

| | | | |
|--------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 2018 Vol:5 / Issue:23 | pp.1223- 1231 | Article Arrival Date (Makale Geliş Tarihi) The Published Rel. Date (Makale Yayın Kabul Tarihi) The Published Date (Yayınlanma Tarihi) | 03.06.2018 17.08.2018 18.08.2018 |
|--------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|

TÜRKİYE İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ ALTERNATİFLERİNİN ANALİZİ

ANALYSIS OF RENEWABLE ENERGY ALTERNATIVES WITH THE MULTI- CRITERIA DECISION MAKING METHODS FOR TURKEY

Prof. Dr. Orhan ENGİN

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü. ORCID: 000-0002-7250-0317

Doç. Dr. Ahmet SARUCAN

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü. ORCID: 0000-0001-5582-2456

Doç. Dr. Mehmet Emin BAYSAL

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü. ORCID: 0000-0002-1023-4009

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji ve karma enerji sistemlerinden oluşmaktadır. Günümüzde yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumunda yer seçimi, önemli bir karar problemidir. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarından en iyi alternatifin seçimi de, önemli bir problemidir. Literatürde, yenilenebilir enerji, enerji planlama, enerji arzı/talebi ve enerji tahmin modelleri üzerine birçok çalışma yer almaktadır. Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, en uygun yenilenebilir enerji alternatifini belirlemeye yönelik, çok kriterli karar verme yöntemleri ile yapılan, son yirmi yıllık literatürde yer alan, Türkiye ile ilgili çalışmalar, gözden geçirilmiştir. Yenilenebilir enerji sistemlerinde çok kriterli karar verme kullanımında, aşamalı bir yaklaşım uygulanır. Bunlar, kriterlerin seçilmesi, bu kriterlerin ağırlıklandırılması, alternatiflerin değerlendirilmesi ve nihai birleştirmedir. Enerji tedarik sistemleri literatüründe, teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler kullanılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, Çok kriterli karar verme yöntemleri

ABSTRACT

Renewable energy sources consist of wind energy, solar energy, hydroelectric energy, biomass energy, geothermal energy and, hybrid energy systems. Today, the choice of location in the installation of renewable energy systems is an important decision problem. At the same time, choosing the best alternative from renewable energy sources is also an important problem. There are many studies in the literature on renewable energy, energy planning, energy supply/demand, and energy prediction models. In recent years, multi-criteria decision-making methods have been widely used in solving problems related to renewable energy sources. In this study, to determine the most appropriate alternative renewable energy, with multi-criteria decision-making methods, the literature in the last twenty years, studies related to Turkey, has been revised. In the use of multi-criteria decision making in renewable energy systems, a gradual approach is applied. These include selecting criteria, weighting those criteria,

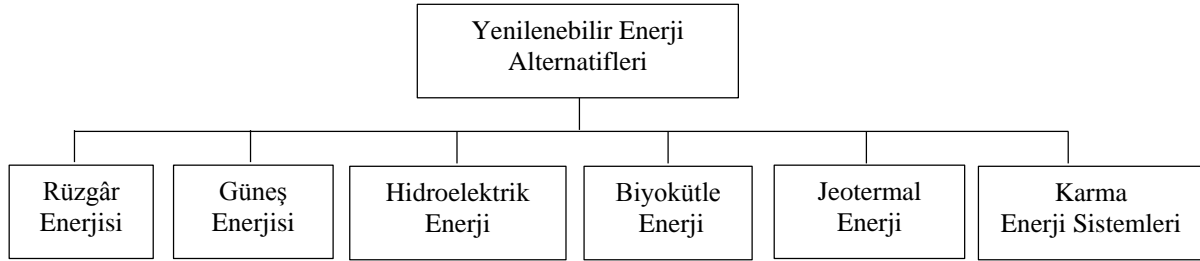
evaluating alternatives and final combining. In the literature on energy supply systems, technical, economic, environmental and social criteria are used.

Keywords: Renewable energy sources, Multi-criteria decision-making methods.

