

Entropi ve Waspas Yöntemleri Kullanılarak Türkiye İçin Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağının Seçimi

The Selection of Appropriate Renewable Energy Source For Turkey By Using Entropy and Waspas Methods

Coşkun KARACA¹,
Alptekin ULUTAŞ²

Orcid No: 0000-0003-4294-2365
Orcid No: 0000-0002-8130-1301

ÖZET

Üretim için vazgeçilmez bir girdi olan enerji, üretim ve tüketimiyle çevre ve insan sağlığı üzerinde negatif dışsallıklara neden olmakta ve ülke kalkınmasına zarar vermektedir. Bu nedenle ülkeler enerji kaynağı seçimi yaparken iki temel motivasyonla hareket etmektedir. İlki enerji kaynağının sağladığı üretim artışını ve rekabet gücünü dikkate alarak güçlü bir ekonomiye sahip olmak, ikincisi ise halkın refahını düşürecek enerji kaynak seçiminden uzak durmaktır. Ülkemiz için uygun olabilecek enerji kaynak seçiminin yapıldığı bu çalışmada Entropi yöntemi yardımıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına ait teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler, önem derecesine göre sıralanmış ve ikinci aşamada WASPAS yöntemiyle Türkiye’de enerji ihtiyacının karşılanmasında uygun yenilenebilir enerji kaynağının hangisi olabileceği yönünde öneri getirilmiştir. WASPAS yönteminden elde edilen sonuçlar Türkiye için yatırım yapılabilecek uygun yenilenebilir enerji kaynak sıralamasının Hidro, Jeotermal, Rüzgâr, Biyokütle, Güneş şeklinde olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji seçimi, çok kriterli karar verme, Entropi, WASPAS

ABSTRACT

The production and consumption of energy, which are indispensable inputs for production, cause negative externalities on the environment and human health as well as harm the development of the country. Therefore, countries have two basic motivations when selecting energy source. The first is to have a strong economy by taking into account the increase in production and competitive power provided by the energy source, and the second is to avoid the selection of energy source that will reduce the prosperity of the people. The technical, economic, environmental and social criteria of renewable energy sources are ranked with respect to their importance degree by means of Entropy method in this study where the energy source selection which can be suitable for our country is made. In this study where the energy source selection which can be suitable for our country is made and in second stage the WASPAS method is used to suggest which renewable energy source is the most suitable to meet the energy demand in Turkey. The results obtained in WASPAS method indicated the ranking of renewable energy sources, which are the suitable for investment in Turkey, as Hydro, Geothermal, Wind, Biomass, Solar.

Key Words: Renewable energy selection, Multi criteria decision-making, Entropy, WASPAS

1. GİRİŞ

Ekonomik büyüme için zorunlu bir girdi olan enerji, yanlış kullanıldığında çevresel ve ekonomik problemlere neden olmakta ve halkın yaşam kalitesine zarar vermektedir. Günümüzde pek çok ülke enerji kullanımından doğan bu tür zararlardan kurtulmak amacıyla alternatif enerji politikaları geliştirmektedir. Bu politikalar özellikle 1973 yılında yaşanan petrol krizi

ile artmış ve küresel rekabet gücü elde etmek isteyen ülkeler, enerji fiyatlarında yaşanan yükselişi telafi etmek amacıyla alternatif enerji arayışına girmişlerdir.

Ülkeler sürdürülebilir kalkınmalarını destekleyecek uygun alternatif enerji kaynağını seçerken pek çok kısıt göz önünde bulundurmaktadır. Örneğin fosil yakıtlar düşük üretim maliyeti ile ülkelerin rekabet gücüne destek olurken çevreye saldırdığı zararlı gazlar

¹Doç. Dr., Cumhuriyet Üniversitesi, karaca.coskun@gmail.com

²Dr.Öğr. Üyesi, Cumhuriyet Üniversitesi

bu yakıtların kullanımını sınırlandırmaktadır. Bir diğer alternatif olan nükleer enerji ise sahip olduğu yüksek verimlilik nedeniyle uygun bir enerji kaynağı görünümü verirken enerji üretimiyle ortaya çıkan nükleer kaza riskleri, yüksek radyoaktivite yayan atıklar ve bunların güvenli bir şekilde saklanması getirdiği maliyetler bu santrallerin sürdürülebilir kalkınma için tehdit oluşturmasına neden olmaktadır.

Enerji ihtiyacının karşılanmasında son alternatif, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Geçmişte yenilenebilir kaynakların yüksek üretim maliyetine sahip olduğu yönündeki sorunlar yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaşması ile günümüzde çözülmüş ve yenilenebilir enerji üretim maliyetleri fosil yakıtlar ile rekabet eder hale gelmiştir. Ayrıca bu kaynakların ülkeler tarafından tercih edilmesinde, enerji ithali nedeniyle doğabilecek dış ticaret açıklarını önlemesi ve daha kaliteli bir çevreye imkân tanınması gibi faktörler de yer almaktadır.

Sahip olduğu üstünlükler nedeniyle pek çok ülke yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapsa da bu kaynakların ülkelere olan faydasını artırmak için hangi kaynağa ne büyüklükte yatırım yapılacağı belirlenmesi gerekmektedir. Yatırım kararı verilirken öncelikle yatırımın geri ödeme süresi, yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli, enerji üretimiyle açığa çıkan emisyon miktarı, kurulum ve işletme sürecinde sağlanan ilave istihdam gibi tüm faktörler dikkate alınmak zorundadır.

