

Türkiye’de Optimal Yenilenebilir Enerji Kaynağının COPRAS Yöntemiyle Tespiti ve Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının İstihdam Artırıcı Etkisi

Coşkun KARACA*
Alptekin ULUTAŞ**
Mahmure EŞGÜNOĞLU***

Öz

Bu çalışma Türkiye’nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının %100 olması halinde sektöre yapılacak ilave yatırımların istihdamda sağlayacağı artışı tahmin etmektedir. İlave yatırımlarda hangi yenilenebilir kaynağa ne kadar pay ayrılacağı COPRAS çok kriterli karar verme yöntemiyle belirlenmiştir. COPRAS’a göre belirlenen yenilenebilir enerji yatırım büyüklüklerinin ülkedeki istihdama yapacağı katkı Ulusal Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen İstihdam ve Ekonomik Kalkınma Modeline (JEDI) göre tahmin edilmiştir. Model sonuçlarına göre fosil yakıtlı santraller yerine kurulacak 56.694 MW büyüklüğündeki yenilenebilir enerji santrallerinin kurulumu ve işletilmesiyle ülkede 576.664 kişiye doğrudan, 322.852 kişiye dolaylı ve 233.030 kişiye uyarılmış olmak üzere toplamda 1.132.545 kişiye ilave istihdam sağlanacağı tahmin edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, İstihdam, Enerji Yatırımı

*Doç.Dr., Cumhuriyet Üniversitesi, İİBF, Maliye Bölümü, karaca.coskun@gmail.com

**Arş.Gör.Dr., Cumhuriyet Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, au683@uowmail.edu.au

***Arş.Gör., Cumhuriyet Üniversitesi, İİBF, Maliye Bölümü, mesgunoglu@cumhuriyet.edu.tr

Makalenin Gönderilme Tarihi: 10.02.2017

Kabul Tarihi: 23.06.2017

Determination of Renewable Energy Source in Turkey by COPRAS and Analysis of the Employment-Enhancing Effect of Renewable Energy Investments

Abstract

The present study estimates the increase in the number of jobs resulting from the additional investments in energy sector if Turkey's renewable energy percentage in the electricity generation is 100%. The share to be allocated to each renewable energy source within additional investment value is determined according to COPRAS-based multi-criteria decision making method. The contribution of renewable energy investment value which is determined through COPRAS to employment in the country has been estimated according to Jobs and Economic Development Impact (JEDI) Model which was developed by National Renewable Energy Laboratory (NREL). According to results of the model, it is estimated that a total of 1.132.545 additional jobs will be created with following breakdown through the installation and operation of 56.694 MW renewable energy plants instead of fossil fuel power stations: to 576.664 people directly, to 322.852 people indirectly and to 233.030 people through stimulated employment.

Keywords: Renewable Energy, Employment, Energy Investment

JEL Classification Codes: E27, K32, Q20

Giriş

Günümüzde kalkınmasını tamamlamak isteyen tüm ülkeler küresel milli gelirden daha fazla pay almak için birbirleriyle kıyasıya mücadele etmektedir. Bu süreçte mevcut kaynaklarını daha etkin kullanan ve yüksek katma değer elde eden ülkelerin yarışta daha öne çıktığı, buna rağmen kaynaklarını rasyonel biçimde tahsis edemeyen ülkelerin ise yüksek ithalat ve ödemeler dengesi açığı sorunuyla karşılaştığı görülmektedir.

Türkiye'nin 1984 yılı ve sonrası dış ticaret verilerine bakıldığında ülkenin istisnasız her yıl dış ticaret açığı verdiği görülmektedir. Bilindiği üzere dış ticaret dengesi mal ve hizmet hesabından oluşmakta ve ülkenin dış alemden aldığı (ithalat) mal ve hizmet miktarı dış aleme gönderdiğinden (ihracat) büyük olduğu sürece dış ticaret açığı meydana gelmektedir. Maalesef verilerine ulaşılan son 32 yıldır ülkemizin daha fazla dış kaynak kullandığı ve ekonominin gittikçe ithalata bağımlı hale geldiği görülmektedir.

Büyüyen dış ticaret açığının önemli sonuçlarından biri üretimini kendi kaynaklarıyla gerçekleştirmek yerine yabancı kaynak kullanımıyla karşılayan ülkemizin istihdam konusunda önemli bir fırsatı kaçırıyor olmasıdır. O halde ülkemizin yerli kaynak kullanımını yaygınlaştırarak dış ticaret açığını kapatması ve kronik hale gelen işsizlik sorununa çözüm bulması gerekmektedir. Toplam ithalat içerisinde en yüksek paya sahip olan

dış ticaret kaleminin enerji ithalatı olması çözüme bu kalemden başlanmasının daha doğru olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çalışmada Türkiye'nin enerji tüketimi içerisinde en fazla paya (%42) sahip olan elektrik sektöründe yerli kaynak kullanımını artırmaya yönelik politika önerisi yapılmıştır. Çalışmanın odaklandığı temel konu, elektrik üretiminde fosil yakıtlı santraller yerine yenilenebilir enerji santrallerinin kurulması neticesinde bu yatırımların uyaraacağı istihdam artışını göstermektir.

Ancak yenilenebilir enerji yatırımlarında hangi kaynağa ne miktarda yatırım yapılacağına karar vermek için yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip olduğu teknik, ekonomik, çevresel ve toplumsal özellikler dikkate alınarak etkinlik analizinin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan COPRAS yöntemi kullanılmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırımın büyüklüğü bu yöntemle elde edilen sonuçlara göre belirlenmiştir. COPRAS yönteminden elde edilen sonuçlara göre fosil yakıtlar yerine kurulacak yenilenebilir enerji santralleri için rüzgâr enerjisine %30, güneş enerjisine %14, hidro enerjiye %27, biyokütle enerjisine %12 ve jeotermal enerjiye %18 pay ayrılması halinde ülke için optimal yatırım büyüklüğünün sağlanacağı görülmüştür. Bu yatırımlar neticesinde sağlanacak istihdam miktarı ise NREL tarafından geliştirilen JEDI yöntemine göre hesaplanmıştır.

1. Enerji İthalinin Neden Olduğu Fırsat Maliyeti: İşsizlik

Ülkelerin enerji açısından dışa bağımlı olması kaynakların miktar ve fiyat kontrolünü yabancı ülkelerin ve kurumların inisiyatifine bırakmaktadır. Kaynağın azalması durumunda, en temel ekonomi kuralı gereği fiyatında bir artış söz konusu olacaktır. Günümüzde ülkelerin gerçekleştirmek istedikleri yüksek büyüme hızının yüksek enerji fiyatları ile sürdürülmesi imkânsızdır. Bunun en belirgin örneği Ekim 1973 yılında yaşanan petrol krizi olmuş ve bu dönemde enerji fiyatlarında yaşanan artışlar üretim maliyetlerini artırarak enerji arz enflasyonunun doğmasına ve pek çok ülkede makroekonomik dengelerin bozulmasına yol açmıştır.

