düşen rüzgâr gücü potansiyeli × alan miktarı,

Görüldüğü gibi ilk basamak rüzgâr çiftliğinin birim alanının güç potansiyelini hesaplamak olacaktır. Rüzgâr türbininin kanatları arasından geçen havanın kinetik enerjisi, akışkan dinamiğindeki kinetik enerji formülü ile bulunur.

$$KE= \frac{1}{2} mv^2$$

Burada m enerjisi hesaplanan cismin kütlesi v de o cismin hızıdır. Rüzgâr türbin hesabındaki cisim havadır. Rüzgâr türbinindeki hava akışı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1: Rüzgâr Türbininde Hava Akışı



Kaynak: Mackay,2009

Havanın Kütlesi (m) = yoğunluk (ρ) × hacim

Havanın hacmi (V) = Alan (A) × uzunluk (l)

Havanın uzunluğu (l) = hız (v) × zaman (t)

Hesabı birim zamanda yapmak için t= 1 sn alınır

$$KE=1/2 \times \text{yoğunluk}(\rho) \times \text{Alan}(A) \times \text{hız}(v) \times (\text{hız}(v))^2$$

$$KE=1/2 \times \text{yoğunluk}(\rho) \times \text{Alan}(A) \times \text{hız}(v)^3$$

$$KE=1/2 \times \rho \times A \times v^3$$

Formülde görüldüğü üzere kinetik enerji üzerindeki en büyük etken havanın (esen rüzgâr) hızıdır. Rüzgâr hızı 2 m/s ise, üçüncü kuvveti 8 olurken, rüzgâr hızı 8m/s ise üçüncü kuvvet 512 olmaktadır. Rüzgâr hızı 4 katına çıktığında üretilen enerji 64 katına çıkmaktadır.

Havanın yoğunluğunun 1,3 kg / m³ olduğu bilindiği için

$$KE= \frac{1}{2} \times 1,3 \times A \times v^3 = 0,65 \times A \times v^3$$

Bu pervaneleri A alanını tarayan bir rüzgâr türbininden geçen havanın kinetik enerjisidir. Rüzgâr türbinleri bütün bu enerjiyi elektriğe çeviremez. Rüzgâr türbinine hava belli bir hızda girer ve sonra da başka bir hızda çıkar, böylece yeni gelen hava moleküllerine de yer açılır.

Rüzgâr türbininin içinden geçen havanın teorik olarak ancak % 59'unu alabilir. Bu 1919 da Albert Betz tarafından ispatlanmıştır. (Mackay,2009). Gerçek uygulamalarda teorik limite ulaşamaz o yüzden türbinin esen rüzgârın enerjisinin % 50 sini alabildiği iyi bir varsayım olacaktır. Şu şartlarda alınan enerji:

$$AE= \frac{1}{2} \times 0,65 \times A \times v^3 = 0,325 \times A \times v^3 \text{ olacaktır.}$$

Alan büyüklüğünün de alınan enerjide doğrudan etkili olduğu görülmektedir. 1990 yılında 10 m çapında pervaneleri olan rüzgâr türbinleri varken günümüzde genellikle 50 m pervane çapı olan dev rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Bu çapla türbinin taradığı alan hesaplanırsa

$$AE= 0,325 \times \pi \times 50^2 \times 4 \times v^3 = 637,8 \times v^3 \text{ bulunur}$$

Günümüz teknolojisinde rüzgâr çiftlikleri rüzgâr hızı ortalamaları 6 m/s veya daha yüksek olan alanlarda kurulmaktadır. 6 m/s hız değerini formüle koyduğumuzda

$$AE= 637,8 \times 6^3 = 137 \text{ KW}$$

Bu değeri Dünyanın en büyük rüzgâr türbin üreticisi Vestas'ın gerçek türbinleriyle kıyaslırsak hesabın yaklaşık olarak doğru olduğu görülür. Vestas (2014) karasal uygulamalar için 3 MW kapasiteli, açık deniz uygulamaları için de 7 MW kapasiteli türbinleri önermektedir.

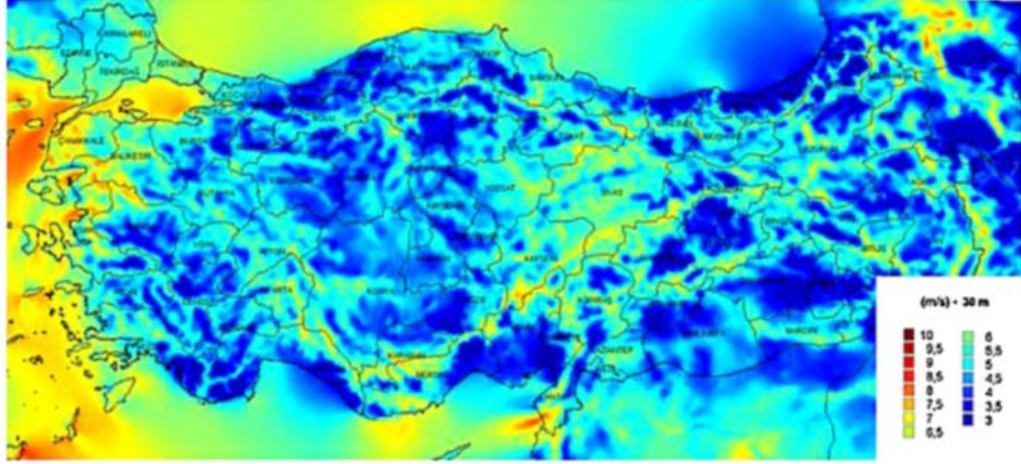
Rüzgâr çiftliklerinde türbinler ormandaki ağaçlar gibi yerleştirilemezler, bir türbin diğerinin rüzgârını engellememelidir. Yerleşim şekli projeye göre değişiklik gösterse de her bir türbin arasında 5 pervane mesafesi ara bırakmak endüstride standart uygulamadır. Şu halde 50 m'lik pervaneli türbinler 250'şer metre arayla yerleştirilirler. O zaman birim alanda üretilen güç

$137000 \div (250 \times 250) = 2,2 \text{ W/m}^2$ olarak hesaplanmış olur. Yani Türkiye'de ortalama rüzgâr hızı 6 m/s den fazla olan yerlerde kurulacak bir rüzgâr çiftliğinde metrekarede ortalama 2,2 W güç kapasitesi vardır.