Bu nedenle çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip olduğu bu tür ve benzeri kriterler dikkate alınarak Türkiye için yatırım yapılacak uygun enerji kaynağı tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin seçim yapılırken nihai karara iki aşamada ulaşılmıştır. İlk aşamada Entropi yöntemi ile kriterlere ilişkin ağırlıklar bulunmuş ikinci aşamada ise ağırlıkların ve kriterlere ait objektif verilerin yardımıyla yenilenebilir enerji kaynak sıralaması WASPAS yöntemi ile önerilmiştir. Literatürde az sayıda çalışma uygun enerji kaynağı seçimini yapmak için WASPAS yöntemini kullanmıştır (Mardani vd., 2017). Bu çalışma ile ilk kez yenilenebilir kaynak seçiminde Entropi ve WASPAS yöntemleri birlikte kullanılmıştır. WASPAS yönteminden elde edilen sonuçlar Türkiye için hidroelektrik enerjisinin yatırım yapılacak uygun bir seçim olduğunu göstermiş ve yenilenebilir enerji kaynak sıralaması Hidro, Jeotermal, Rüzgâr, Biyokütle, Güneş şeklinde önerilmiştir.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ YATIRIMLARININ TÜRKİYE’NİN ENERJİ İHTİYACININ KARŞILANMASINDAKİ ÖNEMİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye’de yaygınlaşması için üç önemli sebep bulunmaktadır. Bunlardan ilki ülkede yaşam kalitesini düşüren çevre sorunları iken diğer ikisi yüksek boyutlara ulaşan cari açık ve işsizlik sorunudur.

Enerji ihtiyacının önemli bir kısmının fosil yakıtlar ile karşılanması, Türkiye’de hava kirliliğinin yüksek boyutlara ulaşmasına neden olmuştur. Birleşmiş Milletler tarafından ülkeler için hazırlanan iklim değişikliği verileri Türkiye’nin 1990 yılındaki 135 milyon ton olan karbondioksit miktarının 2015 yılında yaklaşık %150 artışla 336 milyon tona ulaştığını göstermektedir (BP, 2016a). İnsan kökenli (antropojenik) sera gazı oluşumunda %77 payı olan karbondioksit salınımının önemli bir kısmı, fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkmaktadır (IPCC, 2007: 36). Çevre Koruma Ajansı verileri ise fosil yakıtların sera etkisindeki rolünün %79,4 olduğunu göstermektedir (EESI, 2016). Bu derece yüksek kirlilik düzeyine rağmen 2015 yılı için Türkiye’de fosil yakıtların birincil enerji arzı içindeki payı %86 ile hala çok yüksektir (BP, 2016b: 41). Sektörler içerisinde en yüksek enerji gereksinimine sahip elektrik sektöründe fosil yakıtların elektrik üretimindeki payı 2015 yılı için %67,8’dir (TEİAŞ, 2016). Bu veriler Türkiye’nin maruz kaldığı kirlilik düzeyini ve buna neden olan üretim ve tüketim yöntemlerine acil çözüm bulunması gerektiğini açıkça göstermektedir (UNFCCC, 2015).

Günümüzde kalkınma iktisatçıları fosil yakıtların canlı yaşamını tehdit eden ve iklim değişikliğine neden olan yüksek sera gazı salınımının bu yakıtlar yerine ikame edilecek yenilenebilir enerji kaynaklarıyla aşılanacağını ileri sürmektedirler. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından gerçekleştirilen Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) son yayınladığı 5. Değerlendirme raporunda da bu duruma dikkat çekilmiş ve sera gazlarının iklim üzerinde gösterdiği olumsuz etkiler şu şekilde ifade edilmiştir (IPCC, 2013: 4-11):

“Küresel iklimdeki ısınma kesindir ve 1950’li yıllardan bu yana iklimde gözlenen değişiklikler bin yıllık bir zaman dönemine kadar daha önce hiç görülmemiş düzeydedir... Geçen 30 yılın her 10 yılı, yeryüzünde 1850’den beri kaydedilen küresel sıcaklık verileri için hesaplanan tüm on yıllık dönemlerden ardışık bir biçimde daha sıcak olmuştur... 19. yüzyıl ortasından bu yana gözlenmiş olan deniz düzeyi yükselmesi, önceki iki bin yıllık dönemdeki ortalama yükselme hızından daha büyüktür... Pek çok bölgede

buz kütleleri hacim kaybetmekte ve kar örtüsü azalmaktadır... Bu sorunların ortaya çıkışında ve sera gazı salınımının artmasında sorumluluğun önemli bir kısmı fosil yakıtlara aittir.”

Ekonomik açıdan bakıldığında ise yenilenebilir enerji potansiyelini değerlendiremeyen ülkelerin fosil yakıt ithal ederek cari açık tehdidiyle karşılaştığı görülmektedir. Bu ülkelerin ithal ettiği yakıt fiyatlarında meydana gelen artışlar ülkenin üretim ve milli hasılasına zarar vermekte ve enerji arz güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Ülkelerin enerji açısından dışa bağımlı olması, kaynakların miktar ve fiyat kontrolünü yabancı ülkelerin inisiyatifine bırakmaktadır. Kaynağın azalması durumunda, en temel ekonomi kuralı gereği kaynağın fiyatında bir artış söz konusu olacaktır. Günümüzde ülkelerin gerçekleştirmek istedikleri yüksek büyüme hızının yüksek enerji fiyatları ile sürdürülmesi imkânsızdır.