Türkiye'nin dış ticaret verilerine bakıldığında ithalat içindeki en büyük payın fosil yakıtlara ait olduğu görülmektedir. 2014 yılı verilerine göre ülkemiz 214 ülke içerisinde doğal gaz ithalinde 8'inci, ham petrol ithalatında ise 24'üncü sırada yer almaktadır (World Bank, 2016). Türkiye'nin dış ticaret açığı 1990 yılından günümüze kadar %8,5 civarında gerçekleşmiştir. Yalnızca 2015 yılında dış ticaret açığı nedeniyle Türkiye'den dış dünyaya net 71,8 milyar dolar sermaye çıkışı yaşanmıştır (TCMB, 2016). İç tasarrufları yeterli olmadığı için kalkınmanın finansmanında zorluklar yaşayan ülkemizde kamu ve özel sektörce aynı yıl gerçekleşen toplam sabit sermaye yatırımlarının 132,9 milyar dolar olduğu (World Bank, 2016) düşünüldüğünde dış ticaret açığı nedeniyle ülkeden çıkan sermayenin ne denli önemli olduğu daha iyi anlaşılmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının dış ticaret verilerine bakıldığında Türkiye’nin 2015 yılı enerji arzı içinde ithal kaynakların payının %77 olduğu görülmektedir (ETKB, 2016). Bu verilere göre tükettiği enerjinin yaklaşık dörtte üçünü ithal eden Türkiye enerjide dışa bağımlılığın en yüksek olduğu birkaç ülke arasında yer almakta ve kalkınması için gerekli olan milli gelir artışını ithalatla karşılamaktadır. Öyle ki Türkiye, son 14 yıldır -kriz dönemi dışarıda tutulursa- %6 ortalama büyüme oranıyla yüksek büyüme gösteren ülkeler arasında yer almaktadır (World Bank, 2016). Ancak milli gelirden yaşanan bu artışın işsizlik rakamlarına yansımadağı görülmektedir. Dünya Bankası verilerine göre Türkiye ekonomisi 2002-2015 döneminde kümülatif olarak %68 büyümesine rağmen bu artış istihdama yansımamış, aksine işsizlik oranlarında bir puanlık artış yaşanmıştır. Benzer olumsuzluk işgücünün istihdama katılımında da yaşanmaktadır. OECD tarafından yayınlanan 2014 yılı istihdam verilerine göre Türkiye’de çalışabilir nüfusun ancak %49,5’i istihdam edilirken OECD ülkelerinde bu oran %65,8’dir (OECD, 2015:267). GSYİH açısından dünya sıralamasında 17’nci sırada olan ülkemiz için bu verilerin anlamı “ülkenin istihdam yaratmayan büyüme gösterdiği” şeklinde yorumlanmaktadır (Taban, 2011:31; Barışık vd., 2010:88; Ataman, 2006:93-94). Toplam ithalat içinde enerji kaynaklarının da yer aldığı ara malı ve hammadde ithalatının %69’a ulaşması, ithalat nedeniyle Türkiye’nin “işsiz büyüme gösteren bir ekonomi çıkmazı”na sürüklendiğini açıkça göstermektedir.

Gerçekten de ithal bağımlılık oranlarıyla işsizlik arasındaki ilişkiyi inceleyen pek çok ampirik çalışma Türkiye’de 1980 öncesinde büyüme ve işsizlik rakamları arasında negatif ilişki olduğunu doğrularken dışa açılma sürecini takip eden sonraki yıllarda bu ilişkinin tersine işlediğini göstermektedir. Dolayısıyla ekonomik büyümenin sağlanması durumunda işsizliğin azalacağını söyleyen Okun Yasası, Türkiye’nin 1980 sonrası ekonomik büyüme ve işsizlik rakamları açısından geçerliliğini yitirmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar da bu varsayımı desteklemektedir.

Örneğin Tarı ve Abasız (2010) tarafından Türkiye’nin 1968-2008 dönemindeki büyüme ve işsizlik arasındaki ilişkiyi test ettikleri çalışmaları Türkiye’de istihdam yaratmayan büyüme olduğunu doğrulamıştır. Yine Barışık vd. (2010) tarafından Türkiye’de ekonomik büyüme ve işsizlik arasındaki ilişkiyi analiz eden bir başka çalışma 1988-2008 dönemine ilişkin Markov rejim değişimi modellemesine göre Türkiye’deki ekonomik büyümenin istihdam ortaya çıkarmadığı sonucuna ulaşmıştır. Uysal ve Alptekin (2009) ise büyüme ve işsizlik arasındaki ilişkiyi Türkiye ekonomisi açısından 1980-2007 yılları için VAR modeli yardımıyla incelemiş ve büyüme oranı ile işsizlik arasında işsizlikten büyümeye doğru bir Granger nedensellik ilişkisi olduğunu tespit ederek istihdamsız büyüme sorunsalını doğrulamıştır. Literatürde büyüme ve istihdam arasındaki ilişkiyi test eden diğer pek çok çalışma da Türkiye’de iki değişken arasındaki ilişkinin

asimetrik olduğunu göstermektedir (Yılmaz Eser ve Terzi, 2008; Kesici, 2010; Muratoğlu, 2011; Altuntepe ve Güner, 2013; Ceylan ve Şahin, 2010).

Dolayısıyla Türkiye’de dışa açılma sürecinin istihdam üzerindeki en önemli etkisi ülkedeki ekonomik büyümenin istihdam artışıyla sonuçlanmadığıdır. Literatüre ters düşen bu durumun üç muhtemel nedeni bulunmaktadır. Bunlardan ilki tarım sektöründen sanayi sektörüne geçişle birlikte işsizlik verilerinin daha sağlam zeminde elde edilmesi, ikincisi üretimde sağlanan verimlilik artışı, bizim de taraf olduğumuz üçüncü neden ise ülkedeki ithal bağımlılık oranının yüksek olmasıdır.

Eğer ülkedeki istihdam sorununun nedeni ithalat kaynaklı ise izlenmesi gereken ilk politika ülkenin ithal ettiği kaynakların yerli üretimle karşılanmasıdır. Çalışma konusunun da temelini oluşturan bu politika ülkede enerji kaynak ithalinin azaltılmasına işaret etmektedir.

Bu olumsuz tablodan hareketle asıl sorulması gereken Türkiye’nin ithal ettiği fosil yakıtların hangi kaynak ile ikamesi sağlarsa ülkedeki işsizliğe çözüm bulunacağı sorusudur. Günümüze kadar yapılan çalışmalardan çıkan ortak sonuç yenilenebilir enerji kaynaklarının istihdam sağlamadaki rolünün diğer enerji kaynaklarına göre daha yüksek olduğudur. Bu nedenle ekonomik büyümenin istihdam artışına yansımaları sağlamak için enerji sektörü odaklı yenilikler düşünülmelidir. Bu yenilikler yapılırken hangi yenilenebilir kaynağın daha yüksek potansiyele sahip olduğu ve elektrik üretiminde kullanılacak malzemelerin yerli üretiminin mümkün olup olmadığı araştırılması gereken bir diğer sorundur.

2. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının İstihdam Artışındaki Rolü

Yenilenebilir enerji yatırımlarında istihdam artışını sağlayan süreç dört aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşama yatırımlar için gerekli olan malzemelerin üretimi aşaması iken bu aşamayı santralin kurulum aşaması izlemektedir. Sonraki iki aşama ise santralin işletilmesi ve bakım onarımından oluşmaktadır. Tüm aşamalarda ortaya çıkan istihdam ise doğrudan, dolaylı ve uyarılmış istihdam şeklinde üçe ayrılmaktadır.

Doğrudan istihdam yenilenebilir enerji yatırımlarında kullanılacak malzemelerin imalatında çalışan işçilerle santralin projelendirilmesinde, kurulumunda, bakım ve onarımında görev alan işçilerden oluşmaktadır. Her yenilenebilir kaynak için farklı bölgelerde gerçekleştirilen örnek proje ve üretim verilerini yeni projelere uygulamak mümkün olduğundan doğrudan istihdama ilişkin tam zamanlı çalışanların tespit edilmesi diğer istihdam türlerine göre nispeten daha kolaydır.

Dolaylı istihdam ise genellikle birincil sektöre girdi sağlayan ikincil endüstrilerden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji yatırımlarında kullanılan malzemelerin üretimi için gerekli hammaddenin çıkarılması ve işlenmesi yanında danışmanlık firmalarında ve araştırma-geliştirme kuruluşlarında çalışanlar bu tür istihdamı oluşturmaktadır. Uyarılmış istihdam ise yenilenebilir enerji yatırımlarının neden olduğu doğrudan ve dolaylı

istihdamın, bu yatırımlarla vergi geliri sağlayan hükümetlerin ve bu yatırımlardan gelir sağlayan diğer paydaşların elde ettikleri kazançları ekonomiye dâhil etmeleriyle uyarılan istihdamdır. Diğer bir deyişle yapılan harcamalar çarpan etkisiyle ekonomide ilave gelir artışı sağlamakta ve ilave istihdama yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji sektöründe çalışanların yeme ve barınma ihtiyaçlarının karşılanması veya çocuklarına sağlanan kreş ve eğitim hizmetleri için ilave çalışma alanları oluşması uyarılmış istihdama örnek verilebilir. Ancak dolaylı ve uyarılmış istihdamın yenilenebilir yatırımlarla olan bağlantısını tespit etmek güç olduğundan araştırmaların birçoğu bu tür istihdamı ya göz ardı etmekte ya da bu etkileri belirli bir oran üzerinden analize dâhil etmektedir.

