

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Toplam Enerji Arzı İçerisindeki Payı: Türkiye İncelemesi¹

İrem Yalkı²

Özet

Enerji, tüm sektörlerin vazgeçilmez girdisi olduğu için gelişen teknoloji, artan nüfus ve yükselen hayat standartlarının da etkisiyle enerji talebi her geçen gün artış göstermekte ve yurt içi kaynakları hızla artan bu talebi karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Günümüzde, enerji talebinin karşılanmasında hala fosil yakıtlar hakimdir. Ayrıca, Dünya'nın öncelikli problemi olan iklim değişikliğinin birinci sebebinin fosil yakıtlar olması nedeniyle de ülke politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada Türkiye'nin enerji kaynaklarının dağılımı analiz edilerek yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzı içerisindeki payı betimsel analiz yöntemi ile incelenmiştir. Bu analizin sonuçlarına göre, yıllar itibarıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarında artış söz konusu olsa da aynı zamanda artan toplam enerji arzı dolayısıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzı içerisindeki payında önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. 1990 yılında %18,75 olan yenilenebilir enerji arzı payı, 2021 yılında %16,21 seviyesinde gerçekleşmiştir. Fosil enerji kaynaklarının payının ise, ortalama olarak %85,9 ile Türkiye'nin enerji arzında hakim olan konumunu korumaktadır. 1990 yılında %45,44 ile en büyük paya sahip petrolün yerini 2021 yılında %31,01 ile doğalgaza bırakması dikkat çekmektedir. Aynı şekilde, biyoyakıt ve atık enerji kaynaklarının %13,99 olan değeri %2,74'e düşerek yerini güneş ve rüzgar enerjisine bırakmıştır. Fosil yakıtlar ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi kaynakları arasında gerçekleşen bu geçiş dolayısıyla, Türkiye'nin enerji arzındaki yenilenebilir enerjinin payının değişmediği görülmektedir.

- 1 Bu çalışma, yazarın İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı Doktora tezinden üretilmiştir.
- 2 Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Okan Üniversitesi, İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Uluslararası Ticaret Bölümü, irem.yalki@okan.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-5226-8899

1. Giriş

Enerji, ekonominin en önemli girdisi ve ülkelerin politikalarını etkileyen öncelikli bir unsur olması nedeniyle dünyanın ekonomik, sosyal ve siyasi düzenini belirlemedeki en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Enerji, ekonomik gelişmenin önemli bir göstergesi olmakla birlikte insan faaliyetlerinin en temel gereksinimidir. Günlük yaşamın her alanında bireyin karşısına çıkan enerji, ayrıca sanayi, üretim ve ticari alanların da vazgeçilmez girdisidir. Ekonominin temel kuralı olan her kaynağın sınırlı olduğu ve bir gün tükeneceği kuramı, enerji söz konusu olduğunda ayrı bir önem arz etmektedir. Bu durumun en temel sebebi enerjinin tüm sektörlerin başlıca girdisi olması ve günümüzde enerji olmadan hayatı devam ettirmenin imkansız olmasıdır. Dolayısıyla enerji, tüm ülkelerin politikalarında öncelikli olarak yer verdikleri bir konudur. Gelişen teknoloji, artan nüfus ve yükselen yaşam standartları gibi sebeplerle enerji ihtiyacı giderek artış göstermekte ve bu talebi karşılamak için günümüzde hala fosil yakıtlar hakim olarak kullanılmaktadır. Ancak fosil yakıtların rezervleri sınırlı olmakla birlikte coğrafi açıdan eşit dağılmadıkları için ülkeler arasında enerji kaynağına sahip olma bakımından orantısız bir dağılım söz konusudur. Fosil yakıtların rezervlerinin bir gün tükeneceği gerçeği ile birlikte yeni enerji kaynakları arayışına yönelmek zorunda kalmışlardır. Enerji kaynakları, rezervlerinin sonlu olup olmamasına göre yenilenemez (tükenbilir) ve yenilenebilir (tükenmez) kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Yenilenemez kaynaklar, fosil yakıtlar ile nükleer enerji üretimde kullanılan uranyum, toryum gibi gelecekte tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalacak kaynakları ifade etmektedir. Yenilenebilir kaynaklar ise; güneş, rüzgar, jeotermal, hidro, okyanus, gel-git ve biyoenerji gibi doğada var olan ve yenilenme hızı, tüketim hızından daha yüksek olan enerji kaynaklarıdır. Günümüzde fosil yakıtlar yaygın olarak kullanılmakta ve söz konusu kaynakların ülkeler arasında eşit dağılmaması sebebiyle her ülke kendi potansiyeli dahilinde alternatif enerji kaynakları arayışı içerisinde. Ülkelerin fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmaya yönelik politikalarının bir önemli nedeni de çevreye olan bilincin artmasından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı sonucunda ortaya çıkan karbondioksit (CO₂) salınımının küresel ısınmaya yol açan en büyük faktör olması nedeniyle söz konusu yakıtların yerine çevreye zarar vermeyen alternatif enerji kaynakları kullanılması gerekmektedir. Bu noktada yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır (Şahin, 2021; Simsek & Simsek, 2013). Bu sebeple, bu çalışmada Türkiye'nin yenilenebilir enerji arz kaynaklarının toplam enerji arzı içerisindeki payı betimsel analiz yöntemi ile incelenmektedir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, Türkiye'nin toplam enerji arzında egemen olan fosil yakıtların, yenilenebilir enerji arzı artsa da

hala hakimiyetini koruduğu görülmektedir. Enerji talebinde meydana gelen hızlı artışı karşılamakta yenilenebilir enerjide meydana gelen artış yetersiz kalmış ve fosil kaynakların arzında bir azalma gerçekleşmemiştir.

Çalışmanın akışı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde, enerji kaynaklarının genel çerçevesine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde literatür kısmı ve dördüncü bölümde enerji arzı ve talebi kavramları açıklanmıştır. Beşinci bölümde, Türkiye'nin enerji kaynakları detaylı olarak ele alınmıştır. Altıncı ve son bölümde ise çalışmanın sonucuna yer verilmiştir.

2. Enerji Kaynaklarının Genel Çerçevesi

Endüstri Devrimi ile birlikte enerji kavramı ön plana çıkmış ve günümüzde de çeşitli boyutları ve etki alanları ile bilimsel açıdan tartışılmaktadır. Bu sebeple, enerjiden bahsederken, kavramın neyi ifade ettiğini tam anlamıyla bilmek önem arz etmektedir. Kelime olarak “enerji”nin İngilizce dilinde ilk ortaya çıktığı on altıncı yüzyılda bilimsel hiçbir anlamı bulunmamaktaydı. Aristo tarafından kullanılan Yunan kökenli kelime, güçlü veya hareketli anlamlarında kullanılmaktaydı. Enerji kavramının modern anlamda kullanılmaya başlaması başka bir deyişle, bilim adamları tarafından geliştirilerek; ısı transferi, cisimlerin hareketleri, makinelerin işleyişleri ve elektrik akışı gibi gözlemleri tanımlamak ve karşılaştırmak amacıyla kullanılması 1800'lü yılların başından daha öncesine dayanmamaktadır. Günümüzde standart bilimsel tanım olarak enerji, iş yapabilme kapasitesi, diğer bir ifade ile, bir direnç kuvveti karşısında bir nesneyi hareket ettirebilmektir (Peake vd., 2012). Kuvvet ne zaman bir cismi hareket ettirse, bu durum, enerji sağlamasını gerektirmektedir. Enerji birimi joule, bir newtonluk bir kuvvetin, bir cismi bir metrelik mesafe boyunca hareket etmesine sebep olması neticesinde temin edilen enerji olarak tanımlanır (Alexander & Boyle, 2004). “Güç” ve “enerji” terimleri yakından bağlantılıdır ve bu sebeple genellikle karıştırılıp birbirleri yerine yanlış olarak kullanılmaktadırlar. Enerji, iş yapabilme kabiliyetidir. Birimi W (watt) olan güç ise, belirli bir işi yapmanın hızını ifade etmektedir (Quaschnig, 2010).

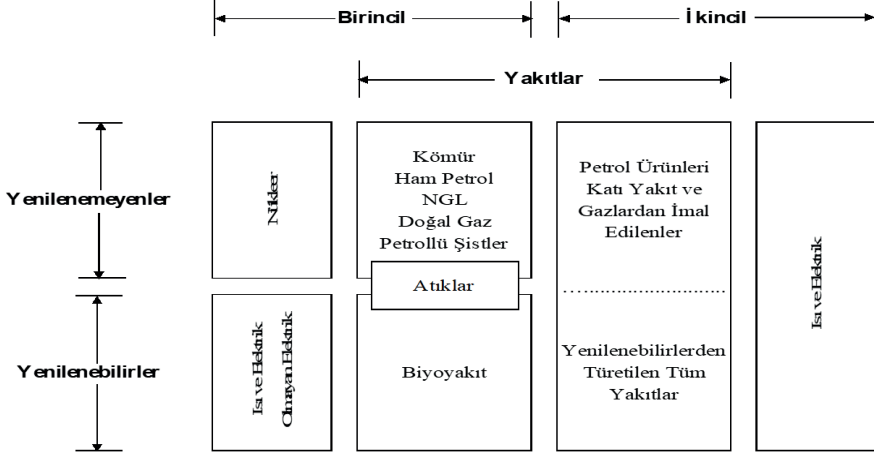
Yukarıda, enerji kelimesini kullanırken ortaya çıkabilecek anlam karmaşasını önlemek amacıyla genel olarak enerji nedir sorusunun açıklaması yapılmıştır. Bu bölümün alt başlıklarında ise, enerji ürünlerinin dönüştürülebilir ve enerji kaynaklarının tükenebilir olup olmamasına göre yapılan sınıflandırmalar yer almaktadır.

2.1. Enerji Ürünleri

Enerji ürünleri, dönüştürülebilirlik durumuna göre, birincil enerji ürünleri ve ikincil enerji ürünleri olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

Birincil ve ikincil enerji kaynaklarının sınıflandırılmasına detaylı olarak Şekil 1'de yer verilmiştir.

Şekil 1. Enerji Ürünleri İçin Terminoloji



Kaynak: OECD (2004).