Türkiye, üretimini yıllarca ithal ettiği kaynaklar ile karşılamıştır. Bu nedenle ülkeden çıkan sermaye miktarı trilyon dolarlar ile ölçülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2013 yılı verileri Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin %73,5'ini ithal kaynaklar, %26,5'lik kısmını ise yerli kaynaklarla karşıladığını göstermektedir (ETKB, 2015). 2013 yılında enerji ithaline 55,9 milyar dolar ödenmiştir. Bu tutar aynı yıl gerçekleşen 79,9 milyar dolar dış ticaret açığının %70'ini oluşturmaktadır (TCMB, 2015). Bu verilere göre tükettiği enerjinin yaklaşık dörtte üçünü ithal eden Türkiye, enerjide dışa bağımlılığın en yüksek olduğu birkaç ülke arasında yer almaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre Türkiye, 138 ülke içinde net doğal gaz ithalinde beşinci, net kömür ithalinde sekizinci, net petrol ithalinde ise on beşinci sırada yer almaktadır (IEA, 2015). Çözüm bulunamadığı takdirde ülkenin enerjide dışa bağımlılığı ülke içinde ve uluslararası ilişkilerde siyasi ve ekonomik sorunların giderek büyümesine neden olacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapan ülkeler açısından bir diğer kazanç işsizlik sorununun çözümüdür. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansının 2015 yılına kadar ülkelerce gerçekleştirilen yenilenebilir enerji yatırımlarıyla 8,1 milyon istihdam sağlandığına ilişkin verisi yenilenebilir enerji potansiyelini değerlendiremeyen ülkelerin önemli bir istihdam fırsatını kaçırdığını açık biçimde göstermektedir (IRENA, 2016: 17). Bu fırsatı kaçıran ülkelere de Türkiye'dir. OECD tarafından yayınlanan 2014 yılı istihdam verilerine göre Türkiye'de çalışabilir nüfusun ancak %49,5'i istihdam edilmektedir (OECD, 2015:

267). İşgücü miktarı açısından Türkiye'nin genç bir nüfusa sahip olması ülkeyi avantajlı kılmaktadır. Ancak Türkiye'de Ocak 2017 işsizlik oranının %13'e kadar yükselmesi işgücünün istihdama dönüşme oranı açısından ülkede önemli sorunlar yaşandığını ve bu sorunun çözümü için yapısal reforma gerek duyulduğunu açıkça göstermektedir.

Bu reformlardan ilki, ithal kaynaklarla ve dış finansman ile büyüyen ekonominin ulusal kaynaklarını harekete geçirecek politikaların belirlenmesidir. İthalat içerisinde en yüksek payın enerji kaynaklarına ait olması çözüme ilk olarak bu kaynaktan başlanmasına ve enerji gereksiniminin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanmasına işaret etmektedir. Her bölgenin sahip olduğu yenilenebilir enerji potansiyeli ve üretim faktörü imkânları bellidir. Bu imkânlar değerlendirilerek santral kurulumu, işletilmesi ve gerekli parçaların yerli firmalar tarafından üretilmesi ülke ekonomisine ivme kazandırılması ve bu yolla ilave istihdam elde edilmesi mümkündür.

3. METODOLOJİ

Değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıklarının hesaplanmasında Entropi yöntemi kullanılmıştır. İlk aşamada elde edilen bu kriter ağırlıklarından hareketle alternatiflerin sıralaması ise WASPAS yöntemiyle yapılmıştır.

3.1 Entropi Yöntemi

Entropi kavramı tesadüfi bir değişkenle ilgili olan belirsizliğin ölçülmesi anlamında kullanılmaktadır. Kriter ağırlıklarını sübjektif değer yargılarına başvurmadan objektif yöntemlerle analiz ettiğinden bu yöntem pek çok çalışmada sıkça kullanılmaktadır. Literatürde bulanık sayılarla yaygın olarak birleştirilmesine rağmen genel olarak Entropi yöntemi kriterlerin nesnel ağırlığının bulunmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem, 5 adımda özetlenebilir (Wang ve Lee, 2009; Li vd., 2011):

Adım 1-1: İlk aşamada kriterlerden ve karar alternatiflerinden oluşan bir karar matrisi oluşturulur. Aşağıda bu karar matrisi gösterilmektedir:

$$D = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bu eşitlikte x_{ij} , i . alternatifinin j . kriterde gösterdiği performansı ifade etmektedir. Bu karar matrisinde toplam n adet kriter ve m adet alternatif bulunmaktadır.

Adım 1-2: Karar matrisindeki değerler eşitlik 2 ve 3'teki denklemler yardımıyla standartlaştırılırlar. Eşitlik 2, fayda temelli kriterler için kullanılırken eşitlik 3, minimize edilmeye çalışılan maliyet kriterleri için kullanılmaktadır. Eşitlik 2 ve 3'deki r_{ij} değerleri, x_{ij} değerinin standartlaşmış halini göstermektedir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j(x_{ij})} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_j(x_{ij})}{x_{ij}}, \quad \min_j(x_{ij}) \neq 0 \quad (3)$$

Adım 1-3: Karar matrisinde yer alan değerler eşitlik 4 yardımı ile normalize edilmektedir. Eşitlik 4'deki f_{ij} değeri normalize edilmiş değeri göstermektedir.

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (4)$$

Adım 1-4: Normalizasyon işleminden sonra, her bir kriterin entropi değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır. Eşitlik 5'de gösterilen E_j değeri j . kriterin entropisini göstermektedir.

$$E_j = -\frac{\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln(f_{ij})}{\ln(m)} \quad (5)$$

Adım 1-5: Son olarak her bir kriterin objektif ağırlığı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$w_j = \frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^n (1-E_j)} \quad (6)$$

Eşitlik 6'da gösterilen w_j değeri j . kriterin ağırlığını göstermektedir. Entropi yönteminin sonucunda kriter ağırlıkları elde edilir. Yöntemden elde edilen ağırlıklar WASPAS gibi daha farklı yöntemlerde kriterler dâhilinde puanlama yapılması amacıyla kullanılmaktadır.