Malzeme üretimi ve santralin kurulumu aşaması olan ilk iki aşamada toplam istihdama olan katkı son iki aşamaya göre daha yüksektir. Buna göre toplam istihdamın %90'ı imalat ve kurulum sürecinde, %10'u ise işletme ve bakım onarım sürecinde çalışmaktadır. Ülkelerde yenilenebilir enerji sektöründeki istihdamın artırılmasında yenilenebilir enerji yatırımlarının yaygınlaşması ve bu sektörün büyüyerek önemli bir pazar payı elde etmesi önemlidir. Gerçekten de üretim miktarını artırarak ölçek ekonomileri vasıtasıyla üretim maliyetlerini düşüren ve sektörde uluslararası rekabet gücü elde eden pek çok ülke örneği mevcuttur. Bu fırsatı değerlendiren ülkelerden bazıları Tablo 1'de görülmektedir. Yenilenebilir enerji üretimine yaptıkları yeni yatırımlarla 7,7 milyon ilave istihdam imkânı elde eden bu ülkeler pek çok ülkenin muzdarip olduğu işsizlik problemini de bir nebze olsun gidermeyi başarmışlardır.

Tablo 1: Yenilenebilir Enerji Sektöründe İstihdam (2015 Yılı, Bin)

(Bin)	Dünya	Çin	Brezilya	Amerika	Hindistan	Japonya	Bangladeş	Avrupa Birliği		
								Almanya	Fransa	Diğer AB Ülk.
Biyokütle	822	241		152	58			49	48	214
Biyoyakıt	1,678	71	821	277	35	3		23	35	47
Biyogaz	382	209			85		9	48	4	14
Jeotermal	160			35		2		17	31	55
Hidro	204	100	12	8	12		5	12	4	31
Güneş (panel)	2,772	1,652	4	194	103	377	127	38	21	84
Güneş (ısıtma)	939	743	41	10	75	0.7		10	6	19
Rüzgâr	1,081	507	41	88	48	5	0.1	149	20	162
Toplam	8,079	3,523	918	769	416	388	141	355	170	644

Kaynak: IRENA, 2016:17.

Tablodan da görüldüğü üzere Çin, Brezilya ve Amerika yalnızca güneş enerjisi ve biyoenerji alanında gerçekleştirdikleri yatırımlarla yaklaşık 4,3 milyon kişiye istihdam imkânı sağlamıştır. Dünya genelinde güneş enerjisi üretimi için yapılan yatırımların diğerlerine nazaran en fazla istihdam ortaya çıkaran sektör olduğu görülmektedir. Güneş panellerinin üretimi ve ihracatında yüksek pay sahibi olan Çin'in yalnızca bu üretimden sağladığı istihdam kazancı 2,4 milyon kişidir. Son on yıldaki büyüme oranı %10 olan Çin, katma değeri ve istihdam imkânı yüksek olan yenilenebilir enerji pazarına yaptığı yatırımlarla ekonomisine önemli bir ivme kazandırmıştır. Yine tarım ve orman arazilerinin genişliğini fırsata çeviren Brezilya, biyokütle enerjisi yatırımlarıyla yaklaşık 821 bin ilave istihdam fırsatı elde etmiştir.

3. Analiz 1: En İyi Yenilenebilir Enerji Alternatifinin Seçimi ve Yatırım Büyüklüğünün Tespiti İçin COPRAS Yönteminin Uygulanması

Ülkeler enerji politikalarını belirlerken kullandıkları enerjinin ülke çıkarlarına uygun, çevreyle dost ve ülkenin kalkınmasına yardımcı olmasına dikkat etmek zorundadır. Aksi takdirde ülkede ekonomik büyüme sağlanmış fakat kalkınmayla ilgili bileşenler zarar görmüş olmaktadır. Yapılan analizler benzer tehditlerin ülkemiz için de var olduğunu göstermektedir. Birleşmiş Milletler tarafından yayınlanan iklim değişikliği raporlarında Türkiye'nin 1990 yılından günümüze kadar Kyoto Protokolü'ne taraf 42 adet Ek 1 ülkesi içerisinde hava kirliliği en fazla artış gösteren (%163) ülke olduğu vurgulanmıştır (UNFCCC, 2015). Dünya Bankası tarafından yayınlanan iklim değişikliği raporunda ise 2012 yılında Türkiye'de kişi başına düşen karbon miktarının 4,4 ton olduğu ve bu rakamın dünya genelinde hedeflenen 2 ton karbon miktarından yüksek gerçekleştiği ifade edilmiştir (World Bank, 2015). Türkiye'nin çevre, dış ticaret ve istihdama ilişkin verileri enerji kaynak seçiminin ülkenin kalkınması önünde engel oluşturduğunu göstermektedir. Bu yanıştan dönülebilmesi ekonomik olduğu kadar halkın refahına da katkı sağlayacak optimal bir enerji planlaması ile mümkündür. Bu nedenle aşağıda her bir yenilenebilir kaynağa ait teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal 24 kriter esas alınarak "Türkiye'de hangi yenilenebilir kaynağa daha fazla yatırım yapılmalıdır" sorusuna cevap aranacaktır.

3.1. Türkiye'de Enerji Üretiminde Kullanılacak Yenilenebilir Kaynakların Seçimi

Enerji planlaması yapılırken ülkelerin dikkatle üzerinde durduğu iki temel konu bulunmaktadır. Bunlardan ilki enerji ihtiyacının amaçlanan ekonomik büyümeyi destekleyecek biçimde karşılanması, ikincisi ise ülkenin sosyal kalkınmasına zarar vermeyecek biçimde enerji kaynak seçiminin yapılmasıdır. Birincil enerji arzı içinde fosil yakıt payının %93 gibi yüksek bir paya sahip olması söz konusu amaçlara ulaşabilmek için ülkemizde enerji politikasına ilişkin reform ihtiyacını açıkça göstermektedir.

Geçmişte üretim teknolojilerinin fosil yakıtlar lehine gelişmesi ve bu kaynakların verimliliklerinin diğer kaynaklara nazaran daha yüksek olması ülkelerin fosil yakıtlara bağımlı olmasının ardında yatan temel nedenlerdir. Ancak 1973 yılında petrol fiyatlarında yaşanan hızlı yükseliş, ülkeleri farklı enerji kaynakları kullanma yönünde arayışa itmiş ve gelişen teknolojinin de yardımıyla başta yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere fosil yakıtlara alternatif olabilecek farklı enerji kaynakları keşfedilmiştir.

Ancak yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payının artmasında yalnızca fosil yakıtların fiyat artışı etkili olmamıştır. Fosil yakıtların enerji tüketiminde kullanılmasıyla çevreye ve insan sağlığına verdiği zarar günümüz sosyal refah devletlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına verdiği önemi artırmıştır. Gerçekten de kalkınmayı geri plana atmış ve büyümeyi öncelikli amaç edinmiş bazı ülkeler enerji üretim maliyetlerini belirlerken enerji kaynaklarının çevreye ve insan sağlığına verdiği zararları üretim fonksiyonuna dâhil etmekten çekinmektedir. Hâlbuki negatif dışsallıkların da dâhil edildiği sosyal maliyetlerin bir maliyet olarak dikkate alınması günümüz sosyal refah devletlerinin enerji politikalarını belirlerken uyguladığı genel bir kural haline gelmiştir. Son yıllarda uluslararası sorumluluktan kaynaklanan yükümlülüklerin ve sosyal maliyetlerin dikkate alındığı bazı raporlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlar karşısındaki üstünlükleri daha net biçimde görülebilmektedir.

Bu nedenle bu bölümde içsel ve dışsal maliyetler dikkate alınarak Türkiye’de üretilen elektriğin yenilenebilir kaynaklarla sağlanması durumunda hangi kaynağın tercih edilmesi gerektiğine ilişkin bir analiz yapılacaktır. Optimal kaynak seçiminin yapılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları kendi içerisinde teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal dört farklı değerlendirme kriterine göre karşılaştırılmıştır.