Şekil 2'de verilen Türkiye rüzgâr haritalarına bakıldığında Türkiye alanının ortalama ¼ lük kısmında rüzgâr hızının 6 m/s den fazla olduğu görülmektedir. Bu alanın da yarıdan fazlasının şehirler, askeri alanlar, ormanlar, gibi uygun olmayan alanlar olduğu

varsayılabilir. Bütün Türkiye alanının rüzgâr türbinleriyle kaplanması zaten mümkün değildir. Bunun yanında rüzgâr türbinlerinin yaklaşık 50-100 metrelik kuleler üzerinde olduğu ve yaklaşık 250-500 metre mesafelerle yerleştirildiği dikkate alınırsa, rüzgâr çiftliklerinde tarımsal faaliyet rahatlıkla devam ettirilebilir.

Şekil 2: Türkiye Rüzgâr Hızları Haritası



Kaynak: İlkılıç, 2011

İngiltere'nin toprak alanının yaklaşık %10'unun rüzgâr santrallerine ayrılabilceği belirtilmiştir (Mackay, 2009). Türkiye arazisinin % 36'sı ekili-dikili alan, % 32'si çayır ve otlak, % 26 'sı orman ve % 6'sı diğer alanlardır (yerleşim birimleri, tarıma elverişsiz çıplak kayalıklar vb.), (Coğrafya, 2014).

Şehirler ve ormanları dışarıda bırakırsak Türkiye topraklarının yarısından fazlasının yerleşim açısından rüzgâr santrallerine uygun olduğu görülmektedir. Bu alanların uygun rüzgâr alan kesimleri hesaplanırsa Türkiye topraklarının yaklaşık % 10'luk bir kısmına rüzgâr çiftliği kurulabileceği hesaplar için temel alınabilir.

Türkiye'nin alanı 780.000 km² olduğuna göre

Türkiye'nin kara alanındaki rüzgâr enerjisi potansiyeli

$$=780000 \times 1000 \times 1000 \times 1 \div 10 \times 2,2 = \mathbf{171,6 \text{ GW}}$$

Bunun yanında Türkiye'nin 8333 km sahili vardır. Bu sahilden ortalama 4 km açığa kadar alanlara açık deniz rüzgâr çiftlikleri kurulabilir.

$8333 \times 4 = 33332 \text{ km}^2$ alan deniz rüzgâr çiftliği olarak ayrılabilir. Bu alanın aşırı derin deniz, gemi geçiş yolları, balıkçılık alanı, askeri alan vb sebeplerle sadece % 10'luk bir kısmının enerji üretimine ayrılacağı varsayılabilir.

Bunun yanında açık denizlerde rüzgârlar karaya göre daha hızlı ve daha devamlıdır. Ayrıca deniz yüzeyi düz olduğu için rüzgâr çiftliği hesaplarında önemli bir faktör olan yüzey sertliği oranı da karaya göre çok daha düşüktür. Bu sebeplerden denizdeki bir rüzgâr çiftliği karadakine göre en az % 50 daha verimlidir. Şu halde birim alana düşen enerji potansiyeli

$$2.2 \text{ W/ m}^2 \times 1.50 = 3,3 \text{ W/ m}^2 \text{ olarak alınabilir. Bunu ayrılan alanla çarparsak}$$

$$3.3 \times 3300 \times 1000 \times 1000 = \mathbf{10,9 \text{ GW}}$$

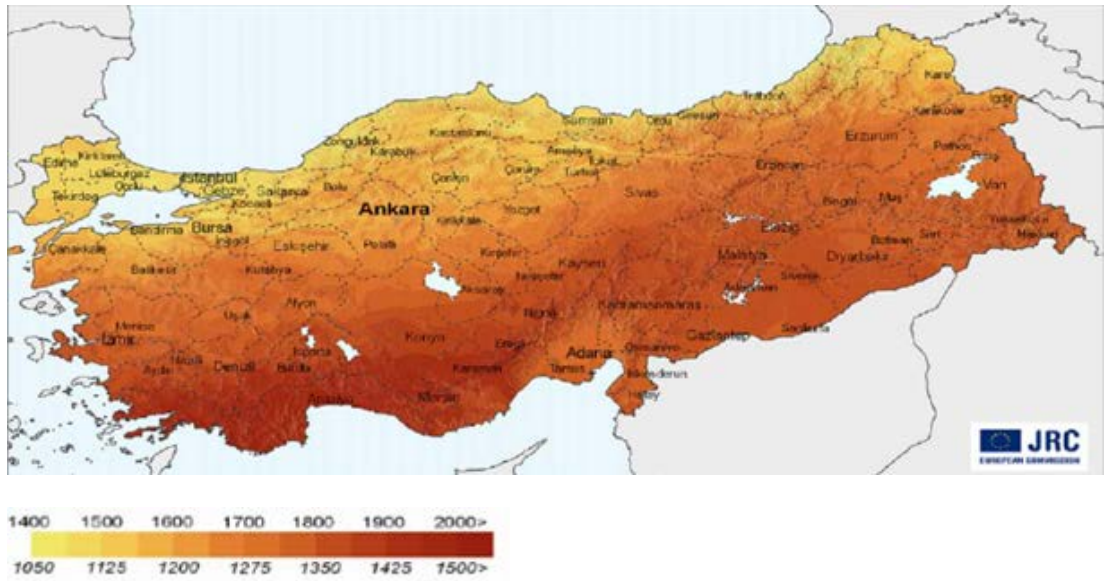
Türkiye'nin toplam enerji potansiyeli **182 GW**.