3.2. WASPAS Yöntemi

Zavadskas vd. (2012) tarafından WSM (Ağırlıklı Toplam Metodu) ve WPM (Ağırlıklı Çarpım Modeli) yöntemleri birleştirilerek elde edilen WASPAS yöntemi, son dönemlerde çok kriterli karar verme yöntemlerinde başvurulan yaygın bir yöntem haline gelmiştir. Zavadskas vd. (2012) çalışmalarında bu yöntemin diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlara ulaştığını ispatlamıştır. Literatürde çok sayıda çalışmada WASPAS yönteminin bulanık sayılar (tip 1 bulanık, aralıklı tip 2 bulanık, sezgisel bulanık ve tek değerli sinirsel (neutrosophic) bulanık) ve gri sayılar ile birleştirildiği görülmektedir (Mardani vd., 2017). Çalışmada kullanı-

lan karar matrisi bulanık olmayan (crisp) veriler içerdiği için bu çalışmada bulanık olmayan (crisp) WASPAS kullanılmaktadır. WASPAS yönteminin adımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Adım 2-1: WASPAS yönteminde ilk aşamada kriterler baz alınarak alternatiflerin puanlandırıldığı matriste (eşitlik 1'de gösterilen), 7 ve 8. eşitlikler kullanılmış ve değerler normalize edilmiştir. (Zavadskas ve Turskis, 2010). Eşitlik 7 faydalı kriterler için, eşitlik 8 ise maliyet kriterleri için kullanılmaktadır.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (7)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{(1/x_{ij})}{\sum_{i=1}^m (1/x_{ij})} \quad (8)$$

Eşitlik 7 ve 8'de gösterilen \bar{x}_{ij} , i . alternatifinin j . kriterde gösterdiği performansın normalize edilmiş halini göstermektedir.

Adım 2-2: Her bir alternatif için toplam göreceli önem değeri WSM (ağırlıklı toplam model) ($Q_i^{(1)}$)'e göre ve WPM (ağırlıklı çarpım model) ($Q_i^{(2)}$)'e göre ayrı ayrı hesaplanır. Bu hesaplamada Entropi yöntemi ile bulunan ağırlıklar her iki işleme de dâhil edilmektedir.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad (9)$$

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (10)$$

Adım 2-3: Her bir alternatif için her iki toplam göreceli önem değeri denklem 11'deki eşitlikle birleştirilir. Böylece, her bir alternatif için ağırlıklı birleştirilmiş son skorlar (Q_i) elde edilir.

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} \quad (11)$$

Görüldüğü gibi WASPAS yöntemi karışık işlemlere sahip olmadığı için hızlı bir şekilde sonuca ulaşmayı sağlamaktadır.

4. UYGULAMA

4.1. Veri ve Örneklem

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkeler için önemi belirlenirken 4 temel kriter referans alınmaktadır. Bunlar teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterlerdir. Analize hangi kriterlerin dâhil edileceğine karar verilirken yenilenebilir enerji kaynaklarının tüm özellikleri kavranmaya çalışılmış ve literatürde enerji kaynak seçimi yapılırken kullanılan kriterler tercih edil-

miştir (Bkz. Kayakutlu ve Ercan, 2015; Kenny, Law ve Pearce, 2010; Stein, 2013). Aşağıda bu kriterler kısaca açıklanmaktadır.

4.1.1. Teknik Kriterler

Teknik açıdan bakıldığında yüksek verimliliğe sahip ve aynı zamanda potansiyeli fazla olan yenilenebilir kaynakların tercih edilmesi gerekmektedir. Teknik kriterler yenilenebilir enerji kaynaklarına ve yatırımlarına ilişkin teknik özellikleri içermekte ve enerji kaynaklarının verimlilikleri, potansiyeli ve kapasitesi gibi alt kriterlerden oluşmaktadır. Tablo 1 teknik kriterleri oluşturan alt kriterlere ilişkin verileri göstermektedir.

Tablo 1’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 enerji kaynağı güneş enerjisidir. Tabloda yer alan ekonomik potansiyel verisi ise Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip olduğu teorik potansiyelin ne kadarının ekonomik açıdan düşük maliyet ile üretilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Buna göre hidroelektrik

enerjisi yılda 140 GW ile en iyi ekonomik potansiyele sahip enerji kaynağı olmuştur. Kapasite faktörü ise santralin belli bir dönemde ürettiği toplam enerjinin tam kapasitede üretebileceği enerjiye bölümüyle elde edilmektedir. Buna göre tam kapasiteye en yakın üretim jeotermal ile sağlanmaktadır.

4.1.2. Ekonomik Kriterler

Yenilenebilir enerji kaynakları teknik açıdan optimal özelliklere sahip olsa da bu kaynaklara yapılacak yatırımlar ekonomik açıdan rantabl olmayabilir. Bu yatırımlar için kullanılacak kaynakların marjinal verimliliği bu kaynakların başka bir alanda kullanılmasıyla sağlanacak getirinin altında kalabilir. Bu kaynaklara yatırım kararı verilmeden önce özellikle yatırım ve elektrik üretim maliyetleri ile yatırımdan beklenen geri ödeme süresinin diğer yatırım yapılacak seçeneklerle karşılaştırılması gerekmektedir.

Bu açıdan bakıldığında ekonomik kriterler ülke kaynaklarını etkin kullanabilmek için yenilenebilir enerji yatırımlarının maliyet ve geri ödeme süresi açısından karşılaştırılmasına imkân vermektedir. Ülkeler kaynaklarını etkin kullanmak ve rekabet gücü elde edebilmek için yatırım maliyeti düşük, işletme ve bakım maliyeti az olan ve geri ödeme periyodu kısa olan enerji kaynaklarını tercih etmektedir.