3.1.1. Teknik Kriterler

Teknik kriterler yenilenebilir enerji kaynaklarına ve yatırımlarına ilişkin teknik özellikleri içermekte ve enerji kaynaklarının verimlilikleri, potansiyeli ve kurulu güç kapasitesi gibi alt kriterlerden oluşmaktadır. Tablo 2 analize katılan alt kriterlere ilişkin verileri göstermektedir.

Tablo 2: Teknik Kriterler

	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biyokütle	Jeotermal
Enerji verimliliği ^a	2,58	0,78	2,49	4,97	5,48
Ekonomik potansiyel (GW/yıl) ^b	98	91	130	0,4	4
İşletme ömrü (yıl) ^c	20	30	80	30	25
Küresel kurulu güç kapasitesi (%) ^d	6,1	2,9	17,5	1,5	0,2
Kapasite faktörü (%) ^c	30	27,4	37,1	85	90

Kaynak: ^aTEİAŞ, 2016; ^bGörez ve Alkan, 2005; ^cNETL, 2013; ^dREN21, 2015.

Tablo 2’de enerji verimliliği alt kriteri, üretim aşamasında birim enerji kaynağından elde edilen verimi göstermektedir. Katsayılar Türkiye’ye ait 2015 yılı elektrik üretim verilerinden hareketle her bir kaynağın 1 MW kurulu gücünden elde edilen enerji miktarını göstermektedir. Buna göre üretim sürecinde en az girdi ile en fazla çıktı sağlayan enerji kaynağı jeotermal iken en az verimliliğe sahip kaynak güneş enerjisidir. Tabloda diğer kriterler için hangi yenilenebilir kaynağın en iyi katsayıya sahip olduğu kalın yazı tipi ile gösterilmiştir.

3.1.2. Ekonomik Kriterler

Enerji üretim santrallerinin yüksek maliyetli yatırımlar olması bu tesislerin kurulumunda kapsamlı bir fizibilite çalışması yapılmasını zorunlu kılmaktadır (Özcan vd., 2017:212). Ekonomik kriterler ile yenilenebilir enerji yatırımlarının maliyet açısından etkinliği ölçülmektedir. Enerji, üretim için önemli bir girdi olduğundan bu kaynağın fiyatındaki değişimler üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla ülkelerin düşük maliyetle üretim yapmaları ve küresel rekabet gücü elde etmeleri için enerji kaynak seçiminde optimal karar almaları gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yatırım maliyeti düşük, işletme ve bakım maliyeti az olan ve geri ödeme periyodu kısa olan kaynakların seçimi ülkelerin bu amaca ulaşması açısından oldukça önemlidir.

Tablo 3: Ekonomik Kriterler

	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biyokütle	Jeotermal
Yatırım maliyeti (\$/kW) ^a	1920	4693	6300	230	3000
Değişken işletme ve bakım maliyeti (\$/MWs) ^a	2,62	0	1,86	7,65	0
Sabit işletme ve bakım maliyeti (\$/MW-yıl) ^a	24050	56780	4120	86600	164640
Elektrik üretim maliyeti (\$/kW-saat) ^b	0,07	0,125	0,08	0,1	0,05
LCOE elektrik üretim maliyeti (\$/MWs) ^c	73,6	125,3	83,5	100,5	47,8
Geri ödeme periyodu (yıl) ^d	0,9	1,85	11,8	1,92	5,7

Kaynak: ^aNETL, 2013; ^bEIA, 2016 çalışmasından uyarlanmıştır; ^cUS Energy Information Administration, 2015; ^dKenny, Law ve Pearce, 2010.

Tablo 3’de görüldüğü üzere kW başına en düşük yatırım maliyetine sahip kaynak biyokütle iken en düşük elektrik üretim maliyeti jeotermal enerjiye aittir. Sabit ve değişken maliyetler açısından güneş, jeotermal ve hidrolik enerjinin diğer kaynaklara göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Diğer kriterler için en düşük maliyet ve geri ödeme süresine sahip yenilenebilir kaynaklara ilişkin veriler kalın yazı tipi ile tabloda gösterilmiştir.

3.1.3. Çevresel Kriterler

Çevresel faktörler ile enerji üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar gösterilmektedir.

Tablo 4: Çevresel Kriterler

	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biyokütle	Jeotermal
NO _x emisyonu (g/MWs) ^a	26,80	94,40	17,30	959,00	12,50
CO ₂ emisyonu (gCO ₂ /kWs) ^b	11	41	24	230	38
CO emisyonu (g/MWs) ^a	38,1	607	12,2	1490	25,1
SO ₂ emisyon (g/MWs) ^a	29,9	59,2	11,2	439	3,11
Sera gazı emisyonu (g/MWs) ^a	0,000168	0,00101	0,0000526	0,0345	0,0000386
Partiküller emisyon (g/MWs) ^a	0,0168	0,0352	0,00527	0,325	0,00132
Kurşun (Pb) (g/MWs) ^a	0,000000783	0,0000173	0,000000483	0,00000181	0,00000134
Amonyak NH ₃ (g/MWs) ^a	0,000564	0,0000664	0,00000255	0,000224	0,453
Metan dışı (g/MWs) ^a	7,24	37,6	0,597	40,5	0,442
Alan gereksinimi m ² /kWs ^c	0,000814	0,001894	0,000189	0,00047	0,000404

Kaynak: ^aNETL, 2013; ^bIPCC, 2014; ^cKayakutlu ve Ercan, 2015.

Tablo 4'den de görüldüğü üzere her bir yenilenebilir kaynağa ait zararlı gaz ve metaller ile alan gereksinimine ilişkin veriler içerisinde jeotermal enerji 5 kriterde, hidroenerji ise 4 kriterde diğer kaynaklara göre üstünlük kazanmıştır. Karbondioksit salınımı açısından en iyi yenilenebilir kaynağın ise kWs başına 11 gram salınım ile rüzgâr enerjisi olduğu görülmektedir.

3.1.4. Sosyal Kriterler

Sosyal kriterler yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırımların toplumsal etkilerini gösteren değişkenlerdir. Söz konusu kriterler halkın fayda fonksiyonlarında doğrudan etkide bulunduğu için hükümetler enerji politikalarını belirlerken bu kriterleri fayda maliyet analizine dahil etmekte ve optimal enerji yatırım projelerini belirlemektedir.

Tablo 5: Sosyal Kriterler

	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biyokütle	Jeotermal
Dışsal maliyetler ^a	0,19	0,6	0,54	2,01	0,2
İmalat-inşaat-kurulum istihdam (MW başına) ^b	8,6	17,9	7,5	7,7	10,7
İşletme-bakım istihdam (MW başına) ^b	0,2	0,3	0,3	5,51	0,4

Kaynak: ^aStein, 2013, ^bRutovitz ve Harris, 2012; Rutovitz, 2010.

Tablo 5'de ilk satırda görülen dışsal maliyetler içerisinde enerji üretim ve tüketiminin neden olduğu erken ölüm, çalışma ve verimlilik kaybı gibi insan sağlığı üzerinde oluşan maliyetler yanında ürün veriminin azalması, hava ve su kirliliği gibi çevresel maliyetler yer almaktadır. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde biyokütle enerjisi daha fazla emisyon salınımı

gerçekleştirdiğinden bu kaynak diğer yenilenebilir kaynaklara göre daha fazla dışsal maliyete sahiptir. En az dışsal maliyet ise rüzgâr enerjisine aittir. İmalat, inşaat ve kurulum aşamasında en fazla istihdam sağlayan yenilenebilir kaynak güneş enerjisi iken işletme aşamasında biyokütle enerjisinin diğer yenilenebilir kaynaklara göre daha fazla istihdam ortaya çıkardığı görülmektedir. Biyokütle ile enerji üretilebilmesi için organik atıkların toplanması ve taşınmasına ihtiyaç duyulduğundan işletme aşamasında bu kaynağın daha fazla istihdam sağladığı görülmektedir.