Yıllık üretebilecek enerji miktarı da $182 \times 24 \times 365 = \mathbf{1595 \text{ TWh}}$ olur.

3.2. Güneş

Şekil 3'te verilen Türkiye güneş haritalarında da görüldüğü gibi Türkiye'nin güneyi 1400 W/m^2 güneş yoğunluğu enerjisi almaktadır. Bu teorik bir rakam olup güneşin tam karşılandığında elde edilecek değerdir. Türkiye coğrafi olarak ortalama $36^\circ - 42^\circ$ kuzey enlemleri arasında yer alır. Bu da demektir ki güneş enerjisi Türkiye topraklarına ekvatora indiği gibi tam dik olarak inmez.

Şekil 3: Türkiye'nin Yıllık Ortalama Güneş Enerjisi Haritası (KWh/m2)



Kaynak: JRC, 2014

Bu eğimden dolayı hesaplamalarda teorik güneş yoğunluğu enerjisinin % 75'i dikkate alınmalıdır. Buna ilaveten bu teorik değer öğlen güneş ısısının en yoğun zamanındaki değerdir. Güneş ışığı yoğunluğu sabahtan öğlene kadar artar, öğlen güneş tam tepede iken en yüksek değerine ulaşır, sonra da güneş batana kadar ışık yoğunluğu düşmeye devam eder. Ortalama güneş ışığı yoğunluğu maksimum değerın 1/3'ü olarak alınabilir (Mackay, 2009:50). Buna ilaveten senenin bütün günleri güneşli olmaz. Yağmurlu, bulutlu günlerde yeryüzüne ulaşan güneş enerjisi azalır. Türkiye'nin güneyindeki ortalama güneşli gün sayısı olarak da % 40 alınabilir. Bütün bu ayarlamalardan sonra Türkiye'nin güney bölgeleri için birim güneş enerjisi gücü

$$1400 \times 0.75 \times 0.33 \times 0.4 = 138 \text{ W/m}^2 \text{ olur.}$$

3.2.1 Güneşten Isı

Güneş enerjisinden faydalanmanın en basit ve ucuz yolu, güneş enerjisini suyu ısıtmada kullanmaktır. Türkiye'de kırsal nüfus gitgide azalmaktadır. Şehirlerde de genel yerleşim stili çok katlı apartmanlarda olmaktadır. Su ısıtıcı güneş panelleri çatılara yerleştirildiğinden, çok katlı apartmanların ortak kullanıma ait bu panelleri ve tesisatlarını yerleştirmek problem olmaktadır. Türkiye'nin güney sahillerindeki müstakil evlerde ise bu çeşit sistemler yaygındır.

Güneş enerjili sıcak su sistemlerinin potansiyelini hesaplamak için Ankara şehrini örnek alabiliriz. Ankara aşağı yukarı 10 kilometreye 10 kilometrelik bir kare içinde yerleşmiştir. Bu alanın çoğu binalarla kaplı da olsa yine de arada parklar, yeşil alanlar, yollar gibi donatılar vardır. Ankara'daki konut sayısı 1435000 civarındır (TUİK, 2014). Ankara'daki yerleşim genelde apartman ağırlıklıdır. Her apartmanda 10 konut olduğu varsayılırsa Ankara'da yaklaşık 143500 bina olduğu hesaplanabilir.

Bu binaların genelde olduğu gibi 2 daire üzeri ve ortalama 100 metrekare olduğu düşünülürse, her binada 200 metrekare civarı çatı alanı olduğu hesaplanabilir. Bu çatı alanının da güneye bakan kısmı yaklaşık 1/4 olarak alınırsa, her binada sıcak su panelleri için uygun 50 metrekare çatı alanı hesaplarda kullanılabilir.

$$143500 \times 50 = 7,17 \text{ km}^2$$

Ankara yaklaşık 5 milyon nüfusu ile 80 milyonluk Türkiye nüfusunun 16'da biridir. Türkiye'de toplam çatı alanı

$$7,17 \times 16 = 114,72 \text{ km}^2 \text{ çatı alanı çıkar.}$$

Sıcak su sistemleri ortalama % 50 verimle çalışırlar

$114,72 \times 1000 \times 1000 \times 0,5 \times 138$ yaklaşık 8 **GW güç potansiyeli**

Bu da yılda $8 \times 24 \times 365 = 70$ **TW** enerjiye karşılık gelir.

3.2.2 Fotovoltaik

Güneş enerjisinden elektrik üreten Fotovoltaik modüller sıcak su modüllerden çok daha yeni teknoloji ve çok daha pahalıdır. Çatı tipi Fotovoltaik panellerde elektrik üretiminin maliyetlerini günümüz şartlarında karşılayabilmesi için devlet desteği şarttır. Buna rağmen Fotovoltaik modüllerin fiyatları her sene düşmekte olduğundan yakın bir gelecekte bu üretim şekli de ekonomik olarak mümkün olabilir.

Türkiye için açık arazide güneş çiftlikleri şeklinde üretim yapmak uygun olacaktır. Bu çiftliklerde Fotovoltaik modüller kullanılabileceği gibi, daha uygun maliyetli aynalı sistemler de kullanılabilir.