Tablo 1: Teknik Kriterler

	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biokütle	Jeotermal
Enerji verimliliği ^a	2,58	0,78	2,49	4,97	5,48
Ekonomik potansiyel (GW/yıl) ^b	98	91	140	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: Ekonomik Kriterler

	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biokütle	Jeotermal
Yatırım maliyeti (\$/kW) ^a	1920	4693	6300	230	3000
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 2'de görüldüğü üzere kW başına en düşük yatırım maliyetine sahip kaynak biokütle iken en düşük elektrik üretim maliyeti jeotermal enerjiye aittir. Yatırım için harcanan toplam sermayenin geri ödenmesinde rüzgâr enerjisinin diğer yenilenebilir kaynaklara göre daha üstün olduğu görülmektedir.

4.1.3. Çevresel Kriterler

Toplumsal refah açıdan değerlendirildiğinde yatırım yapılacak enerji kaynaklarının çevre ve insan sağlığına verdiği zarar, kaynağın teknik ve ekonomik faydasının önüne geçebilmektedir. Dolayısıyla çevresel faktörler enerji üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların çevreye ve insan sağlığına verdiği zararları göstermektedir. Tablo 3 kaynakların çevresel etkilerine ilişkin verileri göstermektedir.

Tablo 4'de ilk satırda görülen dışsal maliyetler içerisinde enerji üretim ve tüketiminin neden olduğu erken ölüm, çalışma ve verimlilik kaybı gibi insan sağlığı üzerinde oluşan maliyetlerin yanı sıra ürün veriminin azalması, hava ve su kirliliği gibi çevresel maliyetler de yer almaktadır. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde biokütle 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 biokütle enerjisinin diğer yenilenebilir kaynaklara göre daha fazla istihdam ortaya çıkardığı görülmektedir. Biokütle ile enerji üretilebilmesi için organik atıkların toplanması ve taşınmasına ihtiyaç duyulduğundan işletim aşamasında bu kaynağın daha fazla istihdam sağladığı görülmektedir.

4.1.4. Sosyal Kriterler

Sosyal kriterler kapsamında ise yenilenebilir enerji yatırımlarının toplumsal etkileri karşılaştırılmaktadır. Söz konusu kriterler halkın fayda fonksiyonlarında doğrudan etkide bulunduğu hükümetler enerji politikalarını belirlerken bu kriterleri fayda maliyet analizine dâhil etmektedir.

4.2. Entropi Yöntemiyle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Entropi yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmeden önce yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde kullanılacak kriterler faydalı ve maliyet kriterleri olarak ayrılmaktadır.

Tabloda görüldüğü üzere her bir yenilenebilir kaynağa ait zararlı gaz ve metaller ile alan gereksinimine ilişkin veriler jeotermal enerjinin 4 kriterde, hidroenerjinin ise 2 kriterde üstün olduğunu göstermektedir. Karbondioksit emisyonu açısından kW başına 11 gram salınım ile rüzgâr enerjisinin daha çevreci bir kaynak olduğu görülmektedir.

Tablo 3: Çevresel Kriterler

	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biokütle	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
Partiküller emisyon (g/MWs) ^a	0,0168	0,0352	0,00527	0,325	0,00132
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: Sosyal Kriterler

	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biokütle	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: ^a Stein, 2013; ^b Rutovitz ve Harris, 2012; Rutovitz, 2010.

Tablo 5: Faydalı Kriterler ve Maliyet Kriterleri

Ana Kriter	Alt Kriter	Faydalı/Maliyet
Teknik	Enerji verimliliği	Faydalı
	Ekonomik potansiyel	Faydalı
	İşletme ömrü	Faydalı
	Küresel kurulu güç kapasitesi	Faydalı
	Kapasite Faktörü	Faydalı
Ekonomik	Yatırım maliyeti	Maliyet
	Sabit işletme ve bakım maliyeti	Maliyet
	Elektrik üretim maliyeti	Maliyet
	LCOE elektrik üretim maliyeti	Maliyet
	Geri ödeme periyodu	Maliyet
Çevresel	NOx emisyonu	Maliyet
	CO2 emisyonu	Maliyet
	CO emisyonu	Maliyet
	SO2 emisyon	Maliyet
	Partiküller emisyon	Maliyet
	Metan dışı bileşikler (NMVOC)	Maliyet
	Alan gereksinimi	Maliyet
Sosyal	Dışsal maliyetler	Maliyet
	İmalat-inşaat-kurulum istihdam	Faydalı
	İşletme-bakım istihdam	Faydalı

Entropi yöntemiyle ampirik veriler kullanılarak objektif kriter ağırlıkları elde edilmektedir. Entropi yönteminin ilk adımında Tablo 1, 2, 3 ve 4'deki verilerden

karar matrisi oluşturulur. Karar matrisindeki değerler 2. ve 3. eşitlikler yardımıyla standartlaştırılır. Tablo 6, standartlaştırılmış karar matrisini göstermektedir.