2.1.1. Birincil Enerji Ürünleri

Birincil kelimesi en eski veya orijinal anlamına gelmektedir ve dış etkenlerden müdahaleye uğramamış dolayısıyla hiçbir değişimin söz konusu olmadığı enerji türüdür. Tüm birincil enerji kaynaklarının ortak özelliği doğal enerji depoları veya enerji taşıyıcılarından meydana gelmeleridir. Fosil yakıtlar (kömür, petrol ve doğal gaz), bir zamanlar çevrelerinde onları yakıt haline dönüştürecek karbonu kullanan bitki veya küçük canlılardan meydana gelmektedir. Günümüzde biyokütle kaynakları (odun, ot, tohum, vb.) da aynı süreçten geçmektedir. Rüzgar, dalga ve tabii ki güneş enerji kaynakları, enerjilerini daha direk olarak yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarından alırken; gel git enerjisi, eşsiz olarak, enerjisini ayın bağlı hareketi ile yeryüzünden elde etmektedir. Jeotermal ve nükleer enerji kaynakları ise, aslında milyarlarca yıl öncesinden beri kullandıkları enerji kaynaklarını depolamışlardır (Ramage, 2012a; Koç vd., 2018). Doğrudan doğal kaynaklardan çıkarılan veya meydana gelen enerji kaynakları birincil enerji ürünleridir. Birincil enerji ürünlerini, fosil kökenli yakıtlar ve yenilenebilir enerji ürünleri olarak da ikiye ayırmak mümkündür (OECD, 2004).

2.1.2. İkincil Enerji Ürünleri

Birincil enerji ürünlerinden üretilen enerji ürünleri, ikincil enerji ürünleri olarak ifade edilmektedir. İkincil enerji, birincil veya ikincil enerjinin dönüştürülmesi sonucunda ortaya çıkan enerji ürünleridir (OECD, 2004).

2.2. Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları yenilenemez (tükenebilir) enerji kaynakları, yenilenebilir (tükenmez) enerji kaynakları ve nükleer enerji olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.

2.2.1. Yenilenemez (Tükenebilir) Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları, aynı zamanda yaygın olarak literatürde fosil enerji kaynakları olarak da yer almaktadır. Fosil enerji kaynakları, kömür, petrol ve doğal gaz olmak üzere üç enerji kaynağından oluşmaktadır.

Kömür, yeryüzünde en fazla bulunan ve en eski fosil yakıt türüdür. Jeolojik olarak bazı kömür yataklarının yeryüzünde 400 milyon yılı aşkın süredir bulunduğu bilinmektedir (Merritt, 1986). Kömür, uygun ortam ve şartlarda, bitki kalıntılarının zaman içerisinde kimyasal ve fiziksel etkiler ile değişimi sonucu oluşmaktadır (Thomas, 2002). Kömür yataklarının oluşumunda dikkate alınması gereken birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler, sadece aktif turba birikimlerinde meydana gelen kimyasal ve biyolojik süreçleri içermeyip aynı zamanda iklim, deniz seviyesine göre konum ve yerel jeolojik ortam gibi turbanın şekil ve formunu dolayısıyla kömür yataklarının yapısını da güçlü bir biçimde etkileyen önemli faktörleri de kapsamaktadır (Warwick, 2005). Kömür, organik olarak ağırlıklı olarak karbon, hidrojen ve oksijen ile daha az miktarda kükürt ve nitrojenden oluşmaktadır. Kömürü oluşturan inorganik maddeler ise, çeşitli oranlarda kül oluşturan bileşenleri içermektedir. Bitki kalıntılarını kömüre dönüştüren jeokimyasal sürece kömürleşme denir (Miller, 2005). Kömürleşme sürecinde ortaya çıkan maddeler; çürüyen bitkiler, turba, linyit, bitümlü kömürler, semi antrasit, antrasit ve meta antrasit olarak sıralanmaktadır. Kömür oluşum süreci ile kömürün özellikleri arasında yakın bir bağlantı söz konusudur. Kömürün özellikleri içsel ve dışsal özellikler olarak iki sınıfa ayrılabilir. Dışsal özellikler, kömürleşme sürecinde, kömürün hangi sınıfta yer alacağını belirleyen özelliklerdir. İçsel özellikler ise, organik maddenin kendi özellikleri tarafından belirlenmektedir. Kömürün türü (petrografik bileşimi) ve rankı (kömürleşme derecesi) içsel özellikleri oluşturmaktadır (Krevelen, 1993).

Petrol kelimesi Latince kaya anlamına gelen 'rock' ve yağ anlamına gelen 'oleum' sözcüklerinden türetilmiştir. Bu durumda petrol, kayada bulunan

yağ olarak da tanımlanabilmektedir. Genel olarak petrol terimi, yer kürede bulunan çok sayıda gaz ve likit hidrokarbonları belirtmek için kullanılmaktadır. Rafine edilmiş ürünlerden ayırt edilebilmesi için genellikle sıvı petrol için ham petrol, gaz petrol için ise doğal gaz terimleri kullanılmaktadır (Giuliano, 1989).

Doğal gaz, hayvan ve bitki kalıntılarının (organik enkazların) milyonlarca yıl boyunca çürümesi sonucunda meydana gelmektedir. Zaman içerisinde, organik enkazı kaplayan çamur ve toprak kayaya dönüşür ve söz konusu enkaz, bu yeni şekillenmiş olan kaya tortusu altında hapsedilir. Hapsedilmiş olan organik enkaz, basınç ve ısı değişimi ile birlikte kimyasının değişmesi sonucunda kömüre, petrole veya doğal gaza dönüşmektedir. Organik enkazın hangi fosil yakıtı dönüşeceği, enkazın doğasına ve bulunduğu yerin şartlarına bağlı olmaktadır (Speight, 2007). Renksiz, kokusuz ve havadan daha hafif bir gaz olan doğal gaz metan içeriği baskın olan gazların karışımından oluşmaktadır (Fredericks, 2006). Fosil enerji kaynakları arasında, nihai kullanım sonucunda en düşük karbondioksit emisyonuna sahip olmasından dolayı, doğal gaz en temiz fosil kaynaktır (Verfondern, 2008).

2.2.2. Nükleer Enerji

Nükleer enerjinin ortaya çıkması ve geliştirilmesi diğer enerji türlerine göre çok daha uzun zaman almış ve bir sürü aşama sonucunda nükleer enerjiden faydalanılmaya başlanmıştır. Nükleer enerjiyi kullanabilmek için, diğer tüm enerji türlerinin oluşumundan farklı bir kimyasal tepkime süreci söz konusu olmaktadır. Nükleer enerji, elektrik üretmek amacıyla 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır (Yarman, 2009). Nükleer santrallerde serbest kalan büyük miktardaki enerjinin kaynağını atom çekirdekleri oluşturmaktadır. Nükleer fizyon sonucunda atom çekirdeği parçalanarak yeni iki izotop oluşmasının yanı sıra iki veya üç nötron serbest kalmaktadır. Bu bölünme sürecinde çok büyük bir enerji açığa çıkmaktadır (Suppes & Storvick, 2007). Uranyum, nükleer reaktörlerin yakıtı için temel bileşen olmakla birlikte uranyumun yakıt çubukları içine yerleştirilmesi için ne şekilde işlem göreceği kullanılacak olan reaktör tipine de bağlı bulunmaktadır. Nükleer enerjinin oluşumu için kullanılan yakıt türü diğer yakıt türlerine benzememekte, birim başına fosil yakıtlardan daha fazla enerji üretmektedir (Tabak, 2009). Nükleer enerji üretiminde uranyum dışındaki diğer önemli izotoplar plütonyum ve toryumdur (Tombakoğlu, 2012). Nükleer santrallerde kullanılan yakıt da aslında fosil yakıtlar gibi sonludur. Bu sebeple nükleer yakıtların içinde üretim sürecinde ortaya çıkan yanmamış plütonyum sıyrılarak (reprocessing) kazanılmalı ve kurulacak olan plütonyum reaktörlerinde tekrar yakıt olarak kullanıldığı takdirde klasik kaynak yetmezliği sorunu söz konusu

olmayacaktır. Ancak hızlı üretken reaktörlerinin sahip olduğu teknolojinin çok üst ve karmaşık olması dolayısıyla pek fazla kullanılamamaktadır (Yarman, 2011). Nükleer enerjideki en önemli sorun ise enerji üretim süreci tamamlandıktan sonra ortaya çıkan nükleer atıkların ne şekilde zararsız hale getirileceğidir. Nükleer santrallerin işletim sürecinde hiçbir sorun olmasa bile enerji üretimi sonucunda ortaya çıkacak atıklar önemli bir sorun teşkil etmektedir (Bodansky, 2004).

2.2.3. Yenilenebilir (Tükenmez) Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları “doğanın kendi döngüsü içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı” olarak tanımlanabilmektedir (Kum, 2009). Yenilenebilir kaynaklar, zaman içerisinde, doğal süreç gereği, kendilerini yenilemekte dolayısıyla tükenmeyen enerji kaynakları olarak da adlandırılabilir. Her ne kadar söz konusu kaynaklar fosil kaynakların tersine, tükenmeyecek olsalar da bu kaynakların kullanılmasında geçen süre ile doğanın kendilerini tekrar yerine getirebilmesi için geçen süre arasındaki hızın korunması gerekmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları, dünya üzerinde tekrar oluşmalar da bu oluşum milyonlarca yıl sürmektedir (Maczulak, 2010). Dolayısıyla, yenilenebilir enerji, doğal süreçler ile elde edilen (güneş ve rüzgar gibi) enerjinin, tüketilme hızından daha hızlı bir şekilde tekrar yerine gelmesi şeklinde tanımlanabilmektedir (IEA, 2010).