Tipik güneş panelleri %10 verimle çalışmaktadırlar, yeni ve pahalı sistemlerde bu rakam % 20'ye kadar çıkabilmektedir (Mackay, 2009). Türkiye'nin alanının sadece % 2'sine % 10 verimli güneş çiftlikleri kurulabilir. Şu halde

$780000 \times 1000 \times 1000 \times 0,02 \times 0,1 \times 138 = 215$ **GW** potansiyel vardır

ve bu potansiyel ile yılda

$215 \times 24 \times 365 = 1883$ **TWh enerji** üretilebilir.

Modern rüzgâr çiftlikleri kuruldukları arazinin sadece % 1'ini işgal ederler, güneş çiftliklerinde ise yüzey tamamına yakın bir şekilde panellerle doldurulur. Yani aynı yere hem rüzgâr hem de güneş çiftliği de kurulabilir.

3.3 Biyokütle

Dünya üzerinde canlı hayatı güneş enerjisini kullanarak var olabilmektedir. Bitkiler güneş enerjisini yeşil yapraklarında kimyasal enerjiye çevirir, kullanır ve depolarlar. Fotosentez adı verilen bu çevrim aynı zamanda havadaki karbondioksit gazını da kullanır ve artık olarak da atmosfere oksijen salar. Fotosentezin ana ürünü de karbonhidratlardır. Fotosentez işlemi ile bütün dünyada her an yaklaşık 130 terawatt gücünde enerji üretilir. Bu miktar bütün insanlığın kullandığının 6 katıdır (Mackay, 2009).

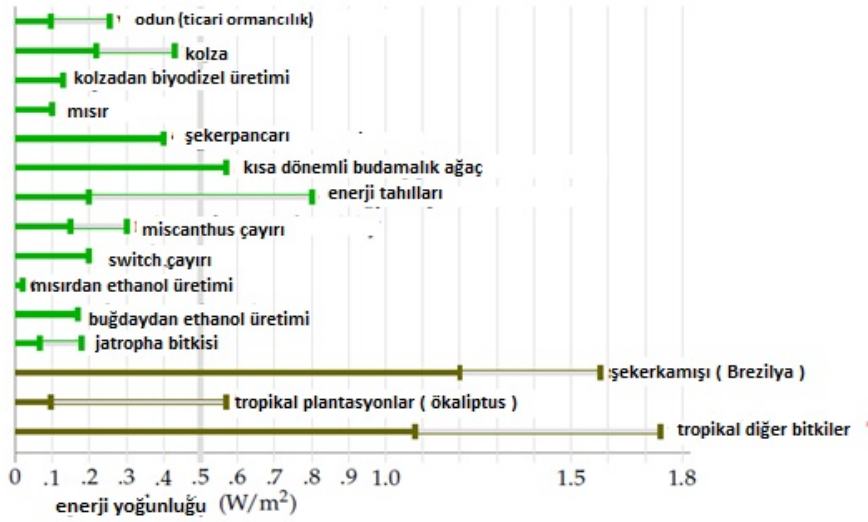
İnsanlar bitkilerde depolanmış enerjiyi öncelikle bitkileri tüketerek vücutlarında kullanırlar bunun dışında enerji amaçlı olarak bitkilerden yararlanmanın değişik yolları vardır:

- Odunsu bitkileri yakmak

- Kanola, mısır, şeker kamışı vb yağlı ve şekerli bitkiler biyoetanol, biyodizel gibi sıvı yakıtlara dönüştürülebilirler
- Saman, kamış, ev gıda artıkları gibi organik materyal yakılarak kullanılabilir veya AD gibi yüksek teknoloji işlemleri ile biyogaza çevrilebilir. (Mackay, 2009)

Her bitkiden elde edilebilecek enerji miktarı bitkinin içerdiği yağ ve şeker oranına göre farklıdır. Enerji yoğunlukları Şekil 4'te verilmektedir.

Şekil 4: Çeşitli Bitkilerdeki Enerji Yoğunlukları



Kaynak: Mackay, 2009

Şekil 4'te görülebileceği gibi tropikal bitkiler hariç tutulursa diğerlerinin enerji yoğunlukları genelde 0,5 W/m² civarlarındadır. O halde Türkiye'de üretilecek enerji bitkileri için bu rakam esas alınabilir. Bitkiden enerji üretme birçok proses içermekte bu işlemlerde hem kayıplar olmakta hem de üste enerji harcanması gerekmektedir. Şöyle ki bitkiyi yetiştirmek için traktörde harcanan mazottan, nakliyesinde ve fabrikadan harcanan enerjiler sonuçta elde edilen enerjiden düşülmelidir. Bunun yanında normal termik santralde olduğu gibi işlemler sırasında bir miktar enerji de ısı enerjisi olarak havaya karışmaktadır. Yani kanolanın içerdiği enerjinin ancak aşağı yukarı yarısı biyodizel olarak şişelenebilmektedir. (Mackay, 2009). Bu da birim enerji potansiyelini

$$0,5 \text{ W/2} = 0,25 \text{ m}^2 \text{ yapar.}$$

Türkiye'de 2011 yılında tarım yapılan alan yaklaşık 380.000 km² olmuştur. Yaklaşık 40.000 km² alan da nadasa bırakılmaktadır.(Kalkınma, 2014). Türkiye'de bu tarım arazisinin hepsi enerji bitkilerine tahsis edilemez ama bunun yanında jatropha gibi bazı enerji bitkileri

klasik tarım faaliyetlerinde kullanılmayan arazilerde de yetiştirilebilir. Hatta Hindistan'da olduğu gibi enerji bitkileri kuraklaşmış, tuzlanmış ve çölleşmekte olan alanların kurtarılmasında bile yer alabilirler.