Tablo 6: Standartlaştırılmış Karar Matrisi

Kriterler	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biyokütle	Jeotermal
Enerji verimliliği	0,471	0,142	0,454	0,906	1
Ekonomik potansiyel	0,754	0,7	1	0,003	0,031
İşletme ömrü	0,25	0,375	1	0,375	0,313
Küresel kurulu güç kapasitesi	0,349	0,166	1	0,086	0,011
Kapasite Faktörü	0,333	0,304	0,412	0,944	1
Yatırım maliyeti	0,12	0,049	0,037	1	0,077
Sabit işletme ve bakım maliyeti	0,171	0,073	1	0,048	0,025
Elektrik üretim maliyeti	0,714	0,4	0,625	0,5	1
LCOE elektrik üretim maliyeti	0,649	0,381	0,572	0,476	1
Geri ödeme periyodu	1	0,486	0,076	0,469	0,158
NOx emisyonu	0,466	0,132	0,723	0,013	1
CO2 emisyonu	1	0,268	0,458	0,048	0,289
CO emisyonu	0,32	0,02	1	0,008	0,486
SO2 emisyon	0,104	0,053	0,278	0,007	1
Partiküller emisyon	0,079	0,038	0,25	0,004	1
Metan dışı bileşikler (NMVOC)	0,061	0,012	0,74	0,011	1
Alan gereksinimi	0,232	0,1	1	0,402	0,468
Dışsal maliyetler	1	0,317	0,352	0,095	0,95
İmalat-inşaat-kurulum istihdam	0,48	1	0,419	0,43	0,598
İşletme-bakım istihdam	0,036	0,054	0,054	1	0,073

Standartlaştırma adımından sonra, standartlaştırılmış karar matrisi eşitlik 4 yardımı ile normalize edilir ve normalize edilmiş değerler, bu değerlerin doğal

logaritma değerleri ile çarpılır. Tablo 7 bu değerlerin çarpımını göstermektedir.

Tablo 7: $f_{ij} \times \ln(f_{ij})$ Değerleri

Kriterler	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biyokütle	Jeotermal
Enerji verimliliği	-0,292	-0,146	-0,287	-0,362	-0,367
Ekonomik potansiyel	-0,362	-0,357	-0,366	-0,007	-0,053
İşletme ömrü	-0,24	-0,295	-0,362	-0,295	-0,27
Küresel kurulu güç kapasitesi	-0,332	-0,234	-0,296	-0,156	-0,035
Kapasite Faktörü	-0,244	-0,233	-0,273	-0,364	-0,366
Yatırım maliyeti	-0,222	-0,124	-0,103	-0,195	-0,169
Sabit işletme ve bakım maliyeti	-0,265	-0,16	-0,209	-0,12	-0,075
Elektrik üretim maliyeti	-0,333	-0,258	-0,317	-0,288	-0,363
LCOE elektrik üretim maliyeti	-0,328	-0,259	-0,313	-0,289	-0,365
Geri ödeme periyodu	-0,358	-0,334	-0,117	-0,33	-0,189
NOx emisyonu	-0,322	-0,163	-0,363	-0,031	-0,363
CO2 emisyonu	-0,351	-0,265	-0,334	-0,087	-0,275
CO emisyonu	-0,304	-0,05	-0,331	-0,022	-0,352
SO2 emisyon	-0,189	-0,122	-0,317	-0,026	-0,254
Partiküller emisyon	-0,165	-0,1	-0,31	-0,017	-0,23
Metan dışı bileşikler (NMVOC)	-0,113	-0,035	-0,366	-0,031	-0,329
Alan gereksinimi	-0,237	-0,14	-0,359	-0,311	-0,329
Dışsal maliyetler	-0,368	-0,251	-0,265	-0,117	-0,368
İmalat-inşaat-kurulum istihdam	-0,297	-0,367	-0,278	-0,282	-0,324
İşletme-bakım istihdam	-0,105	-0,137	-0,137	-0,161	-0,169

Bu çarpım değerlerinin toplamı alınarak eşitlik 5 yardımı ile her bir kriter için entropi değerleri bulunur. Tablo 8 her bir kriterin entropi (E_j) değerlerini göstermektedir.

Tablo 8: Kriterlerin Entropi Değerleri

Ana Kriter	Alt Kriter	Entropi Değerleri
Teknik	Enerji verimliliği	0,904
	Ekonomik potansiyel	0,712
	İşletme ömrü	0,91
	Küresel kurulu güç kapasitesi	0,655
	Kapasite Faktörü	0,921
Ekonomik	Yatırım maliyeti	0,505
	Sabit işletme ve bakım maliyeti	0,516
	Elektrik üretim maliyeti	0,97
	LCOE elektrik üretim maliyeti	0,967
	Geri ödeme periyodu	0,826
Çevresel	NOx emisyonu	0,773
	CO2 emisyonu	0,816
	CO emisyonu	0,659
	SO2 emisyon	0,566
	Partiküller emisyon	0,512
	Metan dışı bileşikler (NMVOC)	0,543
	Alan gereksinimi	0,855
Sosyal	Dışsal maliyetler	0,852
	İmalat-inşaat-kurulum istihdam	0,963
	İşletme-bakım istihdam	0,442

Her bir kriterin entropi değeri bulunduktan sonra, kriter ağırlıkları eşitlik 6 ile bulunur. Tablo 9 kriter ağırlıklarını göstermektedir.

Tablo 9: Kriter Ağırlıkları

Ana Kriter	Alt Kriter	Kriter Ağırlıkları
Teknik	Enerji verimliliği	0,019
	Ekonomik potansiyel	0,056
	İşletme ömrü	0,018
	Küresel kurulu güç kapasitesi	0,067
	Kapasite Faktörü	0,015
Ekonomik	Yatırım maliyeti	0,096
	Sabit işletme ve bakım maliyeti	0,094
	Elektrik üretim maliyeti	0,006
	LCOE elektrik üretim maliyeti	0,006
	Geri ödeme periyodu	0,034
Çevresel	NOx emisyonu	0,044
	CO2 emisyonu	0,036
	CO emisyonu	0,066
	SO2 emisyon	0,085
	Partiküller emisyon	0,095
	Metan dışı bileşikler (NMVOC)	0,089
	Alan gereksinimi	0,028
Sosyal	Dışsal maliyetler	0,029
	İmalat-inşaat-kurulum istihdam	0,007
	İşletme-bakım istihdam	0,109

Tablo 9'dan görüldüğü üzere teknik kriterlerde küresel kurulu güç kapasitesi, ekonomik kriterlerde yatırım maliyeti, çevresel kriterlerde partiküller emisyon ve sosyal kriterlerde işletme ve bakım sürecindeki istihdam diğer kriterlere göre daha yüksek ağırlığa sahip bulunmuştur.