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi füzyon sürecinde ortaya çıkan ışınım enerjisidir. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşmaktadır. Bu ışınların %30 civarı dünya atmosferinden geriye yansıtılırken %20'si de atmosfer ve bulutlar tarafından tutulmaktadır. Dünyaya ulaşan bu enerji sayesinde dünyanın ısısı yükselerek yeryüzünde yaşama ortamı sağlanmaktadır. Güneş ışınimleri, diğer enerji kaynaklarının oluşmasına da değişik faktörler aracılığıyla yardımcı olmaktadır (WEC, 2009). 1891 yılında metal üreticisi Clarence M. Kemp, termal güneş sistemleri ile ilgili dünyadaki ilk patenti almıştır. Bu sistem, suyu ısıtmak için çok basit bir depolama sisteminden ibaretti. 1909 yılında Kaliforniyalı William J. Bailey, güneş ısı kolektörlerini, su depolama silindirlerinden ayıran bir optimal sistem kavramını ortaya çıkardı. Güneş ısıtma sistemleri, bazı bölgelerde İkinci Dünya Savaşı'na kadar başarıyla pazarlanmıştır. Daha sonra ise fosil yakıtlarda ortaya çıkan rekabet dolayısıyla bu sisteme olan ilgi çöküş dönemine girmiştir. 1970 yıllarındaki petrol krizlerinden sonra termal güneş enerji sistemlerine olan ilgi tekrar ortaya çıkmıştır. Takip eden yıllarda hala sistemlerle ilgili birtakım sorunlar söz konusuydu. Günümüzde çeşitli sistem değişkenli mevcut olmakla birlikte bu sistemler geçmişteki sistemlerden çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir (Quaschnig, 2010). Güneş enerjisinden

yararlanmak için günümüzde en yaygın kullanılan teknolojiler, fotovoltaik ve konsantre termal güneş enerjisi sistemleridir (Angelis-Dimakis vd., 2011). Ayrıca, konsantre güneş termal sistemlerinde üretilen yüksek ısı, birleşik üretim amacıyla ısı ve buhar sağlamak için kullanılabilir. Ancak, konsantre güneş termal sistemlerinin belirgin bulut örtüsünün bulunduğu bölgelerde kullanımı sınırlı olmakla birlikte direkt yalıtım gerektirmektedir. Konsantre ışın üretmek için ana yöntemler daha çok güneş çanağı, güneş enerjisi kulesi ve parabolik çanaklardır. Günümüzde yeni nesil yöntem güneş enerjisinin verimli dönüşümünü sağlayan gelişmiş malzemelere dayalı modüler teknoloji yüksek sıcaklıklarda üretme kapasitesine sahiptir (Omer, 2011). Güneş pilleri birbirlerine hermetik olarak kapatılarak bir fotovoltaik modül oluşturmaktadırlar. Bu fotovoltaik modüller, depolama pili gibi diğer bileşenler ile entegre olarak güneş fotovoltaik sistemlerini oluştururlar. Güneş fotovoltaik teknolojisi, yarı iletken cihazlar olan güneş pillerinden faydalanarak güneş ışınlarının direkt elektriğe dönüşümünü sağlamaktadır (Varun vd., 2009).

Rüzgar, dünyanın yüzeyinde hareket eden havadır. İki bitişik bölge arasındaki basınç farkı, rüzgarın oluşumuna neden olmaktadır (Chiras vd., 2009). Rüzgarların neredeyse tamamı, güneşten gelen ışınların yeryüzündeki farklı özelliklere sahip olan yüzeylere farklı değerlerde etki etmesiyle ortaya çıkmaktadır. Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesi sonucunda rüzgarların yönlerinde de sapma meydana gelmektedir. Sıcak havanın yükselerek atmosferde dolaşması ve soğuk bölgelere doğru hareket etmesi sonucunda oluşan havanın bu büyük ölçekli hareketi, dünyanın rotası nedeniyle, koriyolis kuvvetinden etkilenmektedir. Sonuç olarak büyük çaplı küresel bir sirkülasyon modeli söz konusudur. Dünya yüzeyinin tek düze olmaması, kara ve okyanus gibi çeşitliliklere sahip olması, küresel sirkülasyon modelinin küçük ölçekli boyutlara dönüşmesine yol açmaktadır. Bu eğilimler neticesinde bölgeler arasında belirgin iklim farklılıkları oluşmakta ve dolayısıyla rüzgarın şiddeti bölgeden bölgeye değişmekle birlikte günden güne de değişiklik göstermektedir (Burton vd., 2011). Rüzgar türbinleri, ilk defa 19. yüzyıl sonlarında elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılmaya başlamıştır. Rüzgar türbinlerinin doğal yakıt kaynağı rüzgardır (EWEA, 2009). “Rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere rüzgar türbini denir.” (EIE, 2012). Rüzgar türbinlerinin, kurulum yapılması planlanan yerlere göre farklı türleri bulunmakta ve teknolojisi her geçen gün gelişmektedir.

Hidro enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir payı vardır. Dere ve nehirlerde akan su, su çarkları veya türbinleri kullanılarak enerji üretmek amacıyla kullanılmaktadır (Boyle vd., 2012). Su gücünden çok eski

tarihlerden beri faydalanılmasına rağmen su gücünden elektrik üretilmesi 19. yüzyılın sonlarında başlamış ve geçen zaman zarfında teknik açıdan önemli gelişmeler göstermiştir. Su bendi ön ve arka tarafında yükseklik farkı oluşturmaktadır. Ortaya çıkan bu fark yerine kurulan güç tesisi sayesinde su, potansiyel enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren türbin boyunca akmakta ve elektrik jeneratörü ile bu enerji elektrik enerjisine çevrilerek elektrik enerjisi üretilmektedir (Dinçer & Aslan, 2008). Suyun enerji kaynağı olarak kullanılması esasen akış hacmi ve suyun yükü olmak üzere iki parametreye bağlıdır. Hemen hemen tüm hidroelektrik santralleri teknik ekipman yardımıyla doğal yükseklik farklılıklarını kullanmaktadır (Quaschnig, 2010). Hidroelektrik santrallerinin de farklı tipleri söz konusudur. Bölgeye ve kuruluş amacına göre santralin türü belirlenmektedir (Wengenmayr, 2008). Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin giderek artmasıyla hidroelektrik santralleri de önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu artış sadece hidroelektrik santrallerinin sayıca artmasıyla gerçekleşmeyip aynı zamanda santrallerin boyutlarının büyümesiyle de sonuçlanmıştır. 2000'li yıllara kadar hidroelektrik santrallerinin tamamı yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almakla birlikte son yıllarda büyük ölçekli hidroelektrik santrallerinin çevreye olan zararlarının etkilerinin ortaya çıkması sonucunda sadece küçük ölçekli hidroelektrik santralleri yenilenebilir enerji kaynakları olarak kabul edilmektedir (Premalatha vd., 2014).

Jeotermal kelimesi Yunanca yer anlamına gelen 'geo' ve ısı anlamına gelen 'therme' kelimelerden meydana gelmekte ve dolayısıyla yerkürenin ısısı anlamına gelmektedir (GEO, 2011). Jeotermal enerji ise, "yerin derinliklerinden yüzeye doğru iletilen ısının kullanılması" şeklinde tanımlanabilmektedir (Şahinci, 1991). Jeotermal kaynaklar, kaynağın bulunduğu derinliğe, ısıya, kayanın kimyasına ve yer altı sularının miktarına göre bölgeden bölgeye çeşitlilik göstermektedir (Gupta & Roy, 2007). Jeotermal teknolojileri, yerkürenin altında bulunan kayalardaki ve yeraltında sıkışmış halde bulunan buhar ve sıvılardaki enerjiyi kullanmaktadır. Bu kaynaklar öncelikli olarak ısı sağlamak veya elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır (Brown vd., 2011). Doğrudan ısı kullanımı, jeotermal enerji kullanımındaki en eski, çok yönlü ve ayrıca en yaygın biçimidir. Mahal ve bölgesel ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, tarım uygulamaları, su ürünleri uygulamaları, kağıt üretimi, yiyecek üretimi ve bazı endüstriyel uygulamalarda en iyi bilinen kullanım biçimleri olmakla birlikte en yaygın olarak ısı pompalarından yararlanılmaktadır (Dickens & Fanelli, 2005; Glassley, 2010). Jeotermal buharından ilk elektrik üretimi ise 1904 yılında İtalya'da Larderello'da gerçekleştirilmiştir (Gupta & Roy, 2007).

Biyoenjerji'nin asıl kaynağını kalıntıların bütün çeşitleri oluşturmaktadır. Kalıntılar, büyük ve yeterince faydalanılamayan potansiyel enerji kaynaklarıdır (Rosillo-Calle, 2007). Biyoenjerji yakıtları katı, sıvı ve gaz şeklinde sınıflandırılmaktadır. Sıvı ve gaz formunda olan yakıtlar, ana ham maddenin fiziksel, kimyasal ya da biyolojik olarak dönüşümü sonucunda elde edilmektedir (Jenkins vd., 2011). Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özelliği çevreye zararlı olmayan kaynaklar olmasına karşın biyokütlenin yakıtla dönüştürülmesi esnasında atmosfere kirletici maddeler yaydığı görüşü de bulunmakla birlikte aslında biyokütle kaynakları bitki olarak yetiştir(il)dikleri zaman atmosferden almış oldukları gazları, enerji kaynağı olarak kullandıklarında atmosfere geri bıraktıkları için atmosfere fazladan kirletici bırakmamaktadırlar. Bu durumda sadece söz konusu kirleticilerin açığa çıkmasında zaman açısından farklılık söz konusu olmaktadır. Biyokütle gibi büyük bir kısmı bitki ve hayvan kalıntılarında meydana gelen fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanılması sırasında açığa çıkan kirleticiler ise milyonlarca yıl önceki oluşumdan kaynaklandığı için çevre kirliliğine yol açmaktadır (Akova, 2003). Yanan biyokütlenin çevresel etkileri kömür ile karşılaştırıldığında zararı daha az ancak doğal gaz ile karşılaştırıldığında zararı daha fazla olmaktadır (Pimentel, 2008). Biyoenjerji kaynakları içerisinde yaygın olarak bilinen ve ilk biyoenjerji kaynağı olarak kullanılan yakıt türü odundur. Odunun yakıt olarak kullanımı, yetişmesi seneler süren ağaçların kesilmesine dayandığından ormanların azalması gibi çevreyi olumsuz yönde etkileyecek etkilere yol açmaktadır. Günümüzde bu durumun önüne geçmek sadece enerji üretmek amacıyla enerji ormanları ve enerji bitkileri söz konusudur. Dolayısıyla, biyoenjerjiyi klasik ve modern olarak da ikiye ayırmak mümkündür. Ağaç kesimi ile elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin yakılması ile ortaya çıkan enerjiler klasik biyoenjerji sınıfına girerken, sadece enerji üretmek amacıyla yapılandırılan enerji ormanları, enerji bitkileri ve ağaç endüstrinin atıkları sonucu ortaya çıkarılan biyodizel, etanol gibi yakıtlar modern biyoenjerji kaynakları arasında yer almaktadır (Dinçer & Aslan, 2008).