Türkiye'de tarıma uygun olmayan arazilerde bile tarım yapılmaktadır Türkiye'nin nüfusu hızla artmaktadır fakat tarımsal verimlilik artmamaktadır. (Kalkınma, 2014). Bu şartlarda gıda tarımı yapılan alanların biyoyakıt üretimine ayrılması Türkiye için gerçekçi bir öneri olmamaktadır. Sadece yıllık nadasa bırakılan verimi düşük arazilerde enerji amaçlı tarımsal üretim yapılabilir. Bu da yılda

$$40000 \times 1000 \times 1000 \times 0,25 = \mathbf{10 \text{ GWh}}$$
 elektrik üretimi demektir.

Bu toplam üretim ise $10.000 / (24 \times 365) = \mathbf{1,14 \text{ MW}}$ kapasiteye karşılık gelir ki bu da Türkiye için çok düşük bir kapasite ve üretim değeridir.

3.4 Akarsu

Su dünyanın yerçekimi tarafından dünyanın merkezine doğru çekilen bir sıvıdır. Bu çekim suyu yüksek rakımdan alçak rakımlara doğru devamlı bir akış halinde tutar. Bu akış sırasında su bir türbinden geçirilirse, elektrik üretilmiş olur. Türbinden geçen suyun miktarı ve hızı üretilen elektriğin miktarını belirler.

Türbinden geçen suyun ürettiği elektriğin temel formülü şöyledir.

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q \times H$$

Burada,

P türbinin çıkışındaki elektriksel güç (Watt),

η türbindeki mekanik ve elektriksel verimlilik

ρ suyun özgül ağırlığı (1000 kg/m^3),

g yerçekimi (9.81 m/s^2),

Q birim zamanda türbinden geçen suyun hacimsel miktarı (m^3/s),

H türbine gelen suyun üzerindeki yükseklik basıncıdır. (m).

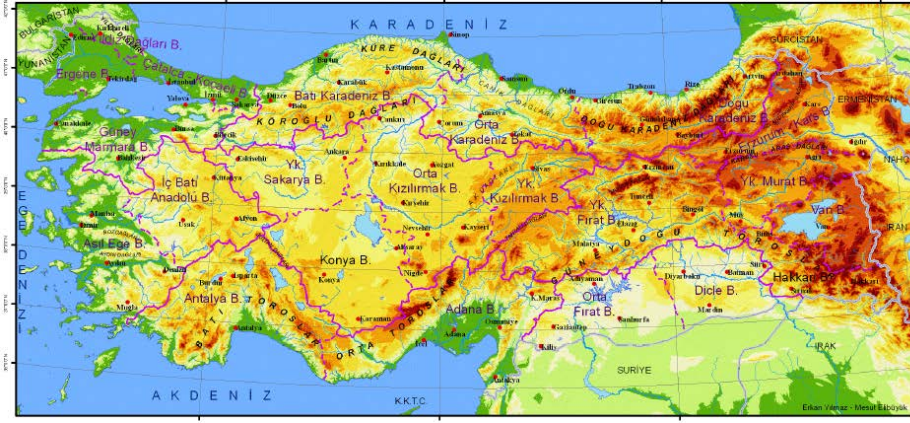
Bir bölgenin akarsu elektrik enerjisi potansiyeli bölgede akan/ suyun miktarını hesap etmekle başlar. Bu da bölgedeki yıllık yağışla ve bölgenin alanı ile orantılıdır.

$$\text{Ortalama Akış (m}^3/\text{s)} = \text{Yağış (m/yıl} \times \text{Alan (m}^2\text{)/Yıldaki saniye sayısı}$$

Bu yaklaşımı Türkiye topraklarına uyguladığımızda, Türkiye'nin ortalama yağış miktarının 643 mm olduğundan (DSİ, 2006) yıllık yağış miktarı 501 milyar m^3 olmaktadır.

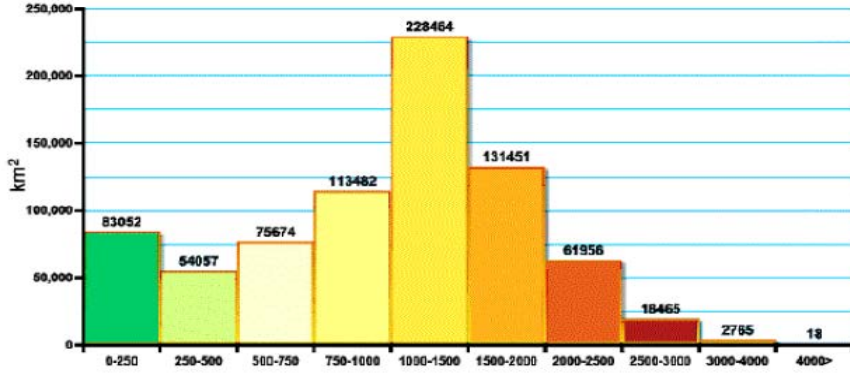
Bunun 274 milyar m³'ü buharlaşma ile kaybedilir, 69 milyar m³'ü yer altına gider ve 159 milyar m³ ü de her boyuttaki dere, çay ve nehlere karışıp akar (DSI,2006) . Şekil 5'te Türkiye'nin yükselti haritası, Şekil 6'da ise Türkiye topraklarının yükselti dağılım grafiği görülebilir. Bu şekiller Türkiye'de suyun denize kavuşmadan önce hem uzunluk hem de yükselti olarak büyük mesafeler kat ettiğini göstermektedir.