3.2. Metodoloji

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının %100'e çıkarılması ve bu yolla ülkedeki istihdamın artırılmasına ilişkin politika önerisinde hangi yenilenebilir kaynağa ne kadar kurulu güç ayrılacağı konusunda çok sayıda alternatif bulunmaktadır. Bu gibi çok kriterli karar verme problemlerinde alternatifler arasında en optimal seçimin yapılabilmesine imkân veren çok sayıda model geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında SAW modeli Churchman ve Ackoff (1954) ve MacCrimmon (1968) tarafından, LINMAP modeli Srinivasan ve Shocker (1973) tarafından, TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon (1981) tarafından, ELECTRE yöntemi Benayoun vd. (1966); Roy (1985); Roy (1991) tarafından, MOORA modeli Brauers ve Zavadskas (2006) tarafından ve ARAS yöntemi Zavadskas ve Turskis (2010) tarafından geliştirilmiştir.¹

Bu çalışmada çeşitli alternatifler arasında en optimal yenilenebilir enerji yatırım büyüklüğünün belirlenmesi amacıyla Zavadskas ve Kaklauskas (1996) tarafından geliştirilen COPRAS yöntemi tercih edilmiştir. COPRAS yönteminin seçilmesinde bu yöntemin TOPSIS, ARAS ve VIKOR gibi çok kriterli diğer karar verme yöntemlerine göre daha kolay ve hızlı şekilde sonuca ulaştırması ve analizde kullanılan bazı kriterlerin "0" değerine sahip olması etkili olmuştur.

Literatürde çok kriterli karar verme problemlerini çözmek isteyen pek çok araştırmacı COPRAS yöntemine başvurmuştur. Chatterjee ve Bose (2013) COPRAS yöntemini kullandığı çalışmada rüzgâr hızı, araziye erişebilirlik, elektrik şebekesine uzaklık ve şehre yakınlık gibi kriterleri dikkate alarak rüzgâr enerjisi santralleri için en optimal yer seçimini analiz etmişlerdir. Kaklauskas vd. (2006) kamu binalarının yenilenmesinde alternatif müteahhit firmaları arasında seçim yapmak ve düşük enerjiye imkân veren pencere seçimini gerçekleştirmek için COPRAS yöntemine başvurmuştur. Yazdani-Chamzini vd. (2013) sosyal, ekonomik, çevresel ve teknik pek çok kriteri dahil ettiği çalışmada COPRAS yöntemini kullanarak yenilenebilir enerji alternatifleri arasında en optimal olanını tahmin etmiştir. Banaitiene vd. (2008) binaların yaşam süresini

¹Yöntemlerin İngilizce açıklamaları şu şekildedir: SAW (Simple Additive Weighting), LINMAP (Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preference), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality), MOORA (Multi-Objective Optimization on basis of Ratio Analysis), ARAS (Additive Ratio Assessment). Bilgi için bkz Chatterjee ve Bose, 2013.

değerlendirmek, Chatterjee vd. (2011) ise materyal seçimi için COPRAS yöntemine başvurmuşlardır.

COPRAS yöntemi, ağırlıkların normalize değerler ile çarpılmasını da kapsayan 6 adımdan oluşmaktadır. Ağırlıkların, değerlere ait katsayıların objektifliğini etkileyeceği düşünüldüğünden çalışmada COPRAS'ın ağırlık çarpımı adımı yer almaktadır. Her kriterin farklı ölçüm birimlerine sahip olması nedeniyle toplam performans skorları tekrar normalize edilmiş ve hangi enerjiye ne kadar pay ayrılacağı hesaplanmıştır. COPRAS'ın adımları aşağıdaki gibi yazılabilir:

Adım 1: Alternatif enerji kaynaklarının seçimi için karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur. Bu karar matrisinde yenilenebilir enerji kaynakları, kriterler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının her bir kriter için gösterdikleri performans değerleri gösterilir.

$$D = [X_{ij}] = \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_i \\ \dots \\ P_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: Eşitlik 1'deki P_i , i enerji alternatifini ve x_{ij} ise i enerji alternatifinin j kriterine göre değerini göstermektedir. İkinci adımda karar matrisinin her bir elemanı sütunun toplam değerine bölünerek normalize edilmektedir. Bu durum Eşitlik 2'de görülmektedir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Adım 3: İkinci adımda elde edilen değerler normalize edilmiş matrisi oluşturur. Bu matristeki i enerji alternatifi için satır boyunca yer alan faydalı kriter değerleri Eşitlik 3 vasıtasıyla toplanır. Bu kriterlerin değerlerinin yüksek olması istenir. Aynı matristeki i enerji alternatifi için satır boyunca yer alan faydasız kriter değerleri Eşitlik 4 vasıtasıyla toplanır. Bu kriterlerin düşük olması istenir. Kısacası her bir enerji alternatifi için faydalı kriter değerleri kendi arasında, faydasız kriter değerleri kendi arasında toplanır.

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^o x_{ij}^* \quad \text{faydalı kriterler için} \quad (3)$$

$$S_i^- = \sum_{j=o+1}^n x_{ij}^* \quad \text{faydasız kriterler için} \quad (4)$$

Adım 4: Faydalı ve faydasız değerlerin toplamları bulunduktan sonra göreceli önem değeri (Q_i) Eşitlik 5 ile bulunur:

$$Q_i = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^m S_i^-}{(S_i^- * \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_i^-})} \quad (5)$$

Adım 5: Göreceli önem değeri (Q_i) bulunduktan sonra toplam performans skoru (T_i) aşağıdaki eşitlikle bulunur. Kısacası her bir enerji alternatifinin göreceli önem değeri, aralarındaki en büyük göreceli önem değerine bölünür. Böylece her bir enerji alternatifi için toplam performans skoru bulunur.

$$T_i = \left(\frac{Q_i}{Q_{max}} \right) \quad (6)$$

Adım 6: Her bir enerji alternatifinin toplam performans skoru, bütün enerji alternatiflerinin toplam performans skoruna bölünerek (Eşitlik 7) son kez normalizasyon yapılmaktadır. Buradaki amaç hangi enerjiye ne kadar pay düşeceğini hesaplamaktır.

$$T_i^* = \frac{T_i}{\sum_{i=1}^m T_i} \quad (7)$$

3.3. Uygulama

COPRAS analizinin yapılabilmesi için öncelikle yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip olduğu teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler faydalı ve faydasız olarak ikiye ayrılır. Tablo 6 faydalı ve faydasız kriterleri göstermektedir.

Tablo 6: Faydalı ve Faydasız Kriterler

Ana Kriter	Alt Kriter	Faydalı/Faydasız
Teknik	Enerji verimliliği	Faydalı
	Ekonomik potansiyel	Faydalı
	İşletme ömrü	Faydalı
	Küresel kurulu güç kapasitesi	Faydalı
	Kapasite faktörü	Faydalı
Ekonomik	Yatırım maliyeti	Faydasız
	Değişken işletme ve bakım maliyeti	Faydasız
	Sabit işletme ve bakım maliyeti	Faydasız
	Elektrik üretim maliyeti	Faydasız
	LCOE elektrik üretim maliyeti	Faydasız
	Geri ödeme periyodu	Faydasız
Çevresel	NOx emisyonu	Faydasız
	CO ₂ emisyonu	Faydasız
	CO emisyonu	Faydasız
	SO ₂ emisyon	Faydasız
	Sera gazı emisyonu	Faydasız
	Partiküller emisyon	Faydasız
	Kurşun (Pb)	Faydasız
	Amonyak NH ₃	Faydasız
	Metan dışı bileşikler (NMVOC)	Faydasız
	Alan gereksinimi	Faydasız
Sosyal	Dışsal maliyetler	Faydasız
	İmalat-inşaat-kurulum istihdam	Faydalı
	İşletme-bakım istihdam	Faydalı

Her bir kriter faydalı ve faydasız olarak ayrılarak Tablo 2, 3, 4 ve 5’de gösterilen kriterlere ait değerler COPRAS yöntemi ile analiz edilmiştir. COPRAS yönteminin sonuçları Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7: Sonuçlar

Enerji Alternatifleri	S_i^+	S_i^-	Q_i	T_i	T_i^*
Rüzgâr	1,091261178	1,350576103	7,138254492	1	0,297427271
Güneş	1,082172785	3,744712144	3,26309467	0,457127814	0,135962278
Hidro	1,933102403	1,828859444	6,398685964	0,896393645	0,266611915
Biyokütle	1,804754675	7,542457341	2,887548292	0,40451742	0,120314512
Jeotermal	1,088708959	2,533394967	4,312416582	0,604127604	0,179684024

COPRAS yöntemi ile yapılan analiz doğrultusunda toplam performans skorlarına göre enerji alternatifleri rüzgâr>hidro>jeotermal>güneş>biyokütle şeklinde sıralanmaktadır. Yöntemin sonuçları rüzgâr enerjisinin en optimal alternatif olduğunu göstermektedir. COPRAS analizinden elde edilen sonuçlar Özcan vd. (2017) tarafından ANP ve TOPSİS yöntemini kullandıkları çalışma sonuçları ile de tutarlılık göstermektedir. Tablodaki son sütun ise aşağıda yapılacak istihdam analizi için gerekli olan elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının %100'e çıkarılması politikası çerçevesinde her bir enerji kaynağına ait optimal yatırım oranlarını göstermektedir.