Dalga ve gel-git enerjileri, hidro enerji gibi sudan elde edilen enerjiler olmakla birlikte her bir enerji türü farklı şekillerde elde edilmektedir. Gel-git enerjisi, ayın çekim kuvveti ile denizlerde oluşan etkileşim sonucu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla direk güneşe bağlı olmayan bir enerji türüdür. Dalgalar, deniz ve okyanusların üzerinde rüzgarın esmesi ile ortaya çıkmaktadır. Dalga oluşumu rüzgara bağlı olmakta ve rüzgar oluşumu da yeryüzündeki farklı ısınma sonucu ortaya çıktığından dolayı olarak güneşe bağlı olmaktadır. Bu şekilde bir sınıflandırma yapıldığı takdirde gel-git enerjisinin kaynağı aya dayanmaktadır (Elliott, 2004). Dalga yüksekliği

ve periyodu, dalga enerjisinin elde edilmesindeki temel etkenler oldukları için direk üretilecek enerjinin miktarını belirlemektedir. Dalga enerjisinin üstün yanı, her dalga seviyesinde üretimin gerçekleştirilebilmesidir (Tezcan Ün, 2013). Ancak dalga enerjisinden sadece düşük su seviyesine sahip kıyı bölgelerinde yararlanılabildiği için kullanım alanı sınırlı kalmaktadır (Quaschnig, 2010). Nehir ağzlarının üzerindeki uygun alana inşa edilen gel-git barajları, su geçitleri bulunan türbinleri kullanarak gel-gitlerin yükseliş ve düşüşünden enerji elde etmek amacıyla tasarlanmıştır. Su seviyesindeki farklılıklara bağlı olan oluşan potansiyel enerji, türbinin boyunca hızlı hareket ederek kinetik enerjiye dönüştürülmekte, diğer ara işlemlerden sonra ise en son aşama olarak elektrik üretmek amacıyla jeneratöre aktarılmaktadır. Bu şekilde elektrik enerjisi elde edilmektedir (Elliott, 2004). Dalga, gel-git ve okyanus enerjileri yenilenebilir enerji kaynakları arasında en az kullanılan enerji türüdür.

Bu bölümde enerji tanımlarına ve enerji türlerine yer verilmesinin birden fazla nedeni söz konusudur. İlk olarak, neden fosil yakıtlardan vazgeçilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerektiği vurgulanırken bu kaynakların neleri ifade ettiği ve nelerden meydana geldiği bilinmelidir. İkinci olarak, fosil yakıtların tanımlarında belirtildiği üzere, sonlu olan bu enerji türlerinin oluşumu çok uzun zaman almakta ve bu yakıtların tükeneceği gerçeğinin yanı sıra asıl çağımızın en büyük problemi olan çevreye vermiş olduğu zararların neden ortaya çıktığının tanımlarından anlaşılabilir. Kömürün, ağırlıklı olarak olduğu maddelerin içerisinde CO_2 olması, doğal gazı meydana getiren gazların bileşimi, gibi yukarıda yer alan bilgiler, fosil yakıtların yapıları gereği çevreye verecekleri zararları göstermektedir. Ayrıca, nükleer enerjinin kendi yapısına ait problemleri ve tehlikeleri de en temiz enerji kaynağının yenilenebilir enerji olduğunu destekler niteliktedir. Bu tanımlardan da anlaşılacağı üzere, fosil yakıt CO_2 salınımı vs. neden yenilenebilir enerji sorusunun cevabı aslında tanımlarda yer almaktadır.

3. Literatür

Enerji, tüm ülkelerin ekonomik, sosyal ve siyasi unsurlarını etkilediği için ve özellikle son yıllarda karşımıza çıkan iklim değişikliği sorunu nedeniyle de çok fazla araştırılan bir konudur. Enerji her alanı etkilediği için enerji hakkındaki çalışmalar, alt boyutları ile daha detaylı ve spesifik alanlarda yapılan çalışmaları içermektedir. Bu konuda ülkeler enerji görünümü, gelecek tahmini ve projeksiyonu gibi alanlarda her yıl detaylı raporlar yayınlamaktadırlar. Hazırlanan enerji raporlarında, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarını arttırmaya yönelik politika önerilerine de yer verilmektedir. Bu sebeple, ön plana çıkan yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllar itibarıyla

gelişimini ele almak önem arz etmektedir. Bu bağlamda, bu çalışma Türkiye'deki yenilenebilir enerji arzının toplam enerji arzı içerisindeki payını analiz etmektedir. Enerji projeksiyonu ile ilgili yapılan çalışmalarda (Acar vd., 2023; Ağbulut vd., 2023; Cekinir vd., 2022) direk olarak yenilenebilir enerji ele alınmasa da, mutlaka bu alan ile ilgili kısımlar yer almaktadır. Bu sebeple, çalışmanın literatür kısmında sadece yenilenebilir enerji odak noktası olan ve daha güncel olan çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca, sadece Türkiye'yi analiz eden çalışmalar ile de literatür kısmı sınırlandırılmıştır. Türkiye'nin yenilenebilir enerjisini analiz eden (Benli, 2013; Bulut & Muratoglu, 2018; Horasan & Kilic, 2022; Karaaslan & Gezen, 2022; Önder, 2021; Toklu, 2013) çalışmaların hepsinde, Türkiye'nin çok büyük bir yenilenebilir enerji kapasitesi olduğu belirtilmekte ve bu kaynaklardan yeterli seviyede faydalanılmadığı vurgulamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminden dolayı, konu ile ilgili verileri güncel olarak değerlendirmek ile bu çalışma da literatüre bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

4. Enerji Arzı ve Talebi

Enerji kaynakları çeşitli olmakla birlikte her enerji kaynağından aynı oranda faydalanmak mümkün olmamaktadır. Enerji arz ve talebini etkileyen unsurlar bu duruma imkan vermemektedir. Enerji arzı, coğrafi konum, çevresel etkiler, teknolojik gelişme, ekonomi ve arz güvenliğine bağlı olarak değişiklik göstermekte iken (Tuğrul & Baydoğan, 2006) enerji talebi, nüfus, kentleşme, sanayileşme, ekonomik büyüme, enerji fiyatları, teknolojik gelişme ve yaygınlaşma etkilerinin altında kalarak şekillenmekte ve dolayısıyla enerji arzı ve talebi ülkelere göre değişiklik göstermektedir (Tuğrul, 2012). Enerji arz ve talep dengesi değerlendirilirken ülkelerin en önemli sorunlarından bir tanesi enerji talep tahminlerinin tam olarak yapılamamasıdır. Enerji politikalarına yön veren enerji talebinin tahminini yapmak çok zor olmakla birlikte değerlendirme yapılırken mutlaka göz önünde bulundurulması gereken unsurlar söz konusudur. Enerji talep tahminleri yapılırken yukarıda belirtilen enerji talebinin etkileyen unsurlar alt dalları ile birlikte ele alınmalıdır. Bu doğrultuda ülkelerin ekonomik büyüme faktörü altında sermaye birikimi, istihdam, iş veriminde artış vb. parametreleri; nüfus faktörü altında doğum oranı, göç, etkin çalışan nüfus vb. parametreleri; enerji politikaları faktöründe ise tüm vergi politikaları, teşvik mekanizmaları vb. etkenlerin de detaylı olarak araştırılması ve bu verilerin devamlı revize edilerek güncel talep tahminlerine uygun bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Pamir, 2014).

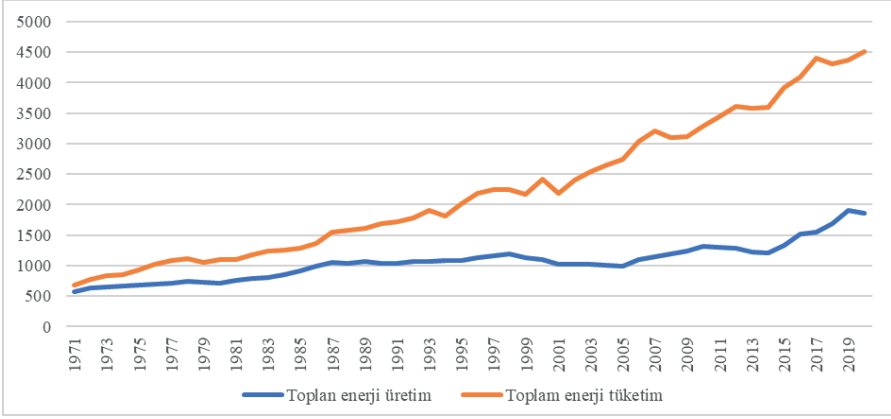
Enerji tüketimi, bir refah ölçüsü olan GSYİH ile paralellik göstermektedir. Kişi başına GSYİH'sı yüksek olan ülkelerde kişi başına düşen enerjinin

de aynı ölçüde yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir (Saatçioğlu & Küçükaksoy, 2013). Dolayısıyla gelişmiş ülkelerde enerji talebi daha yüksektir ancak gelişmekte olan ülkelerin enerji talep artış oranı, henüz enerji kullanımında istenilen seviyeye ulaşmadıkları için, daha yüksek olmaktadır. Bu sebeplerle de ülkelerin enerji kapasitelerini arttırmaya yönelik farklı politikaları söz konusu iken, son yıllardaki tüm ülkelerin ortak problemi olan iklim değişikliği sebebiyle yenilenebilir enerjinin enerji arzının içerisindeki payı giderek artan bir önem kazanmıştır.

5. Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Görünümü

5.1. Türkiye’nin Toplam Enerji Üretimi ve Tüketimi

Hızlı artış gösteren enerji talebini karşılamak için öncelikle toplam enerji üretim ve tüketimi arasındaki farkı belirlemek gerekmektedir. Şekil 2’de görüldüğü gibi, Türkiye’nin enerji üretim ve tüketim değerleri arasındaki fark yıllar itibariyle giderek artış göstermektedir. Toplam enerji üretimi ve tüketimindeki değişimler, basitlik olması açısından, on yıllık dönemler için 1971 yılı baz alınarak incelendiğindeki artış değerleri şu şekilde görülmektedir. 1980 yılındaki toplam enerji üretim artışı %24,10 ile 717,56 PJ iken toplam enerji tüketim artışı %62,72 ile 1101,88 PJ seviyesinde gerçekleşmiştir. 1990 yılında, %79,82 toplam enerji üretim ve %149,72 tüketim artışı gerçekleşirken enerji PJ değerleri ise sırasıyla, 1039,72 PJ ve 1691,08 PJ seviyesindedir. 1971 yılı baz alınarak incelendiğindeki artış değerleri şu şekilde görülmektedir. 1980 yılındaki toplam enerji üretim artışı %24,10 ile 717,56 PJ iken toplam enerji tüketim artışı %62,72 ile 1101,88 PJ seviyesinde gerçekleşmiştir. 1990 yılında, %79,82 toplam enerji üretim ve %149,72 tüketim artışı gerçekleşirken enerji PJ değerleri ise sırasıyla, 1039,72 PJ ve 1691,08 PJ seviyesindedir. 2020 yılında %91,17 artış oranı ile 1105,36 PJ değerine çıkan toplam enerji üretimine karşılık toplam enerji tüketim artış oranı %257,61 ile 2421,66 PJ değerine ulaşmış ve aradaki fark bu yıldan sonra daha hızlı bir şekilde artış göstermeye başlamıştır. 2010 yılında sırasıyla %129,02 ve %385,09 oranında artış gösteren toplam enerji üretim ve tüketim değerleri de 1324,22 PJ ve 3284,9 PJ değerinde gerçekleşmiştir. 2020 yılındaki toplam enerji üretim artış oranı %220,51 seviyesine yükselerek 1853,21 PJ ile önemli bir artış sergilemişken, toplam enerji tüketim oranının %565,08 olması ve 4503,82 PJ olması, enerji üretimindeki bu artışın ciddi bir seviyede olmasına rağmen enerji tüketimi karşısında oldukça yetersiz kalmasına neden olmuştur.