Şekil 5: Türkiye Yükselti Haritası



Kaynak: Elibüyük ve Yılmaz, 2010

Şekil 6: Türkiye Topraklarının Yükseklik Dağılımı



Kaynak: Elibüyük ve Yılmaz, 2010

Türkiye'deki nehirlerden 159 milyar m³ su aktığına göre, Türkiye'deki ortalama akış

$$\text{Akış} = 159 \times 10^9 / (60 \times 60 \times 24 \times 365) = 5040 \text{ m}^3/\text{saniye olarak hesaplanabilir,}$$

$$\text{Güç} = \text{verim} \times g \times \text{suyun yoğunluğu} \times \text{akış} \times \text{yükseklik}$$

Türkiye'nin ortalaması 1141 metre, ortalama jeneratör verimleri de % 75 olduğuna göre

$$P = 0.75 \times 9.81 \times 1000 \times 5040 \times 1141 = 42 \text{ GW}$$

güç potansiyeli mevcuttur ve yılda
 $42 \times 24 \times 365 = 368 \text{ TWh}$ elektrik enerjisi üretilebilir.

3.5 Dalga

Dalgaların kaynağı rüzgârdır. Açık denizde rüzgârın hızı 0,5 m/sn geçtiğinde dalga oluşmaya başlar (Mackay, 2009: 73).

Dalgadaki enerji

$$P = \rho \times g \times H^2 \times C_g \div 8$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır Uygur vd. (2006: 11)

burada

ρ : Deniz suyu yoğunluğu (1025 kg/m³),

g : Yerçekimi ivmesi (9.81m/sn²),

C_g : Dalga hızı (m/sn),

H : Ortalama dalga yüksekliği (m),

P : Güç (kW),

İngiltere'nin Atlantik kıyılarında dalga enerjisinin gücü ölçülmüş ve ortalama 40 KW/m bulunmuştur (Mackay, 2009: 74). Uygur vd. ise (2006: 12) Akçakoca rasathanesinin 1996-2000 yılları arasında yaptığı dalga yüksekliği ölçümlerine dayanarak Akçakoca yöresinin dalga enerjisi potansiyelini hesaplamışlardır. Yapılan hesaplar 6-28 KW/m arasında değişen dalga enerjisi potansiyelini ortaya çıkarmıştır. Karadeniz'in Türkiye kıyılarının en dalgalı deniz olduğu da belirtilmiştir. Türkiye'nin ortalama dalga enerjisi potansiyeli Karadeniz ölçümlerinden düşük olmalıdır. Türkiye kıyıları için ortalama değer 10 KW/m olarak alınabilir.

Türkiye'nin 8372 km kıyı şeridi vardır. Bütün kıyı şeridine dalga enerjisi tesisi kurmak mümkün olmayacağından Türkiye kıyılarının sadece % 25'sinin müsait olduğu varsayılabilir. Dalga enerjisinin tümünü elektrik enerjisine çevirmek mümkün değildir, mekanik ve elektriksel kayıplar kaçınılmazdır. Günümüzde dalga enerjisinden elektrik

üretim sistemlerinin verimi % 50'yi aşamamıştır (Mackay, 2009). Hesaplanma için % 50 verim esas alınırsa Türkiye'de

$10 \times 1000 \times 8732 \times 1000 \times 0,25 \times 0,5 = 11 \text{ GW}$ güç kapasitesi olduğu ve bu kapasite ile $11 \times 24 \times 365 =$ yaklaşık **96 TWh** yıllık elektrik enerjisi üretilebileceği görülür.

3.6 Deniz Akıntıları ve Gelgitler

Türkiye kıyılarında fark edilecek düzeyde gelgit oluşmaz dolayısıyla gelgitlerden elektrik üretim kapasitesi yoktur fakat Türkiye denizlerinde ve boğazlarında azımsanmayacak deniz akıntıları mevcuttur.

İstanbul boğazı ortalama 60 metre derinliğinde olup en derin yeri 100 metredir. Boğazın uzunluğu 30 km, ortalama genişliği de 1500 metredir. Çanakkale boğazının en derin yeri 167 metre, ortalama derinliği 65 metre, uzunluğu 30 km ve ortalama genişliği de 3000 metredir.

Böylece İstanbul boğazının alanı $30 \times 1,5 = 45 \text{ km}^2$

Çanakkale boğazının alanı da $60 \times 3 = 180 \text{ km}^2$ olur.

Akdeniz çok tuzlu ve sıcak bir denizdir, Karadeniz'e ise Tuna, Dinyeper, Dinyester, Don, Kuban gibi birçok büyük nehir dökülür ve bu nehirler denize büyük miktarlarda tatlı su taşıyarak denizin tuzluluk oranını düşürürler. İstanbul ve Çanakkale boğazları bu iki denizi birleştirdikleri için yüksek hızlı akıntılar barındırırlar.

Boğazlarda temel olarak iki akıntı katmanı bulunur. Üstte bulunan ve Akdeniz'e doğru akan katmanın hızı ortalama 1m/s olarak ölçülmüştür. Bu akıntı ile boşalan suyun yerine de alt katmanda ters yönlü bir akıntı vardır ve bu akıntının hızı da ortalama olarak 0,5 m/s olarak ölçülmüştür (Yüksel, 2007). Bu iki temel akıntı sisteminin dışında birçok küçük akıntı ve girdaplar da boğaz sularında yer almaktadır. Çanakkale Boğazında ise pilot proje olarak elektrik üretimine başlanmıştır. Çanakkale boğazında da İstanbul boğazındaki gibi iki akıntı mevcut olup üretici şirket üst akıntı hızını 1-1,5 m/s olarak vermektedir. (Anonim, 2014)

Su akışında elektrik üretme mantığı temel olarak rüzgâr türbinlerinde elektrik üretme mantığıyla aynıdır ve akışkan dinamiğine dayanır. Benzer formüller ve pervane tasarımları kullanılabilir fakat suyun yoğunluğu havadan 1000 kez fazla olduğu için aynı hızla akan havaya göre sudan 1000 kat fazla elektrik üretilebilir.