1. GİRİŞ

Tarımda, sanayide ve evlerde enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Günümüzde, enerji, doğal kaynaklardan ya da yenilenebilir doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Yenilenemeyen doğal kaynaklardan elde edilen fosil yakıtlar birçok çevresel zarara neden olmaktadır. Bu yakıtlar, özellikle atmosferdeki karbon salınımını artırarak iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin önceliklerinden biri, enerji tüketiminde kullanılan kaynaklar içerisinde yer alan fosil kaynaklı yakıtların tüketim oranını öncelikle azaltmak ve sonradan ortadan kaldırmaktır.

Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınması için enerji kaynakları oldukça önemli bir faktördür. Bu nedenle enerji kaynaklarının yönetimi ile ilgili son yıllarda yoğun bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, temiz, uygun fiyatlı ve tükenmez enerji sağlamaktadır[1]. Bu enerji kaynakları aynı zamanda sera gazlarının salınımını azalttığı için küresel ısınmanın ortadan kaldırılmasına katkı sağlamaktadır[2, 3]. Yenilenebilir enerji kaynakları Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Şekil 1'de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji ve karma enerji sistemlerinden oluşmaktadır.

Rüzgâr enerjisi: Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan rüzgâr enerjisi sürdürülebilir kalkınmayı sağlayan güvenli bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerji üretiminin çevreye olan etkisi yok denecek kadar azdır. Rüzgâr enerjisi yatırımlarında, tribünlerin seçimi ve rüzgâr tarlalarının yerlerinin belirlenmesi önemli bir karar sürecini oluşturmaktadır.

Güneş enerjisi: Güneşte yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisi, güneş enerjisi üretimini oluşturmaktadır[4]. Güneş enerji üretiminin de çevreye olan etkisi çok azdır. Güneş enerji üretiminde kullanılacak olan kolektörlerin seçimi ve güneş tarlalarının yerlerinin belirlenmesi önemli bir karar sürecidir.

Hidroelektrik enerjisi: Hidroelektrik santrallerinde, akan su içerisindeki enerji, tribünler yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Hidroelektrik tesisinin yer seçimi ve kapasite büyüklüklerinin belirlenmesi karar süreci olarak değerlendirilmektedir.

Biyokütle enerjisi: Biyokütle, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, denizdeki algler, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan tüm organik çöplerin kaynak olarak kullanılıp yakılması sonucu üretilen enerjidir [5]. Biyokütle yakıtlı enerji santrallerinin yerlerinin belirlenmesi karar süreci olarak değerlendirilmektedir.

Jeotermal enerji: Bu enerji, yer altında depolanmış yüksek sıcaklık ve basınca sahip ısı enerjisidir. Jeotermal enerji, ısı enerjisi olarak kullanılabilmesi gibi, buhar tribünleri yardımıyla elektrik enerjisine de dönüştürülebilir.

Karma enerji sistemleri: Birden fazla enerji kaynağı kullanılarak oluşturulan sistemler, karma enerji sistemleri olarak adlandırılmaktadırlar. Rüzgâr ve güneş enerji üretimi iklim şartlarına bağlı olduğundan her ikisinin birleştirilerek karma sistem oluşturulup kullanılması enerji üretim verimliliğini artıracaktır.

Bu araştırmada, yenilenebilir enerji alternatiflerini belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemleri ile ilgili literatürde son yirmi yılda Türkiye için yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Enerji problemlerinin çözümü ile ilgili, 1970'li yıllarda, tek kriter yaklaşımı kullanılmaktaydı. Toplumlar, 1980'li yıllarda, çevresel duyarlılığın artması ile enerji problemlerinin çözümünde, çevresel ve sosyal olmak üzere birçok faktörün dikkate alınması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Dünyada 1980'li yıllardan sonra enerji problemlerinin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmaktadır.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, özellikle yenilenebilir enerji alternatiflerinin belirlenmesinde, son kırk yıldır dünyada yoğun olarak kullanılan yöntemlerdir. Türkiye'nin enerji ile ilgili problemlerinin çözümünde de çok kriterli karar verme yöntemleri son yirmi yıldır kullanılmaktadır. Bu yöntemler, birbirleri ile çelişen çok sayıda amaç fonksiyonunun birlikte değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerji alternatiflerinin belirlenmesinde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri; Ağırlıklı toplam yöntemi, Ağırlıklı çarpım yöntemi, Analitik hiyerarşi süreci, PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS, Uzlaşma programı ve Çok nitelikli fayda teorisidir [6]. Bu yöntemlerden her biri kendine has özelliklere sahiptir. Aynı zamanda bu yöntemler, deterministik, stokastik ve bulanık yöntemler olarak da sınıflandırılmaktadır.