Şekil 2. Türkiye'nin Toplam Enerji Üretim ve Tüketimi – PJ (1971- 2020)

Kaynak: IEA (2022a-b) verileri ile yazar tarafından oluşturulmuştur.

Türkiye'nin toplam enerji üretim ve tüketim değerleri arasındaki farklar, PJ olarak 1000 ve 2000 değerlerinin üzerinde gerçekleştiği yıllar bazında incelendiğinde, 1971 yılında toplam enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark 98,98 PJ ile en düşük seviyesinde iken, bu fark 1996 yılında 1051,93 PJ seviyesinde gerçekleşmiştir. 2007 yılında ise, söz konusu fark 2057,34 PJ değerine ulaşmış ancak sonraki üç yıl boyunca 2000 PJ'nin altında seyretmiştir. 2011 yılında aradaki farkı 2148,98 PJ ile tekrar 2000 PJ'nin üzerinde gerçekleşmiş ve bir daha bu seviyenin altına düşmemiştir. 2017 yılında ise, en yüksek değeri olan 2853,65 PJ seviyesine ulaştığında, Türkiye'nin toplam enerji üretimi 1543,97 PJ iken tüketimi 4397,62 PJ olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin en fazla enerji üretimi 2019 yılında gerçekleşirken, en fazla enerji tüketimi ise 2020 yılında gerçekleşmiştir. Bu değerler sırasıyla, 1913,33 PJ ve 4503,82 PJ'dir. Şekil 2'de açıkça görüldüğü gibi, Türkiye'nin toplam enerji tüketimi yıllar itibariyle çok daha hızlı bir artış göstermekte ve toplam enerji üretimindeki artış enerji tüketimine kıyasla oldukça düşük kalmaktadır. Bu durumun önüne geçilemeyeceği ve enerji tüketimindeki artışın devam edeceği gerçeği ile Türkiye'nin enerji üretimini hangi enerji kaynakları ile arttırmaya yönelik bir politika izleyeceği önem arz etmektedir. Dolayısıyla, Türkiye'nin enerji üretimindeki enerji kaynaklarının bileşimini analiz etmek gerekmektedir.

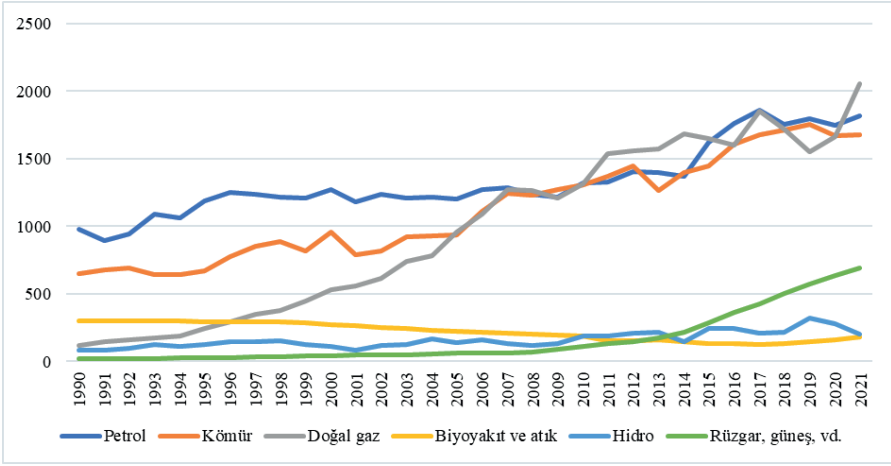
5.2. Türkiye'nin Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı

Türkiye'nin toplam enerji arzını sadece yıllar itibariyle değerlerini incelemek, Türkiye'nin hızla artış gösteren enerji talebini karşılamak için kısa

ve uzun vadede nasıl bir enerji politikası izlemesi gerektiği yönünde yeterli bir bilgi sağlamamaktadır. Toplam enerji arzı içerisindeki kaynakların dağılımını ve gelişim trendlerini izleyerek, yenilenebilir enerji kaynaklarının payının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Şekil 3'te Türkiye'nin toplam enerji arzının kaynaklara göre dağılımına yer verilmiştir. Ayrıca, enerji kaynakları arzının sadece değerlerini incelemek, enerji kaynaklarının durumunu analiz etmek ve değerlendirmek için tek başına bu gösterge yeterli olmayacaktır. Aynı zamanda, enerji kaynaklarının toplam arz içerisindeki oranlarını da değerlendirmeye almak ve yıllar itibariyle söz konusu oranların nasıl bir değişim içerisinde olduğunu da incelemek gerekmektedir. Bu iki gösterge birlikte ele alınarak, enerji arzının, kaynaklara göre dağılımı ve durumu hakkındaki görünüm değerlendirilerek politika geliştirilebilir. Bu sebeple, çalışmanın bu bölümünde hem Türkiye'nin enerji kaynakları arzı hem de oranları yer almaktadır.

Şekil 3'te açıkça görüldüğü üzere, Türkiye'nin toplam enerji arzında, fosil yakıtların hakim olma durumu devam etmektedir. Fosil yakıtların yıllar itibariyle gelişimi ayrı ayrı incelendiğinde, ilk olarak doğal gazın değişim trendi göze çarpmaktadır. 1990 yılında 119549 TJ değeri ile doğal gazın, toplam enerji arzı içerisinde sadece %5,54'lük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Özellikle 1995 yılında, bir önceki yıla göre en fazla artış oranı olan %28,01 ile 189275 TJ olan doğal gaz enerji arzı 242290 TJ seviyesine yükselmiş ve bu yıldan itibaren de iki sene üst üste artış oranı %20 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Daha sonra 1998 yılında, artış oranı %7'ye düşse de yine ilerleyen iki yıl da artış oranı %20 seviyelerinde seyretmiştir. Bu hızlı artış oranları ile 2001 yılında 559851 TJ seviyesine gelen doğal gaz, Türkiye'nin toplam enerji arzı içerisinde de % 19,13'lük bir paya ulaşmıştır. 2005 ve 2010 yılları arasında, kömür ve doğal gazın değerleri birbirine çok yakın seyrederken, 2011 yılından itibaren doğal gaz gerçekleştirmiş olduğu %17,18 oranındaki artış ile kömür enerji arzını geçmiştir. Yalnızca, 2016, 2019 ve 2020 yılları dışında bu durum sağlanmazken, 2021 yılında %23,67 artış oranı gösteren doğal gaz, büyük bir sıçrama gerçekleştirerek Türkiye'nin enerji arzındaki en fazla paya, dikkat çekici bir fark ile sahip olmuştur. 2021 yılında doğal gazın enerji arzı 2056383 TJ ve toplam enerji arzı içerisindeki payı %31,01 olarak gerçekleşmiştir. Petrol ve kömür enerji arzı trendlerinin birbirine paralellik gösterdiğini söylemek mümkündür.

Şekil 3. Türkiye'nin Toplam Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı - Bin TJ

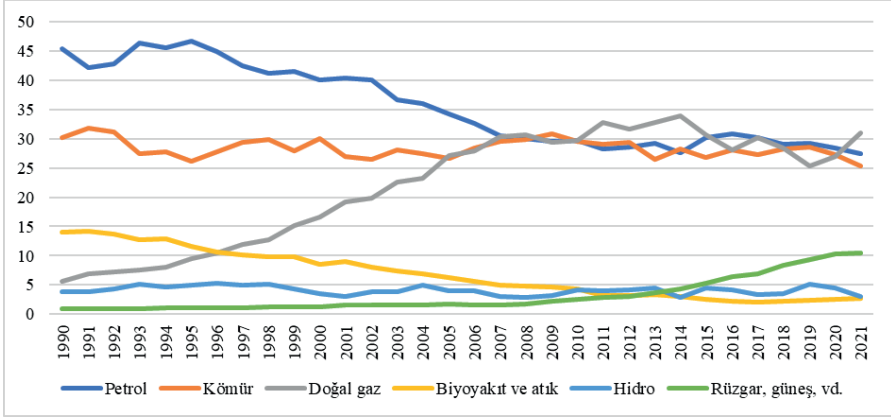


Kaynak: IEA (2023).

1990 yılında %45,44 ile toplam enerji arzı içerisindeki en büyük paya sahip olan petrolün değeri 979796 TJ iken, %30,26 paya sahip kömürün değeri ise 652489 TJ'dir. Enerji arzının, bir önceki yıla göre değişim oranları değerlendirildiğinde, petroldeki değişim oranların kömür kadar yüksek olmadığı görülmektedir. Petrol enerji arzındaki en yüksek değişim oranının gerçekleştiği yıl %17,98 ile 2015'dir. Söz konusu artışla 2014 yılında 1373251 TJ olan enerji arzı 2015 yılında 1620129 TJ değerinde gerçekleşmiştir. İkinci en büyük artış oranı ise %15,48 ile 1993 yılında gerçekleşirken 1995 yılındaki %12,01 oranı dışında diğer yıllarda %10'un üzerinde bir artış görülmemiştir. Kömürün enerji arzındaki artış oranları daha yüksek olmakla birlikte, 2011, 2012 ve 2014 yılları olmak üzere sadece üç yılda enerji arz değerleri petrolden daha düşüktür. 2006 yılına kadar aradaki fark daha fazla iken, kömürün enerji arzında meydana gelen ve yıllar itibarıyla en büyük artış oranı olan %18,19'lük artış ile 937373 TJ'den 1107921 TJ değerine çıkması ve 2007 yılında da %12,15'lik bir artış göstermesi ile söz konusu fark ciddi miktarda azalmıştır. Petrol ve kömürün enerji arzlarının 2021 yılında 1990 yılı baz alındığındaki artış oranları ise petrol için %85,76 ve kömür için %157,63 şeklindedir. Bu artış oranları ile enerji arzı miktarları sırasıyla, 979796 TJ'den 1820021 TJ'ye ve 652489 TJ'den 1680997 TJ'ye yükselmiştir. En büyük artış oranı ise 1990'lı yıllarda diğer fosil yakıtlar gibi yaygın kullanılmayan doğal gazda görülmüştür. Baz yılı olan 1990 yılındaki doğal gaz enerji arzı 119549 TJ iken, 2021 yılında bu değer 2056383 TJ değerine yükseldiği için artış oranı %1620,12 ile çarpıcı bir değer şeklinde

gerçekleşmiştir. Fosil enerji kaynaklarının toplam enerji arzı içerisindeki paylarının yıllar itibariyle değişimi incelendiğinde, 1990 yılında %45,44 ile petrol birinci sırada yer alırken, kömürün %30,26 ve doğal gazın ise sadece %5,54 değerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4. Türkiye'nin Toplam Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılım Oranı (%)



Kaynak: IEA (2023).