Mackay (2009) su akışlarındaki güç potansiyellerini aşağıdaki Çizelge 1'de vermektedir.

Çizelge 1: Deniz Akıntılarındaki Güç potansiyeli

(m/s)	<i>U</i> (knots)	tide farm power (W/m ²)
0.5	1	1
1	2	8
2	4	60
3	6	200
4	8	500
5	10	1000

Kaynak: Mackay, 2009: 84

Türkiye'nin 2 boğazının toplam alanı yukarıda 180 km² olarak hesaplanmıştı. Enerji üretimi günümüz teknolojisinde sadece üst akıntı katmanında yapılmaktadır (Anonim, 2014). Üst katmandaki akıntı hızları her iki boğaz içinde yukarıda açıklandığı gibi 1m/s olarak alındığında Türk boğazlarındaki potansiyel

$$P= 180 \times 1000 \times 1000 \times 8 = \text{yaklaşık } \mathbf{1 \text{ GW}}$$
 olarak karşımıza çıkar

Bu güç potansiyeli ile de yıllık $1 \times 24 \times 365$ yaklaşık **9 TWh** enerji üretilebilir.

3.7 Jeotermal

Jeotermal kaynaklardan enerji üretimi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanımda en istikrarlısıdır. Rüzgâr hızı, hava durumu gibi dış etkenler üretimi etkilemez, üretim her halde ve her zaman beklenen düzeyde gerçekleşir.

Türkiye'de 186 jeotermal alan tespit edilmiş ve ekonomik olarak da işletilebilir bulunmuştur. Bunun yanında da 1500 civarı mevcut sıcak su kaynağı vardır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli 31,5 GW olarak verilmiştir (Çapık vd., 2012).

Jeotermal kaynaklarla ilgili diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında yapıldığı gibi alan hesabına dayalı bir potansiyel hesabı yapılamaz. Türkiye genel olarak jeotermal olarak şanslı bir bölgede yer almakla birlikte, her metrekaresinde bu kadar bir potansiyel vardır denilemez. Mevcut kaynaklarının "ölçülmüş" potansiyeline bağlı kalınarak potansiyel 31,5 GW olarak alınacaktır. Bu kapasite ile de yıllık

$31,5 \times 24 \times 365 = \mathbf{276 \text{ TWh}}$ enerji üretimine denk gelmektedir.

4. Tartışma

Bütün hesaplar bir araya getirildiğinde, Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve bu potansiyelle üretilebilecek yıllık enerji miktarı Çizelge 2'de gösterilmektedir

Çizelge 2: Türkiye'nin Hesaplanan Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Üretilebilecek Enerji Miktarı

	Kapasite	Üretilebilecek enerji / yıl
	GW	TWh
Rüzgâr	182	1595
Güneşten ısı	8	70
Güneş-PV	215	1883
Biyokütle	1,14	10
Akarsu	42	368
Dalga	11	96
Deniz Akıntıları	1	9
Jeotermal	31,5	276
Toplam	491,64	4307

Türkiye'nin enerji tüketimi resmi rakamlara göre 80 milyar toe'dur (ETKB, 2014) . Bu rakam yaklaşık 930 TWh elektrik enerjisine eşittir. Bu çalışmada 4307 TWh enerji üretiminin mümkün olduğu hesaplandığına göre Türkiye'nin nükleere yönelmeden, doğayı ve çevreyi yağmalamadan bütün enerji ihtiyacını ve hatta fazlasını yenilenebilir kaynaklardan karşılamasının mümkün olduğu açıkça görülmektedir.

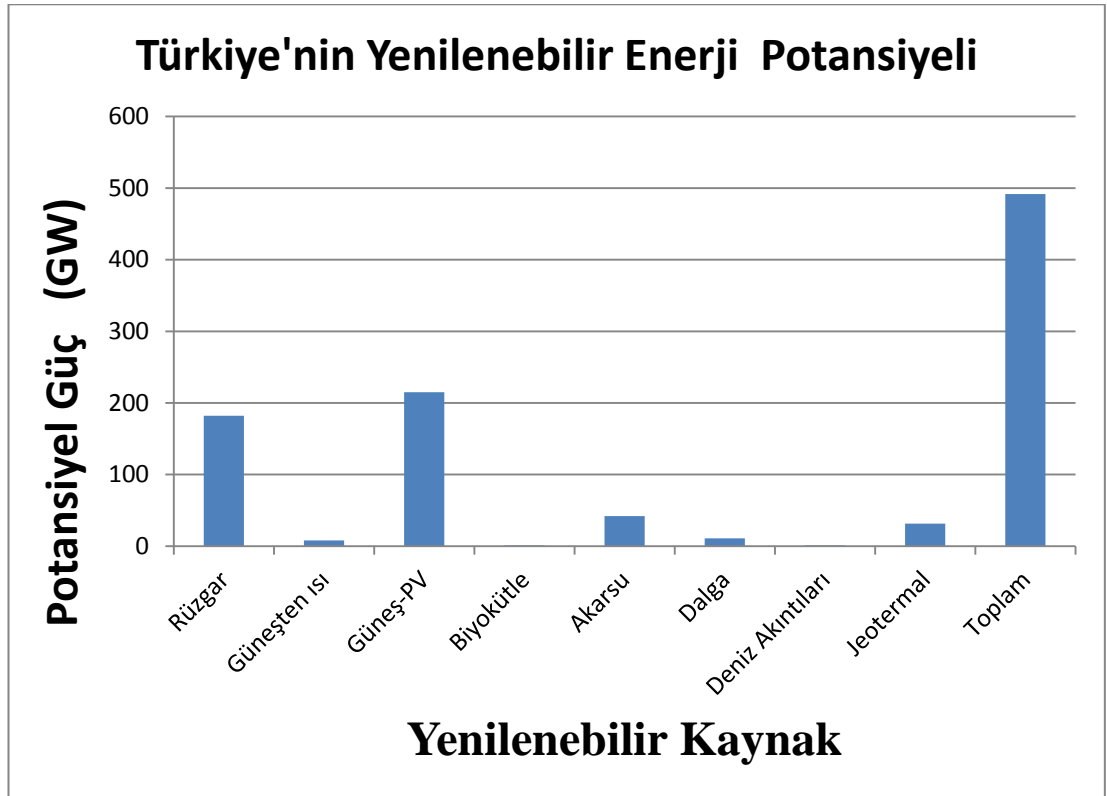
Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimine yönelmesi ekonomik açıdan da büyük fayda sağlayacaktır. Türkiye'nin ithal petrol ve doğalgaza bağımlılığı azalacak ve dış ödemeler açığı kapanacaktır.