4. Analiz 2: Yenilenebilir Enerji Yatırımlarıyla Elde Edilecek İstihdam Miktarının Hesaplanması

4.1. Yöntem ve Veri Seti

Türkiye'de elektrik üretiminin %100'ünün yenilenebilir kaynaklarla sağlandığı ve yenilenebilir enerji yatırımlarının arttığı bir senaryoda istihdamda ne kadar artış sağlanacağı JEDI modeli ile hesaplanmıştır. Amerika Ulusal Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen JEDI modeli, geçmişte yapılan yenilenebilir enerji yatırım projelerinden sağlanan gerçek istihdam verilerini kullandığı için tahmin edilen sonuçlar gerçeğe daha yakın çıkmaktadır. Aynı zamanda model, yenilenebilir enerji sektöründe gerçekleşen yatırımların ve ekonomiye yapılan ilave harcamaların milli gelir üzerindeki etkilerini de analize dâhil etmektedir.

JEDI modeli yalnızca yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomi ve istihdam üzerindeki etkilerini hesapladığı için bu yatırımların elektrik üretimindeki payının ne olması gerektiği kullanıcının yapacağı çoklu karar verme analizi ile belirlenmektedir. Bu nedenle JEDI modeli ile analiz yapılırken hangi yenilenebilir kaynağın ne kadar kurulu güce sahip olması gerektiği, önceki kısımda COPRAS yöntemi ile belirlenmiştir. COPRAS sonuçları elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının %100'e çıkarılması durumunda kaynaklara ilişkin optimal kurulu güç büyüklüğünün rüzgâr enerjisinde %30, güneş enerjisinde %14, hidroenerjide %27, biyokütle enerjisinde %12 ve jeotermal enerjide %18 olması gerektiğini göstermektedir.

4.2. Veri Seti

Türkiye'nin 2015 yılına ait elektrik üretimine ilişkin veriler Tablo 8'de gösterilmiştir. İlk sütunda kaynaklar ve ikinci sütunda kaynaklara ait kurulu güç verileri bulunmaktadır. Buna göre toplam kurulu gücün %43'ü yenilenebilir kaynaklardan oluşmaktadır. Sonraki sütun ise mevcut kurulu güçle üretilen elektrik enerjisi miktarını göstermektedir. Burada dikkat edilirse yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimdeki payı %32'ye düşmüştür. Bunun nedeni kesikli üretim yapısı nedeniyle rüzgâr, güneş ve su gibi yenilenebilir enerji kaynaklarındaki elektrik üretim verimliliğinin fosil yakıtlara göre düşük olmasıdır. Diğer bir deyişle kurulu güç büyüklüğü %57 olan fosil yakıtlı santraller toplam elektrik üretiminin %68'ini karşılarken %43 kurulu güce sahip olan yenilenebilir enerji santrallerinin elektrik üretimindeki payı %32'ye düşmektedir. Bununla birlikte tabloda son sütunda görüldüğü üzere jeotermal ve biyokütle santrallerinde elektrik üretim verimliliği bazı fosil yakıtlı santrallerden daha yüksektir. Doğal gaz çevrim santrallerinde MW başına 3,9 GW elektrik üretilirken aynı büyüklükteki biyokütle santrallerinde elektrik üretimi 5 GW'ye, jeotermal santrallerde ise 5,5 GW'ye ulaşmaktadır.

Tablo 8: 2015 Yılı Toplam Elektrik Üretiminde Birincil Kaynak Payları ve Verimlilikleri

	Kurulu Güç (MW)	Katkısı	Üretim (GWS)	Katkısı	1 MW Kurulu Gücün Elektrik Üretim (GW) Miktarı
Toplam Elektrik Arzı	73.147	100	261.783	100	
Fosil Toplam	41.632	%57	178.016	%68	
İthal Kömür	6.070	%8,3	39.986	%15,3	6,6
Taş Kömürü Asfaltit	755	%1,0	4.844	%1,9	6,4
Linyit	8.840	%12,1	31.336	%12,0	3,5
Sıvı Yakıtlar	722	%1,0	2.224	%0,9	3,1
Doğal Gaz	25.244	%34,5	99.627	%38,1	3,9
Yenilenebilir Toplam	31.515	%43	83.767	%32	
Rüzgâr	4.503	%6,2	11.653	%4,5	2,6
Güneş	249	%0,3	194	%0,7	0,8
Hidro (Baraj)	19.077	%26,1	47.514	%18,2	2,5
Hidro (Akarsu)	6.791	%9,3	19.632	%7,5	2,9
Biyokütle	272	%0,4	1.350	%0,5	5,0
Jeotermal	624	%0,9	3.425	%1,3	5,5

Kaynak: TEİAŞ, 2016.

Analiz için gerekli bir başka veri fosil yakıtlı santrallerin ürettiği elektriğin yenilenebilir enerji santrallerinde üretilebilmesi için ne kadar kurulu güce ihtiyaç olduğudur. Daha önce de belirtildiği üzere elektrik üretim verimliliği fosil yakıtlı santraller ile yenilenebilir enerji santrallerinde

farklılık göstermektedir. O halde öncelikle fosil yakıtlı santrallerin ürettiği 178.016 GW elektriğin yenilenebilir santrallerle üretilmesi için ne kadar kurulu güce sahip olması gerektiği hesaplanmalıdır. Bu hesaplama yapılırken bu üretim için hangi yenilenebilir kaynağın bu üretimden ne kadar pay alacağı da dikkate alınmalıdır. Buna ilişkin veri önceki kısımda çoklu karar verme yöntemi (COPRAS) ile belirlenmiş ve fosil yakıtlar yerine kurulması planlanan yenilenebilir enerji santrallerinin optimal büyüklüğü hesaplanmıştır. COPRAS yöntemiyle belirlenen yenilenebilir enerji santrallerine ait optimal kurulu güç büyüklüğü Tablo 9'da görülmektedir.

Tablo 9: Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Miktarı

Enerji Alternatifleri	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güç Büyüklüğü	1 MW Kurulu Güç Başına Elektrik (GW)	Elektrik Üretimi (GW)
Rüzgâr	16.834	29,7%	2,6	43.768
Güneş	7.710	13,6%	0,8	6.168
Hidro	15.110	26,7%	2,5	37.775
Biyokütle	6.830	12,0%	5	34.150
Jeotermal	10.210	18,0%	5,5	56.155
56.694 MW				178.016 GW

Kaynak: TEİAŞ, 2016.

Tablo 9'da görüldüğü üzere elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının %100'e ulaşabilmesi için 56.694 MW kurulu güce ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerji kurulu gücünün bu büyüklüğe ulaşması halinde fosil yakıtlı santraller ile üretilen 178.016 GW elektrik üretimi karşılanmış olmaktadır. Dikkat edilirse aynı büyüklükte elektrik üretiminin gerçekleşmesi için yenilenebilir enerji santrallerinin kurulu güç büyüklüğü (56.694 MW) fosil yakıtlı santrallere (41.632 MW) göre 1,4 kat daha yüksektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki kesikli üretim yapısı daha fazla kurulu güce ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Bu durum yatırım maliyetleri açısından dezavantaj oluştursa da çevre, insan sağlığı, dış ticaret ve istihdam açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

İstihdam analizinin yapılabilmesi için gerekli bir başka veri yenilenebilir enerji santrallerinin imalat, kurulum ve işletilmesinde istihdam edilecek çalışan sayılarıdır. Bu değişkenleri göstermek üzere oluşturulan Tablo 10'da JEDI tarafından tahmin edilen her bir kaynağa ait 50 MW büyüklüğündeki santrallerde çalışacak istihdam türleri doğrudan, dolaylı ve uyarılmış istihdam şeklinde üçe ayrılmıştır.