4.3. WASPAS Yöntemi ile Alternatif Enerji Kaynaklarının Sıralanması

İkinci aşamada WASPAS yöntemi kullanılarak yenilenebilir enerji kaynakları kriterlerde gösterdikleri performanslara göre sıralanmıştır. Entropi yönteminde kullanılan karar matrisinde yer alan veriler eşitlik 7 ve 8 ile normalize edilmiştir. Böylece WASPAS yönteminin ilk adımı gerçekleşmiş olur. Tablo 10 normalize edilmiş değerleri göstermektedir.

Tablo 10: Normalize Edilmiş Veriler

Kriterler	Rüzgâr	Güneş	Hidro	Biyokütle	Jeotermal
Enerji verimliliği	0,159	0,048	0,153	0,305	0,336
Ekonomik potansiyel	0,303	0,281	0,402	0,001	0,012
İşletme ömrü	0,108	0,162	0,432	0,162	0,135
Küresel kurulu güç kapasitesi	0,216	0,103	0,621	0,053	0,007
Kapasite Faktörü	0,111	0,102	0,138	0,315	0,334
Yatırım maliyeti	0,093	0,038	0,029	0,781	0,059
Sabit işletme ve bakım maliyeti	0,125	0,063	0,75	0,031	0,031
Elektrik üretim maliyeti	0,221	0,123	0,193	0,154	0,309
LCOE elektrik üretim maliyeti	0,211	0,124	0,186	0,154	0,325
Geri ödeme periyodu	0,457	0,222	0,035	0,214	0,072
NOx emisyonu	0,2	0,057	0,31	0,006	0,428
CO2 emisyonu	0,484	0,13	0,222	0,023	0,14
CO emisyonu	0,175	0,011	0,545	0,004	0,265
SO2 emisyon	0,072	0,036	0,193	0,005	0,694
Partiküller emisyon	0,057	0,027	0,183	0,003	0,73
Metan dışı bileşikler (NMVOC)	0,033	0,006	0,406	0,006	0,548
Alan gereksinimi	0,105	0,045	0,454	0,183	0,212
Dışsal maliyetler	0,369	0,117	0,13	0,035	0,35
İmalat-inşaat-kurulum istihdam	0,164	0,342	0,143	0,147	0,204
İşletme-bakım istihdam	0,03	0,045	0,045	0,821	0,06

Denklemler 9 ve 10'daki eşitlikler yardımıyla normalize edilmiş değerlerin WSM'e göre ve WPM'e göre toplam göreceli önem dereceleri bulunur. Son olarak bu değerler her bir enerji alternatifi için denklemler 11'deki eşitlikle birleştirilerek alternatiflerin son skorları elde edilir. Tablo 11 enerji alternatiflerinin WSM ($Q_i^{(1)}$)'e göre ve WPM ($Q_i^{(2)}$)'e göre toplam göreceli önem derecelerini ve son skorlarını (Q_i) göstermektedir.

Tablo 11: Toplam Göreceli Önem Dereceleri ve Son Skorlar

	$(Q_i^{(1)})$	$(Q_i^{(2)})$	Son Skor (Q_i)	Sıralama
Hidro	0,304	0,197	0,251	1
Jeotermal	0,272	0,128	0,200	2
Rüzgâr	0,147	0,106	0,127	3
Biyokütle	0,203	0,032	0,118	4
Güneş	0,073	0,046	0,060	5

WASPAS yöntemiyle elde edilen sonuçlar Türkiye için uygun yenilenebilir enerji kaynak sıralamasını Hidro, Jeotermal, Rüzgâr, Biyokütle, Güneş olarak

belirlemiştir. Eğer duyarlılık analizi yapılarak kriter ağırlıkları eşit alınsaydı, 20 kriter göz önüne alındığı için her bir kriterin ağırlığı $(1/20)=0,05$ olmaktadır. Bu ağırlıklara göre tekrar işlem yapıldığında enerji kaynaklarının sıralamasında bir değişiklik olmamaktadır. Eğer "enerji verimliliği" kriterinin ağırlığı artırılıp 0,11 değeri alınsaydı, ayrıca "ekonomik potansiyel, işletme ömrü ve küresel kurulu güç" kriterlerinin ağırlıkları azaltılıp 0,04, 0,02 ve 0,03 değerleri alınsaydı ve diğer kriterlerin ağırlıkları 0,05'de sabit bırakılsaydı enerji kaynaklarının sıralaması Jeotermal, Hidro, Rüzgâr, Biyokütle, Güneş şeklinde değişirdi. Görüldüğü gibi kriter ağırlıklarında oluşabilecek bir değişiklik sonucu etkilememektedir. Çalışmada subjektif ağırlıklar yerine objektif ağırlıklar kullanıldığından sonuçlara hiç bir karar vericinin etkisi olmamıştır.