Yenilenebilir enerji üretimleri dağınık ve küçük üretimlerdir, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kullanımına ağırlık vermesi, kırsal bölgelerde iş imkânları yaratacak ve ekonomiyi canlandıracaktır.

5. Sonuç

Bu çalışmada Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli araştırılmıştır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli Mackay (2009)'ın yöntemi ile rüzgâr, su, güneş vd kaynaklara göre ayrı ayrı hesaplanarak, Türkiye'nin enerji ihtiyaçlarını kendi yerel ve yenilenebilir kaynaklarından karşılayıp karşılayamayacağı sorusuna yanıt aranmıştır. Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklara göre enerji potansiyeli karşılaştırmalı olarak Şekil 7'de verilmektedir.

Şekil 7: Türkiye'nin Hesaplanan Yenilenebilir Enerji Potansiyeli



Bu hesaplamalardan birkaç sonuç açıkça ortaya konulmuştur. Birinci sonuç Türkiye'de hatırı sayılır rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli mevcuttur. Türkiye yeni ve yenilikçi enerji uygulamalarıyla, Avrupa Birliği 'temiz kalkınma prensipleri ve 'su çerçeve direktifleri' çerçevesinde ihtiyacı olan bütün enerjiyi ve hatta daha fazlasını kendi yerel ve yenilenebilir kaynaklarından sağlayabilir. Termik santrallerin linyit kömürü ihtiyacı için yapılan ve insan hayatını hiçe sayan madencilğe ve nükleer santral inşaatlarına gerek kalmaz.

İkinci önemli sonuçta Türkiye'nin akarsu kaynaklarının enerji potansiyeli rüzgâr potansiyelinin dörtte biri, güneş potansiyelinin ise beşte biri kadardır. Yani Türkiye aslında

barajlar ve hidroelektrik santrallerle derelerini, nehirlerini ve bunlarla beraber o yörelerdeki insan hayatlarını ve doğal çevreyi boşuna yok etmektedir. Türkiye enerji ihtiyacı için güneşe ve rüzgâra yönelmeli, nehirleri ve nehir ekolojilerini rahat bırakmalıdır.

KAYNAKLAR

Anonim (2014), Projeler. <http://www.maviidaenerji.com/projeler.html>

BP -British Petroleum (2011), Statistical Review of World Energy, Londra.

Coğrafya (2014), Fiziki Coğrafya Haritası, www.coğrafya.gen.tr

Çapık M., Yılmaz A. O., Cavusoglu I., (2012), Present situation and potential role of renewable energy in Turkey, Renewable Energy (46) 1-13

DSİ -Devlet Su İşleri, (2006), Aktivite Raporu 2006. Devlet Su İşleri Ankara

Elibuyuk M.,Yılmaz E. (2010), Türkiye'nin Coğrafi Bölge ve Bölümlerine Göre Yükselti Basamakları ve Eğim Grupları. Coğrafi Bilimler Dergisi CBD 8 (1) 27-55

ETKB -Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2012), Rüzgar Enerjisinde Politika ve Yasal Durum: Türkiye'de Rüzgar Enerjisinde Durum Çalıştayı, Ankara,

İlkılıç, C. (2011), Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews (16) 1165– 1173

JRC -Joint Research Center, (2014), Solar Maps, Brüksel

Kalkınma- T.C. Kalınma Bakanlığı (2014), Kalkınma Bakanlığı tarım Arazilerinin Sürdürülebilir Kullanımı çalışma Grubu Raporu. Ankara 2014

MacKay D. JC., (2009), Sustainable Energy - Without The Hot Air. UIT, Cambridge.

TÜİK (2014), TÜİK 2014 Haber Bülteni.

Uygur İ., Demirci R., Saruhan H., Özkan A. Ve Belenli İ. (2006), Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması. Pamukkale Üniveristesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (1) 7-13.

Vestas (2014), Vestas Wind Power. Kopenhag

Yanar R., Kerimoglu G., (2011), Turkiye’de Enerji Tuketimi, Ekonomik Buyume Ve Cari Açık İlişkisi. Ekonomi Bilimleri Dergisi, 3 (2) 45-54

Yüksel Y., (2007), İstanbul Boğazında Akıntı İklim Çalışması, 6 th Milli Kıyı Mühendisliği Kongresi İstanbul, 2007