Tablo 10: 50 MW Kurulu Güce Sahip Yenilenebilir Enerji Santrallerinde İstihdam Edilecek Çalışan Sayıları

	İstihdam Türü	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biyokütle	Jeotermal
Malzeme Üretimi ve İnşaat/Kurulum Süreci	Doğrudan	271	550	849	155	295
	Dolaylı	409	356	197	42	168
	Uyarılmış	170	265	273	62	84
Tesisin İşletilmesi Süreci (Yıllık)	Doğrudan	11	32	155	25	19
	Dolaylı	4	18	42	94	6
	Uyarılmış	2	8	62	35	6

Kaynak: NREL, JEDI, 2016.

Tabloda görülen doğrudan istihdam verisi, yenilenebilir enerji sektöründe imalat, inşaat, bakım ve onarım işlerinde yani birincil sektörde istihdam edilen kişileri göstermektedir. Dolaylı işler ise birincil sektöre girdi sağlayan ikincil endüstrilerden oluşmaktadır. Uyarılmış (induced) istihdam ise çalışanların elde ettikleri gelirleri tüketmeleri nedeniyle ekonomideki bazı sektörlerin uyarılması ve böylece yeni istihdam olanaklarının doğmasıyla ortaya çıkmaktadır. Tablo 10’da görüldüğü üzere her iki aşamada tüm istihdam türleri açısından en fazla iş sağlayan yenilenebilir enerji yatırımı 1.578 kişi ile hidroenerji santralleri iken biyokütle santralleri 413 kişi ile en az istihdam sağlayan yatırım olmaktadır.

4.3. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarıyla Kazanılacak İlave İstihdam Miktarı

JEDI modelinden elde edilen ve her kaynağa ait 50 MW’lık kurulu güç için hesaplanan istihdam verileri Tablo 11’de görülmektedir.

Tablo 11: Yenilenebilir Enerji Santrallerinde Çalışabilecek İstihdam Miktarı

	İstihdam Türü	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biyokütle	Jeotermal
Malzeme Üretimi ve İnşaat/Kurulum Süreci	Doğrudan	91,205	84,763	256,553	21,172	60,331
	Dolaylı	137,698	54,937	59,387	5,759	34,338
	Uyarılmış	57,356	40,886	82,605	8,434	17,236
	Toplam	286,259	180,586	398,545	35,366	111,905
Tesisin İşletilmesi Süreci (Yıllık)	Doğrudan	3,542	4,958	46,840	3,444	3,856
	Dolaylı	1,243	2,811	12,741	12,797	1,139
	Uyarılmış	601	1,188	18,659	4,812	1,252
	Toplam	5,386	8,957	78,240	21,054	6,247

Kaynak: Yazarlar tarafından JEDI modeli kullanılarak tahmin edilmiştir.

Tabloda yer alan analiz sonuçlarına göre Türkiye’nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının %100’e ulaşabilmesi için yenilenebilir enerji santrallerine yapılacak ilave yatırımlarla 576.664 kişiye doğrudan ve tam zamanlı istihdam sağlanacağı tahmin edilmiştir. Diğer bir deyişle

yenilenebilir enerji santrallerinde kullanılacak parçaların üretimi, santralin kurulumu, bakım-onarımı ve işletilmesinde yaklaşık 580.000 kişiye ilave doğrudan iş imkânı doğacaktır. Birincil sektöre girdi sağlayan dolaylı istihdam miktarı ise 322.852 kişidir. Önceki aşamalarda elde edilen gelirlerin harcanmasıyla oluşacak uyarılmış istihdam miktarı ise 233.030 kişi olacaktır. Tüm istihdam türlerinin dâhil edilmesiyle ülkede toplam istihdamda sağlanan artış ise 1.132.545 kişi olacaktır. Diğer bir deyişle Türkiye’nin söz konusu hedefe ulaşması halinde kuracağı ilave 56.694 MW kurulu güç yatırımı ile yaklaşık 1.133.000 kişiye ilave istihdam imkânı doğacaktır. Türkiye’deki 15-64 yaş aralığındaki işsiz sayısının 2016 Ekim rakamlarına göre 3.647.000 kişi olduğu dikkate alındığında hedeflenen yatırımların gerçekleşmesi halinde ve yerine ikame edilen fosil yakıtlı santrallerde çalışanlar dikkate alınmadığında Türkiye’deki işsizliğe %31 oranında çözüm bulunacak ve işsizlik oranı %11,8 düzeyinden %8,1 düzeyine inecektir.

Sonuç

Analiz sonuçlarının da gösterdiği üzere Türkiye’de enerjide dışa bağımlılığı azaltabilmek ve istihdam yaratmayan büyümenin yol açtığı işsizlik sorununu çözebilmek için yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması gerekmektedir. Mevcut enerji politikası ile Türkiye’nin kalkınmasını sürdürmesi oldukça zordur. Çalışmadan elde edilen analiz sonuçları da bu varsayımı doğrulamakta ve Türkiye’nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payını %100’e çıkarması, işsizliği azaltmak için bir fırsat sunmaktadır. Ancak söz konusu hedeflere ulaşabilmek ve yenilenebilir enerji yatırımlarıyla yeterli istihdamı sağlayabilmek için hükümetin uygulaması gereken birtakım politikalar bulunmaktadır.

Yüksek dışsal maliyetlerine rağmen fosil yakıtlar ile elektrik üretiminde ısrar edilmesinin sosyal maliyeti ağırdır. Sürdürülebilir kalkınma açısından yanlış olan bu politikada radikal bir değişikliğe gidilmesi ve üretim lisanslarının dışsal (sosyal) maliyetler göz önüne alınarak verilmesi yerinde bir karar olacaktır. Devletin yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin yatırımları desteklemesi, fosil yakıtların çevreye yaydığı negatif dışsallıklar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Yenilenebilir enerji sektörüne vergi indirim, kredi faizlerinde kolaylık ve gümrük muafiyeti gibi teşvikler sağlanabileceği gibi, yenilenebilir enerji santrallerinde kullanılacak malzeme üretiminin ülkemizde gerçekleştirilmesini teşvik edecek çalışmalar yapılmalıdır.

Yine fosil yakıt tüketiminin ülkenin kalkınması önünde engel olduğu kabul edilerek hükümet politikalarının bu kabul üzerinden oluşturulması gerekmektedir. Enerjinin fazlaca tüketildiği ulaşım ve konut gibi tüm alanlarda yenilenebilir enerjilerin yaygınlaşmasını teşvik edecek mekanizmaların hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Ülke kaynaklarının etkin kullanımını sağlamak için her bölgenin sahip olduğu yenilenebilir enerji potansiyeline uygun bölgesel teşvikler sağlanmalıdır. Bu yatırımların bölgede gerçekleştirilmesi için gerekli altyapının tesis edilmesi ve girişimcinin bu yönde bilgilendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak yenilenebilir enerji yatırım hedefinin gerçekleştirilmesi için ülkenin sahip olduğu önemli bir potansiyel mevcuttur. Ancak bu potansiyelin hayata geçirilmesi her şeyden önce hükümetin yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması yönünde atacağı adımlar ile mümkündür. Özel sektörün bu yöndeki yatırımlarında yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektriğe uygun bir fiyattan alım garantisi verilmesi ve enerji fiyatlandırması yapılırken de karbon emisyonunun bedelini bütünüyle elektrik üretim maliyetine yansıtan bir fiyatlandırma yapılması gerekmektedir.