Fosil yakıtlar arasında, enerji arzı içerisindeki oranı en az değişiklik gösteren enerji türü kömürdür. En yüksek oran olan %31,86 değeri 1991 yılında gerçekleşmiş ve 2020 yılına kadar bu oran %27-28 dolaylarında iken en düşük değeri olan %25,35 değeri ise 2021 yılında gerçekleşmiştir. Petrol ve doğal gazın trendlerinde ise Şekil 4'te de görüldüğü üzere, direkt göze çarpacak şekilde bir değişim söz konusudur. Toplam enerji arzı içerisinde petrolün payındaki değişim ise olumlu bir ivme sergilemektedir. En yüksek payı olan %46,63 değeri 1995 yılına ait olup 1990-2002 yılları aralığında %40-47 düzeylerinde dağılmaktadır. 2003 yılında %36,64'ye düşen orandaki azalma yıllar itibariyle de düşüş göstermeye devam etmiş ve 2009 yılında %30 değerinin altına düşmüştür. Bu tarihten itibaren sadece üç yıl %30'a tekrar çıkan petrol enerji arzının oranı 2021 yılında en düşük değeri olan %27,44 seviyesinde gerçekleşmiştir. Petrolün enerji arz oranında yıllar itibariyle görülen bu düşüşe karşılık, tam tersi bir senaryonun doğal gazda gerçekleştiği görülmektedir. 1990 yılında %5,54 olan doğal gaz arzı, yıllar itibariyle sistematik bir artış trendi izleyerek 2021 yılında %31,01 seviyesine gelmiştir. En yüksek oranı ise, 33,89 ile 2014 yılında gerçekleşmiştir. Şekil 4'te de açıkça görüldüğü üzere, 1990 yılında petrol ve doğal gazın arz oranlarında büyük bir fark söz konusu iken, bu fark petrol arz oranı azalırken doğal gazın yükselmesi ile giderek azalmış ve 2008 yılında doğal gaz arz oranı

petrol arz oranından daha yüksek bir paya sahip olmuştur. 2008 yılından itibaren de fosil yakıtların arz oranlarının payı birbirlerine yakın seviyelere gelmiş ve bu durumun bu tarihten itibaren de benzer şekilde devam ettiği görülmektedir. Doğal gaz arzının artması ile birlikte petrol arzının payının azaldığını Şekil 4'te çok net görmekte birlikte, bu süreçte petrol ve kömürün paylarındaki değişimin zıt yönde gerçekleştiği de görülmektedir.

Fosil enerji arz kaynaklarında meydana gelen bu değişimlere karşın yenilenebilir enerji arz kaynaklarındaki değişimin oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının arzı, fosil yakıtlara göre çok daha düşük değerlerde olduğu için meydana gelen değişimlerin grafiğe yansımada trendlerinin çok daha durağan bir yapısı olduğu görülmektedir. 1990 yılında biyoyakıt ve atık enerji arzında 301722 TJ ile en yüksek değere sahip yenilenebilir enerji kaynağı iken, ikinci sırada 83333 TJ ile hidro ve en düşük değer ise 19309 TJ ile rüzgar, güneş, vd. yenilenebilir enerji kaynaklarına aittir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine, biyoyakıt ve atık enerji kaynaklarının arzında yıllar itibariyle bir azalma söz konusudur. 1990 yılı baz alındığında 2021'de 181852 TJ değerine düşerek %39,73 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Ele alınan 1990 – 2021 yıllarını kapsayan otuz bir yıllık dönemin bir önceki yıla göre değişim oranı verileri analiz edildiğinde, sadece yedi yılda, değişim artış yönündedir. Özellikle 2011 yılında meydana gelen %19,78 oranındaki azalış 2010 yılında 189574 TJ olan değer, 152072 TJ'ye düşmesine yol açmıştır. 2015 ve 2016 yıllarında gerçekleşen sırasıyla %10,08 ve %8,12 oranlarındaki düşüşler sonucunda da 2016 yılında biyoyakıt ve atık enerji arzı 130638 TJ değerine düşmüştür. 2020 ve 2021 yıllarında ise, ardı ardına iki sene en büyük artış oranları olan %10,12 ve %14,84 sırasıyla gerçekleşmiş ve bu durumda, biyoyakıt ve atık arzı, 2020 yılında 158349 TJ'ye ve 2021 yılında 181852 TJ'ye yükselmiştir. Bu yükselişe rağmen biyoyakıt ve atık enerji arzının yıllar itibariyle azaldığı sadece son yıllarda bir artış gösterdiği ve bu artışa rağmen 1990 baz yılına göre değer, ciddi oranda azalmış olduğu görülmektedir. Biyoyakıt ve atık enerji arzının en yüksek değeri 301900 TJ ile 1991 yılına aittir ve bu yıldan itibaren de devamlı bir düşüş eğilimi sergilemektedir. Hidro enerji arzı incelendiğinde, 1990 yılı baz alındığında 2021 yılındaki artış oranının %140,60 olduğu görülmektedir. Hidro enerji arzının değerleri düşük bir seviyede olduğu için meydana gelen değişimlerin bir önceki yıla göre yüzde değişimi oldukça yüksek oranlar olarak istatistiklere yansımaktadır. Şekil 3'te görüldüğü gibi trendi diğer enerji kaynaklarına göre daha durağan olmasına rağmen 2015 yılında gerçekleşen artış oranı %65,20 olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda, 2014 yılında 146322 TJ olan hidro enerji arzı, 2015 yılında 241726 TJ değerine çıkmıştır. Hidro enerji arzında yüzde olarak gerçekleşen

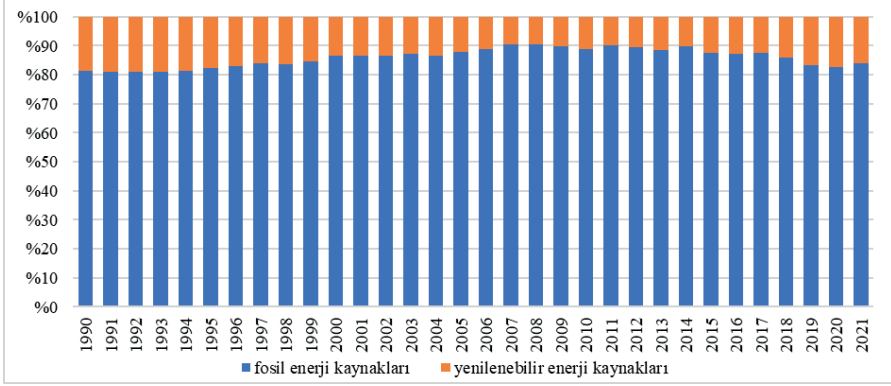
en yüksek oran olan %65,20'den sonra ise 2019 yılında %48,19'lük bir artış ile 2018 yılında 215778 TJ olan enerji arzı 319762 TJ'ye ulaşmıştır. Bu değer ayrıca, hidro enerji arzının yıllar itibariyle gelmiş olduğu en yüksek değerdir. 2002 ve 2010 yıllarında da %40'ın üzerinde artış oranları gerçekleşmiştir. 2002 yılında gerçekleşen %40,29 oranındaki artış ile 2001 yılında 86436 TJ olan değer 121259 TJ'ye ve 2009 yılında 129449 TJ olan değer 186466 TJ'ye yükselmiştir. 2004 yılında gözlemlenen %30'44'lük artışta ise, 2003 yılındaki 127188 TJ, 165902 TJ'ye yükselmiştir. Hidro enerji arzındaki yüksek değişim oranları artışlarda olduğu gibi, aynı mantık ile düşüşlerde de söz konusu olmaktadır. En yüksek düşüş oranı 2014 yılında %31,60 olarak gerçekleşmiş ve 2013 yılında 213912 TJ olan hidro enerji arzı 146322 TJ'ye düşmüştür. 2021 yılında ise, %28,68 oranındaki düşüş ile 2020 yılındaki 281140 TJ, 200503 TJ değerinde gerçekleşmiştir. Verilen istatistik değerlerinden ve Şekil 3'teki grafikte de açıkça görüldüğü üzere, hidro enerji arzının değeri diğer enerji arz kaynaklarına göre daha düşük seviyede olduğu için değişim oranları yüksek olmakta ancak değer olarak çok fazla bir değişim söz konusu olmadığı için bu durum hidro enerji arz grafiğinde çok büyük sapsmalara ve değişimlere yol açmamaktadır.

Rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının arzı, bütün yenilenebilir enerji kaynakları arzı arasında en yüksek artış trendine sahiptir. 1990 yılında 19309 TJ değeri ile tüm enerji kaynakları arzı arasında en düşük enerji arzı seviyesine sahip olan rüzgar, güneş, vd. enerji kaynakları arzının 1990 yılına göre 2021 yılındaki artış oranı %3486,33 gibi oldukça çarpıcı bir değerle 692485 TJ olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu artış oranının bu kadar yüksek olmasının nedeni ise hidro enerji arzında olduğu gibi enerji arz değerlerinin düşük olması dolayısıyla meydana gelen değişimlerin oranlara yüksek seviyelerde yansımadır. Şekil 3'te de açıkça görüldüğü gibi rüzgar, güneş, vd. enerji kaynakları arzı yıllar itibariyle devam eden bir artış trendi izlemiştir. 1990 – 2021 arasındaki dönemde sadece 2006 yılında %0,26 oranında azalış görülmekte iken diğer tüm yıllarda artış oranı farklılık göstermekle birlikte yüksek oranlarda gerçekleşmiştir. 2009 yılına kadar artışların daha düşük gerçekleştiği rüzgar, güneş, vd. enerji kaynakları arzının grafikte daha yatay bir görünüme sahip olmasından da anlaşılmaktadır. 2009 yılında ise %32,54 oranı ile gerçekleşen rüzgar, güneş, vd. yenilenebilir enerji kaynakları arzındaki büyüme oranı ilerleyen yıllarda da yüksek oranlar ile devam etmiştir. 2009 yılındaki yüksek büyüme oranı ile 2008 yılında 69895 TJ olan enerji arzı, 92638 TJ seviyesine yükselmiştir. 2015 yılında ise, en yüksek büyüme oranı olan %32,74 ile ciddi bir ivme kazanarak artışına devam etmiştir. İlerleyen yıllarda bir önceki yıla göre büyüme oranında bir azalma gerçekleşmiş olsa da bu durumun en önemli nedeni rüzgar, güneş, vd.

yenilenebilir enerji kaynakları arzındaki değerlerin artık çok düşük düzeyde kalmamış olmasıdır. 2021 yılında %9,37 oranındaki artış ile 2020 yılında 633140 TJ değerinde gerçekleşen rüzgar, güneş, vd. yenilenebilir enerji arzı 2021 yılında 692485 TJ değerine ulaşarak fosil yakıtlardan sonra gelen en büyük enerji arz kaynağı olmuştur.

Yukarıda yenilenebilir enerji arz kaynaklarının görünümü ve gelişimi hakkında bilgiler yer alırken bu kaynakların payı hakkındaki bilgilerin de değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple, Şekil 4'te yer alan enerji arz kaynaklarının paylarını incelediğimizde yenilenebilir enerji arz kaynaklarının oranlarının toplam pay içerisinde oldukça düşük kaldığı görülmektedir. 1990 yılında en yüksek pay %13,99 ile biyoyakıt ve atık enerji arzına aitken hidro enerji arzının payı %3,86 ve rüzgar, güneş, ve diğer yenilenebilir enerji arz kaynaklarının payı ise %0,90 olarak gerçekleşmiştir. Biyoyakıt ve atık enerji arzının payı en yüksek değerine 1991 yılında %14,26 ile ulaşmış ve daha sonra ise payı, birkaç istisna yıl dışında devamlı düşüş göstermiştir. 1998 yılında %9,90 ve 2007 yılında %5,00 seviyelerine düşmüştür. Şekil 4'te de açıkça görüldüğü üzere, 2013 yılından itibaren en düşük enerji arz payına sahip olan enerji kaynağı haline gelmiş ve bu durumu yıllar itibariyle devam etmiştir. En düşük payı olan %2,06 değeri 2017 yılına aitken 2021 yılında ise %2,74 olarak gerçekleşmiştir. Hidro enerji arzının payında ise yıllar itibariyle dikkat çekici bir değişim olmamıştır. Toplam enerji arzı içerisindeki payı yıllar itibariyle %2,91 ve %5,23 aralığında değişim göstermiş ve genel olarak %4 oranında bir paya sahip olmuştur. Rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji arz kaynaklarının payı ise en düşük seviyede başlayarak yıllar itibariyle artış gösterse de bu payı %3,02 seviyesine 2012 yılında gelmiştir. 2012 yılından sonra ise daha hızlı bir artış ile 2015 yılında %5,37, 2018 yılında %8,37 oranları ile rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji arz kaynaklarının payı anlamlı seviyelere gelmiştir. 2020 yılında payı %10 oranının üzerine çıkarak %10,29 ve 2021 yılında en yüksek payı olan %10,44 oranında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, Türkiye'nin yenilenebilir enerji arz kaynakları içerisinde 2021 yılında %2,74 ve %3,02 payları ile sırasıyla, biyoyakıt ve atık ile hidro enerjinin payı oldukça düşük düzeyde kalmakta, rüzgar, güneş, vd. yenilenebilir enerji arzlarının payı ise %10,44 ile ön plana çıkmaktadır.

Şekil 5: Türkiye’de Toplam Enerji Arzının Fosil ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Payı (%)



Kaynak: IEA (2023) verileri ile yazar tarafından hesaplanarak oluşturulmuştur.

Şekil 3’te açıkça görüldüğü ve yukarıda yer alan veriler ile de desteklendiği üzere, Türkiye’nin enerji arzı kaynaklara göre değerlendirildiğinde, yenilenebilir enerji arzında artış olsa da hala fosil yakıtların hakim olduğu görülmektedir. Bu durumu daha basite indirgeyerek durumu net görebilmek için Şekil 5’te sadece toplam fosil ve toplam yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arz paylarına yer verilmiştir. Şekil 5’te açıkça görüldüğü üzere, Türkiye’nin toplam enerji arzı içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı oldukça düşüktür. Fosil enerji kaynaklarının arzı yıllar itibariyle %80,94 ve %90,51 değerleri arasında bir paya sahipken, yenilenebilir enerji kaynaklarının arzı %9,49 ve %19,06 arasında değişim göstermektedir. 1990 yılında %18,75 olan yenilenebilir enerji kaynakları arzı 2000 yılında %13,32 değerine düşmüş ve 2018 yılında %14,18 seviyesine yükselene kadar da ortalama %11 seviyelerinde bir paya sahip olmaktadır. Yenilenebilir enerji arzının payındaki yükselme ise, 2018 yılından sonra gerçekleşmektedir. 2019 ve 2020 yıllarında sırasıyla, %16,87 ve %17,43 olan yenilenebilir enerji arz kaynaklarının payı 2021 yılında en yüksek değeri olan %16,21 değerinde gerçekleşmiştir.

Sonuç

Türkiye’nin yenilenebilir enerji arzının toplam enerji arzı içerisindeki payını analiz eden bu çalışmanın sonuçlarına göre, Türkiye’nin yenilenebilir arzında 1990 yılında 404364 TJ olan değer 2021 yılında %165 artış ile 1074840 TJ seviyesine yükselmiş olsa da bu artış arada geçen dönem uzunluğu da dikkate alındığında oldukça sınırlı bir artışın gerçekleştiği görülmektedir. Bu

durumun yanı sıra, fosil enerji kaynaklarında 1990 yılındaki 1751834 TJ enerji arzı, 2021 yılında %217 artış ile 5557401 TJ değerine yükselmiştir. Bu durumda 1990 yılında yenilenebilir enerji arzının payı %18,75 iken 2021 yılında %16,21 olarak gerçekleşmiştir. Yıllar itibariyle bu değerlerde azalma görülmüş ve özellikle 2000 - 2017 yılları arasında ortalama olarak %11-12 dolaylarında bir orana sahip olmuştur. 2018 yılından itibaren %14,18 seviyesinde gerçekleşerek 2021 yılında ise %16,21 seviyesine ulaşmıştır. En yüksek oranı olan %19,06 değeri ise, 1991 yılında gerçekleşmiş ve bu orandaki en büyük pay da biyoyakıt ve atık enerjisi arzına aittir. 1991 yılındaki biyoenerjinin daha çok klasik biyoyakıt türüne ait olduğunu da göz ardı etmemek gerekmektedir.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji arzı kaynaklar açısından değerlendirildiğinde, hidro enerji değerlerinde önemli bir değişim söz konusu değilken, kaynaklar içerisinde enerji arzı dağılımının biyoyakıtlardan rüzgar ve güneş enerjisine geçtiği görülmektedir. Türkiye'nin özellikle biyoyakıt ve atık enerji arzında ciddi bir azalma söz konusudur. Bu azalışın kaynağının daha detaylı incelenerek biyoenerji çeşidinin klasik mi yoksa modern kaynaklı mı olduğunun araştırılması gerekmektedir. Eğer klasik olarak ifade edilen ve çevreye zarar veren biyoyakıtta bir azalma meydana gelmiş ise bu durumu olumlu bir gelişme olarak değerlendirmek gerekir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının payındaki artış rüzgar ve güneş enerjisinde meydana gelen artıştan kaynaklanmaktadır. 2021 yılında toplam yenilenebilir enerji kaynakları arzının payı %16,21 iken bu payın %10,44'ü güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklıdır. 1990 yılında en düşük enerji arzına sahip olan rüzgar, güneş, vd. enerji arzı, göstermiş olduğu artış ile 2021 yılına gelindiğinde Türkiye'nin önemli bir kaynağı haline gelmiştir. Bu durum Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgar enerjisine yönelik izlemiş olduğu enerji politikalarının olumlu bir yansıması olarak değerlendirilebilir. Ancak, bu artış oranlarına rağmen enerji talebindeki hızlı artışı karşılamakta yetersiz kaldığı için fosil yakıtların arzında ciddi bir artış görülmektedir.

Türkiye'nin fosil enerji kaynaklarının arzı incelendiğinde, kömürün payında önemli bir değişiklik söz konusu değilken 1990 yılında %45,44 ile en büyük paya sahip petrolün yerini 2021 yılında %31,01 ile doğalgaza bırakması dikkat çekmektedir. Dolayısıyla, Türkiye'nin enerji arzındaki yenilenebilir enerjinin payı değişmemekte ve fosil yakıtların kendi kaynakları arasında bir geçiş olduğu görülmektedir. Bu duruma benzer şekilde, yenilenebilir enerji arz kaynaklarında biyoyakıt ve atık arzı azalırken güneş ve rüzgar enerjisi artış göstererek bir dağılım gerçekleşmiş ve yenilenebilir enerjini payı aynı seviyede kalmıştır. Enerji kaynakları arz oranlarındaki geçiş, özellikle izlenmesi gereken politikalar açısından önemli olmakla

birlikte gerçek değerlerdeki değişim ile birlikte ele alınmalıdır. Bu durumda açıkça görüldüğü gibi, Türkiye'nin hızla artan enerji talebini karşılamak için yenilenebilir enerjideki değişim yeterli olmamakta ve fosil yakıtların hakim olduğu enerji dağılımı devam etmektedir. Dolayısıyla, Türkiye'nin özellikle güneş ve rüzgar enerjisinde yakalamış olduğu bu artış trendini devam ettirmeye yönelik politikalara öncelik vermesi ve yeni politikalarla da desteklemesi Türkiye'nin yenilenebilir enerji arzını arttırması açısından hayati önem taşımaktadır.