5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Ülkeler için yaşamsal öneme sahip olan enerji kaynakları zararlı etkiler gösteren niteliklere de sahiptir. Son yarım yüzyıldır yapılan çalışmalar fosil yakıtların çevresel ve ekonomik zararları üzerinde durmakta ve ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yap-

masının önemini vurgulamaktadır. Ancak bu noktada ülkeler için hangi yenilenebilir enerji kaynağına yatırım yapmanın daha optimal sonuçlar doğuracağı cevap verilmesi gereken önemli bir sorudur. Bu nedenle çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip olduğu 20 farklı kriter dikkate alınarak Türkiye için yatırım yapılacak uygun yenilenebilir enerji kaynağı tespit edilmiştir.

Çalışmada Türkiye’de enerji ihtiyacının karşılanmasında uygun enerji kaynak seçimi Entropi ve WASPAS yöntemlerinin birleşiminden oluşan bütünlük bir model üzerinden yapılmıştır. Entropi yönteminde objektif veriler yardımıyla kriter ağırlıkları bulunmuştur. Bu ağırlıklar WASPAS yöntemine aktarılmış ve ağırlığı belirlenen ampirik veriler bu yöntemle analiz edilerek hangi enerji kaynağının Türkiye için daha uygun olduğu hesaplanmıştır.

Enerji kullanımının toplum refahı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle ülkeler enerji politikalarını belirlerken dışsalıkların hesaba

katıldığı bir model üzerinden planlamalar yapılmalıdır. Fosil yakıtların neden olduğu dışsal maliyetlerin bir maliyet unsuru olarak dikkate alınmadığı enerji planlamalarında bu yakıtlar optimalin üzerinde sunulmakta ve ülkelerde çevresel, sosyal ve ekonomik sorunlarda artış yaşanmaktadır. Bu sorunların engellenmesi devletin piyasaya müdahalesi ile mümkündür. Devletin fosil yakıtların üretim maliyetlerine topluma verilen zararları da içerecek biçimde vergi koyması kaynakların daha etkin dağılımı için gereklidir. Olumlu dışsalıklar nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına sübvansiyon uygulamak ta mümkündür. Çünkü bu kaynaklar ülkelerin ithalattan doğan giderlerini düşürmekte, yeni istihdam alanları doğurmakta, çevre kalitesine ve insan sağlığına daha duyarlı üretime imkân tanımaktadır. Yenilenebilir enerji sektörüne vergi indirimi, kredi faizlerinde kolaylık ve gümrük muafiyeti gibi teşvikler sağlanabileceği gibi, yenilenebilir enerji santrallerinde kullanılacak malzeme (rüzgâr türbini ve parçaları vb.) üretiminin, ülkemizde gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

BP (2016a). BP Statistical Review of World Energy June 2016, Carbon dioxide emissions, 65th edition, <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-co2-emissions.pdf>, (10.05.2017)

BP (2016b). BP Statistical Review of World Energy June 2016. <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>, (10.05.2017)

EESI (2016). Fossil Fuels. <http://www.eesi.org/topics/fossil-fuels/description>, (10.05.2017)

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, (10.05.2017)

ETKB (2015). İstatistikler, Denge Tabloları, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları>, (10.05.2017)

Görez, T. ve Alkan, A. (2005), “Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidroelektrik Enerji Potansiyeli”, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin, 19-21.

IEA (2015). “IEA Energy Atlas”, IEA Statistic, <http://energyatlas.iea.org/?subject=1002896040>, (10.05.2017)

IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report, Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 12-17 November 2007, Valencia, Spain, <https://>

www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf, (10.05.2017)

IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, Technical Summary and Frequently Asked Questions. Intergovernmental Panel on Climate Change.

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, (10.05.2017)

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 (10.05.2017)

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.

Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H. ve Gao, C. (2011) “Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines.” Procedia Engineering, 26 : 2085-2091.

Mardani, A., Nilashi, M., Zakuan, N., Loganathan, N., Soheilrad, S., Saman, M. Z. M. ve Ibrahim, O. (2017) “A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: Theory

and applications with recent fuzzy developments." *Applied Soft Computing*, 52: 265-292.

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%20Analysis/Technology-Assessment-Compilation-Report.pdf>, (10.05.2017)

OECD (2015). *OECD Employment Outlook 2015*, Paris, <http://www.oecd.org/els/oecd-employment-outlook-19991266.htm>, (10.05.2017)

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_Key-Findings_lowres.pdf, (10.05.2017)

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.

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, (10.05.2017)

TCMB (2015). *Ödemeler Dengesi İstatistikleri*, [http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/30cdfd52-aa34-40ce-8b57-](http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/30cdfd52-aa34-40ce-8b57-4ef53e322ce4/odemelerdengesi.pdf?MOD=AJPERES&CAC-HEID=30cdfd52-aa34-40ce-8b57-4ef53e322ce4)

[4ef53e322ce4/odemelerdengesi.pdf?MOD=AJPERES&CAC-HEID=30cdfd52-aa34-40ce-8b57-4ef53e322ce4](http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/30cdfd52-aa34-40ce-8b57-4ef53e322ce4/odemelerdengesi.pdf?MOD=AJPERES&CAC-HEID=30cdfd52-aa34-40ce-8b57-4ef53e322ce4), (10.05.2017)

TEİAŞ (2016) *Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri*. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü. <http://www.teias.gov.tr/T%C3%BCrkiyeElektrik%C4%B0statistikleri/istatistik2015/istatistik2015.htm>, (10.05.2017)

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>, (10.05.2017)

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, (10.05.2017)

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, (10.05.2017)

Wang, T. C. ve Lee, H. D. (2009) "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights." *Expert Systems with Applications*, 36(5): 8980-8985.

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.

Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. ve Zakarevicius, A. (2012) "Optimization of weighted aggregated sum product assessment." *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6): 3-6.