Kaynakça

- Altuntepe, N. ve Güner, T. (2013), “Türkiye’de İstihdam-Büyüme İlişkisinin Analizi (1988-2011)”, *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5(1), 73-84.
- Ataman, B.C. (2006), “Türkiye’de 2000-2005 Dönemi İşsizlik Üzerine Tartışmalar”, *İktisat İşletme ve Finans*, 21(239), 93-107.
- Banaitiene, N., Banaitis, A., Kaklauskas, A. ve Zavadskas, E.K. (2008), “Evaluating the Life Cycle of Building: a Multivariant and Multiple Criteria Approach”, *Omega*, 36(3), 429-441.
- Barışık, S., Çevik, E.İ. ve Çevik, N.K. (2010), “Türkiye’de Okun Yasası, Asimetri İlişkisi ve İstihdam Yaratmayan Büyüme: Markov-Switching Yaklaşımı”, *Maliye Dergisi Yayınları*, 159.
- Benayoun, R., Roy, B. ve Sussman, B. (1966), “ELECTRE: Une Méthode Pour Guider le Choix en Présence de Points de Vue Multiples”, *Note de Travail*, 49, SEMA-METRA International, Direction Scientifique.
- Brauers, W.K.M. ve Zavadskas, E.K. (2006), “The MOORA Method and Its Application to Privatization in a Transition Economy”, *Control and Cybernetics*, 35(2), 445.
- Ceylan, S. ve Şahin, B.Y. (2010), “İşsizlik ve Ekonomik Büyüme İlişkisinde Asimetri”, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 11(2), 157-165.
- Chatterjee, P., Athawale, V.M. ve Chakraborty, S. (2011), “Materials Selection Using Complex Proportional Assessment and Evaluation of Mixed Data Methods”, *Materials and Design*, 32, 851-860.
- Chatterjee, N. ve Bose, G. (2013), “A COPRAS-F Base Multi-Criteria Group Decision Making Approach for Site Selection of Wind Farm”, *Decision Science Letters*, 2(1), 1-10.
- Churchman, C.W. ve Ackoff, R.L. (1954), “An Approximate Measure of Value”, *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(2), 172-187.

- EİA (2016), “*Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016*”, US Energy Information Administration, http://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- ETKB (2016), “*İstatistikler, Denge Tabloları, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü*”, Ankara, <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları> (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- Görez, T. ve Alkan, A. (2005), “Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidroelektrik Enerji Potansiyeli”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 19-21.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K. (1981), “Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications”, New York: Springer.
- IPCC (2014), “*IPCC Working Group III-Mitigation of Climate Change, Annex III: Technology-Specific Cost and Performance Parameters*”, https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- IRENA (2016), “*Renewable Energy and Jobs Annual Review 2016*”, International Renewable Energy Agency, http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2016.pdf (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K., Raslanas, S., Ginevicius, R., Komka, A. ve Malinauskas, P. (2006), “Selection of Low-e Window in Retrofit of Public Buildings by Applying Multiple Criteria Method COPRAS: A Lithuanian Case”, *Energy and Buildings*, 38, 454-462.
- Kayakutlu, G. ve Ercan, S. (2015), “Regional Energy Portfolio Construction: Case Studies in Turkey. In Sustainable Future Energy Technology and Supply Chains”, *Springer International Publishing*, 107-126.
- Kenny, R., Law, C. ve Pearce, J.M. (2010), “Towards Real Energy Economics: Energy Policy Driven by Life-Cycle Carbon Emission”, *Energy Policy*, 38(4), 1969-1978.
- Kesici, M.R. (2010), “Türkiye Ekonomisinin Yüksek Büyüme Evresinde İstihdam ve İşsizlik”, “*İş, Güç*” *Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi*, Temmuz, 12(3), 07-26.
- MacCrimmon, K.R. (1968), “Decision Making Among Multiple-Attribute Alternatives: A Survey and Consolidated Approach”, *RAND Memorandum*, RM-4823-ARPA.
- Muratoğlu, Y. (2011), “Büyüme ve İstihdam Arasındaki İlişki: Türkiye Örneği”, *International Conference on Eurasian Economies*, Conference Paper, <http://avekon.org/papers/335.pdf> (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- NETL (2013), “*Power Generation Technology Comparison from a Life Cycle Perspective*”, National Energy Technology Laboratory, US Department of Energy, Pittsburgh, PA, USA, <https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Research/Energy%20Analysis/Life%20Cycle%20Analys>

- is/Technology-Assessment-Compilation-Report.pdf (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- OECD (2015), “*OECD Employment Outlook 2015*”, OECD Publishing, Paris, <http://www.oecd.org/els/oecd-employment-outlook-19991266.htm> (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- Özcan, E., Ünlüsoy, S., ve Eren, T. (2017), “ANP VE TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi”, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, *Science and Technology*, 5(2), 204-219.
- REN21 (2015), “*Renewables 2015 Global Status Report*”, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_KeyFindings_lowres.pdf (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- Roy, B. (1985), “Méthodologie Multicritère d" aide à la Décision”, *Economica*.
- Roy, B. (1991), “The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods”, *Theory and Decision*, 31(1), 49-73.
- Rutovitz, J. (2010), “South African Energy Sector Jobs to 2030”, *Greenpeace Africa by the Institute for Sustainable Futures*, University of Technology, Sydney, Greenpeace Africa, Johannesburg.
- Rutovitz, J. ve Harris, S. (2012), “Calculating Global Energy Sector Jobs: 2012 Methodology”, *Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology*, Sydney.
- Srinivasan, V. ve Shocker, A.D. (1973), “Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preferences”, *Psychometrika*, 38(3), 337-369.
- Stein, E.W. (2013), “A Comprehensive Multi-Criteria Model to Rank Electric Energy Production Technologies”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 640-654. https://e3garden.com/wp-content/uploads/2013/10/RSER2418_Stein.pdf (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- Taban, S. (2011), “Küresel Finans Krizi Öncesi ve Sonrası Dönemde Türkiye’de Ekonomik Büyümenin Dinamikleri”, *SETA Analiz*, 37, 1-33.
- Tarı, R. ve Abasız, T. (2010), “Asimetrik Etkiler Altında Okun Yasası’nın Eşik Hata Düzeltme Modeli ile Sınanması: Türkiye Örneği”, *İktisat İşletme ve Finans*, 25(291), 53-77.
- TCMB (2016), “*Elektronik Veri Dağıtım Sistemi*”, Genel İstatistikler, <http://evds.tcmb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- TEİAŞ (2016), “*Türkiye 2015 Yılı Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri*”, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü Planlama ve Stratejik Yönetim Dairesi Başkanlığı Üretim Planlama ve İstatistik Müdürlüğü, Ankara, <http://www.teias.gov.tr/T%C3%BCrkiyeElektrik%C4%B0statistikleri/istatistik2015/istatistik2015.htm> (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- UNFCCC (2015), “*GHG Data: GHG Total Including LULUCF*”, United Nations Framework Convention on Climate Change <http://unfccc.int/>

- ghg_data/ghg_data_unfccc/time_series_annex_i/items/3842.php (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- US Energy Information Administration (2015), “*Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook*”, http://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo15/pdf/electricity_generation_2015.pdf (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- Uysal, D. ve Alptekin, V. (2009), “Türkiye Ekonomisinde Büyüme-İşsizlik İlişkisinin Var Modeli Yardımıyla Sınanması (1980-2007)”, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Aralık, 25, 69-78.
- World Bank (2015), “*World Development Indicators: Energy Dependency, Efficiency and Carbon Dioxide Emissions*”, <http://wdi.worldbank.org/table/3.8> (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- World Bank (2016), “*World DataBank, World Development Indicators*”, <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators> (Erişim Tarihi: 15.05.2017)
- Yazdani-Chamzini, A., Fouladgar, M.M., Zavadskas, E.K. ve Moini, S.H.H. (2013), “Selecting the Optimal Renewable Energy Using Multi Criteria Decision Making”, *Journal of Business Economics and Management*, 14(5), 957-978.
- Yılmaz Eser, B. ve Terzi, H. (2008), “Türkiye’de İşsizlik Sorunu ve Avrupa İstihdam Stratejisi”, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30, 229-250.
- Zavadskas, E.K. ve Kaklauskas, A. (1996), “Pastatų Sistemotechninis Įvertinimas [eng. Systemic-technical Assessment of Buildings]”, Vilnius: Technika.
- Zavadskas, E.K. ve Turskis, Z. (2010), “A New Additive Ratio Assessment (ARAS) Method in Multicriteria Decision-Making”, *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.