Kaynakça

- Acar, S., Kat, B., Rogner, M., Saygin, D., Taranto, Y., & Yeldan, A. E. (2023). Transforming Türkiye's power system: An assessment of economic, social, and external impacts of an energy transition by 2030. *Cleaner Energy Systems*, 4(January), 100064. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2023.100064>
- Ağbulut, Ü., Yıldız, G., Bakır, H., Polat, E., Biçen, Y., Ergün, A., & Gürel, A. E. (2023). Current practices, potentials, challenges, future opportunities, environmental and economic assumptions for Türkiye's clean and sustainable energy policy: A comprehensive assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103019>
- Akova, İ. (2003). "Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı" İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi, Sayı 11.
- Alexander, G. & Boyle, G. (2004). Introducing Renewable Energy. In G. Boyle (Ed.), *Renewable Energy Power For a Sustainable Future* (1-15). Oxford University Press.
- Angelis-Dimakis, A., Biberacher, M., Dominguez, J., Fiorese, G., Gadocha, S., Gnansounou, E., ... Robba, M. (2011). Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1182–1200. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.049>
- Benli, H. (2013). Potential of renewable energy in electrical energy production and sustainable energy development of Turkey: Performance and policies. *Renewable Energy*, 50, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.051>
- Bodansky, D. (2004). *Nuclear Energy Principles, Practices, and Prospects*, 2nd edition, Springer.
- Boyle, G., Peake, S. & Everett, B. (2012). Remedies: towards a sustainable future. In B.Everett,
- G. Boyle, S. Peake & J. Ramage (Ed.), *Energy Systems and Sustainability Power For a Sustainable Future* (571-621). Oxford University Press.
- Brown, A., Müller, S. & Dobrotkova, Z. (2011). *Renewable Energy Markets and Prospects by Technology*, International Energy Agency.
- Bulut, U., & Muratoglu, G. (2018). Renewable energy in Turkey: Great potential, low but increasing utilization, and an empirical analysis on renewable energy-growth nexus. *Energy Policy*, 123(September), 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.057>
- Burton, T., Jenkins, N. Sharpe, D. & Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Ltd, Publications

- Cekindir, S., Ozgener, O., & Ozgener, L. (2022). Türkiye's energy projection for 2050. *Renewable Energy Focus*, 43, 93–116. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.09.003>
- Chiras, D., Sagrillo, M. & Woofenden, I. (2009). *Power From The Wind*, (Technical Advisors: R. Aram & J. Green), New Society Publishers.
- Dickens, M. H. & Fanelli, M. (2005). *Geothermal Energy: Utilization And Technology*, CNR-Institute of Geosciences and Earth Resources, New York, Earthscan.
- Diñçer, M. Z. & Aslan, Ö. (2008). *Sürdürülebilir Kalkınma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidrojen Enerjisi: Türkiye Değerlendirmesi*, İstanbul Ticaret Odası Yayınları.
- EIE (2012). Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Rüzgar Türbini”, (Çevrimiçi) http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_turbin.
- Elliott, D. (2004). Tidal Power. In G. Boyle (Ed.), *Renewable Energy Power For a Sustainable Future* (195-242). Oxford University Press.
- EWEA (2009). European Wind Energy Association, *Wind Energy- The Facts A Guide to the Technology, Economics and Future of Wind Power*, London, Earthscan.
- Fredericks, C. (2007). *Natural Gas: Fueling The Future*, Greenhaven Press. GEO-Geothermal Education Office (Çevrimiçi) <http://geothermal.marin.org/pwrheat.html#Q1>
- Giuliano, F. A. (1989). *Introduction To Oil And Gas Technology*, New Jersey, Prentice Hall.
- Glassley, W. E. (2010). *Geothermal Energy Renewable Energy and the Environment*, CRC Press.
- Gupta, H. & Roy, S. (2007). *Geothermal Energy: An Alternative Resource for The 21st Century*, Elsevier.
- Horasan, M. B., & Kilic, H. S. (2022). A multi-objective decision-making model for renewable energy planning: The case of Turkey. *Renewable Energy*, 193, 484–504. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.158>
- IEA (2010). International Energy Agency. (Çevrimiçi) <http://www.iea.org/aboutus/faqs/renewableenergy/>
- IEA (2022a). *World Energy Balances Highlights, Total: Total final production dataset*.
- IEA (2022b). *World Energy Balances Highlights, Total: Total final consumption dataset*.
- IEA (2023). International Energy Agency, *Total energy supply (TES) by source dataset*.

- Jenkins, B. M., Baxter, L. L. & Koppejan, J. (2011). Biomass Combustion. In R.C. Brown (Ed.), *Thermochemical Processing of Biomass Conversion into Fuels, Chemicals and Power*, John Wiley and Sons, Ltd.
- Karaaslan, A., & Gezen, M. (2022). The evaluation of renewable energy resources in Turkey by integer multi-objective selection problem with interval coefficient. *Renewable Energy*, 182(2022), 842–854. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.053>
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., & Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye 'de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi General Evaluation of Energy Outlook in Turkey and the World. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 59(692), 84–112.
- Krevelen, D. W. V. (1993). *Coal Typology- Physics- Chemistry- Constitution*, Elsevier.
- Kum, H. (2009). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dünya Piyasalarındaki Son Gelişmeler ve Politikalar*, Erciyes Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayınları, Kasım 2009, (Çevrimiçi) <http://iibf.erciyes.edu.tr/dergi/sayi33/12.k%C4%B1s%C4%B1m.pdf>
- Maczulak, A. (2010). *Renewable Energy: Sources and Methods*, Facts On File Inc.
- Merrit, R. D. (1986). *Coal Exploration Mine Planning, And Development*, Noyes Publications.
- Miller, B. G. (2005). *Coal Energy Systems*, Elsevier Academic Press.
- OECD (2004). *Enerji İstatistikleri El Kitabı*, International Energy Agency, Eurostat.
- Omer, M. (2011). *The Future Of Energy: The Global Challenge*. In M.J. Acosta (Ed.), *Advances In Energy Research (69-97)*. Nova Science Publishers, Inc
- Önder, H. G. (2021). Renewable energy consumption policy in Turkey: An energy extended input-output analysis. *Renewable Energy*, 175, 783–796. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.025>
- Pamir, N. (2014). *Enerji Politikaları ve Küresel Gelişmeler (Çevrimiçi)* http://www.emo.org.tr/ekler/c6744c9d42ec2cb_ek.pdf
- Peake, S., Everett, B. & Boyle, G. (2012). *Introduction energy systems and sustainability*. In B.Everett, G. Boyle, S. Peake & J. Ramage (Ed.), *Energy Systems and Sustainability Power For a Sustainable Future (1-34)*. Oxford University Press.
- Pimentel, D. (2008). *Renewable and Solar Energy Technologies: Energy and Environmental Issues*. In D. Pimentel (Ed.), *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems Benefits and Risks (1-17)*, Springer.

- Premalatha, M., Tabassum-Abbasi, Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2014). A critical view on the eco-friendliness of small hydroelectric installations. *Science of the Total Environment*, 481(1), 638–643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.047>
- Quaschnig, V. (2010). *Renewable Energy and Climate Change*, IEEE Press, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Ramage, J. (2012a). Primary energy. In B.Everett, G. Boyle, S. Peake & J. Ramage (Ed.), *Energy Systems and Sustainability Power For a Sustainable Future* (35-73). Oxford University Press.
- Rosillo-Calle, F. (2007). “Overview of Bioenergy. In F. Rosillo-Calle, P. Groot, S.L. Hemstock & J. Woods (Ed.), *The Biomass Assessment Handbook Bioenergy for a Sustainable Environment* (1-26). Earthscan.
- Saatçioğlu, C. & Küçükaksoy, İ. (2013). Türkiye Ekonomisinin Enerji Yoğunluğu ve Önemli Enerji Taşıma Projelerinin Ekonomiye Etkisi”, (Çevrimiçi) <http://sbe.dumlupinar.edu.tr/11/19-41.pdf>
- Speight, J. G. (2007). *Natural Gas A Basic Handbook*, Texas, Gulf Publishing Company.
- Suppes, G. J. & Storvick, T. (2007). *Sustainable Nuclear Power*, Elsevier Academic Press.
- Şahin, U. (2021). Future of renewable energy consumption in France, Germany, Italy, Spain, Turkey and UK by 2030 using optimized fractional nonlinear grey Bernoulli model. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.009>
- Şahinci, A. (1991). *Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri*, İzmir, Reform Matbaası.
- Simsek, H. A., & Simsek, N. (2013). Recent incentives for renewable energy in turkey. *Energy Policy*, 63, 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.036>
- Tabak, J. (2009). *Nuclear Energy, Facts on File*, New York.
- Tezcan Ün, Ü. (2013). “Dalga Enerjisi Teknolojisi, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu” II.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, (Çevrimiçi) http://www.emo.org.tr/ekler/6a781dbfd8e524b_ek.pdf
- Thomas, L. (2002). *Coal Geology*, John Wiley&Sons, Ltd.
- Toklu, E. (2013). Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey. *Renewable Energy*, 50, 456–463. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.035>
- Tombakoğlu, M. (2012). Nükleer Enerji Üretim Teknolojilerinin Dünyadaki Geleceği ve Türkiye, TMMOB 8. Enerji Sempozyumu, Pan Ajans Danışmanlık Ltd.Şti., Ankara, http://www.emo.org.tr/ekler/49895dc8cac4df4_ek.pdf

- Tuğrul, A.B. (2012). Nükleer Enerji Değerlendirmesi ve Türkiye” ICCI 2012 18. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı.
- Tuğrul, A.B. & Baydoğan, N.D. (2006). “Olası Alternatiflerle Enerji Kaynakları Değerlendirmesi ve Türkiye”, Türkiye 10. Enerji Kongresi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi.
- Varun, Prakash, R. & Bhat, I.K. (2009). Energy, Economics And Environmental Impacts of Renewable Energy Systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 2716–2721.
- Verfondern, K. (2008). Safety Considerations On Liquid Natural Gas, Natural Gas Research Progress, New York, Nova Science Publishers, Inc.
- Warwick, P.D. (2005). Coal System Analysis: A New Approach to The Understanding of Coal Formation, Coal Quality and Environmental Considerations, and Coal as a Source Rock for Hydrocarbons. In Coal System Analysis (1-8), Geological Society of America, Special Paper 387.
- WEC (2009). World Energy Council, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi”, Haziran 2009, (Çevrim-içi) <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/GUNES.pdf>
- Wengenmayr, R. (2008). Hydroelectric Power Plants Flowing Energy. In R. Wengenmayr & T. Bürke (Ed.), Renewable Energy Sustainable Energy Concepts For The Future, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim.
- Yarman, T. (2009). Enerji Kaynakları, Okan Üniversitesi Yayınları.
- Yarman, T. (2011). Geçmişte ve Bugün Nükleer Enerji Tartışması, Okan Üniversitesi Yayınları.