Ağırlıklı toplam yöntemi: Yaygın olarak kullanılan tek boyutlu, çok kriterli bir karar verme metodudur. M alternatif ve N kriterin olduğu bir karar sürecinde en iyi alternatifin belirlenmesi için ağırlıklı toplam puan değeri hesaplanır.

Ağırlıklı çarpım yöntemi: Bu yöntem, ağırlıklı toplam metoda benzemektedir. En önemli farkı, birinde toplama, diğesinde çarpma işlemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde, her bir alternatif bir diğeri ile karşılaştırılırken belirli bir oranla çarpılmaktadır[6].

Analitik hiyerarşi süreci (AHP): AHP, karar hiyerarşisinde, kararı etkileyen faktörlerin yüzde dağılımlarını veren bir karar metodudur. AHP, önceden tanımlanmış karşılaştırma tablosu kullanarak kararı etkileyen faktörlerin önem değerlerine göre bire bir karşılaştırmalar yapar [7, 8, 9, 10].

PROMETHEE: Bu yöntemin adı, İngilizce isminin (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) kısaltılması ile tanımlanmaktadır. Yöntem, alternatiflerin önem derecelerine göre daha önemli olanları kullanır. Durumları birleştirerek karmaşıklığı azaltır.

ELECTRE: Yöntemin adı, İngilizce isminin (Elimination and Choice Translating Reality) kısaltılması ile tanımlanmaktadır. Bu yöntemde, ikili karşılaştırma yapılarak uygun olmayan alternatifler elenmeye çalışılır. Karar vericiye bir alternatif kümesi sunulur. Karar verici buna göre en iyi çözümü belirler.

TOPSIS: Yöntemin adı, İngilizce isminin (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) kısaltılması ile tanımlanmaktadır. Karar vericinin belirli kriterlere göre sayısal değerlendirmeler yoluyla farklı alternatifleri sıralamak için kullandığı çok kriterli bir karar verme tekniğidir. Karar vericinin belirlediği göreceli önemi ölçmek için her bir kritere ait ağırlıklar belirlenebilir. Yöntem, seçilen alternatifin, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip olması gerektiği prensibine dayanmaktadır [11].

Uzlaşma programı: Bu yöntemde, etkili çözümler içerisinde en iyi olanı tanımlanır. Amaç, muhtemel ideal sonuca yakın bir çözüm elde etmektir [6].

Çok nitelikli fayda teorisi: Bu yöntemde, karar verici fayda fonksiyonunu tercih eder. Fayda değeri, tekil nitelikli fayda fonksiyonundan elde edilir.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ ALTERNATİFLERİNİN SEÇİMİNDE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI

Literatürde, yenilenebilir enerji ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Son yıllarda, yenilenebilir enerji ile ilgili çok kriterli karar verme yöntemleri, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji alternatiflerini belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemleri ile ilgili son yirmi

yılda Türkiye için ulusal ve uluslararası literatürde yapılan çalışmalar analiz edilmiştir. Bu çalışmalar, Tablo 1’de yazar, yıl, araştırma konusu ve kullanılan yöntemlere göre detaylandırılmıştır.

Tablo 1. Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar

| Yazarlar | Yıl | Çalışmanın Konusu | Kullanılan Yöntemler |
|--------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Atıcı ve Ulucan [12] | 2009 | Hidroelektrik ve rüzgâr santrali projelerini sıralamak. | ELECTRE ve PROMETHEE |
| Sarucan ve ark. [7] | 2011 | Kıyı rüzgârı, kara rüzgârı, jeotermal, güneş, hidroelektrik güç ve fotovoltaik güç kaynaklarını kıyaslamak. | AHP ile Gri ilişki analizi |
| Kaya ve Kahraman [13] | 2011 | Nükleer, rüzgâr, güneş, biyokütle, hidroelektrik, ısı ve güç kombine alternatiflerini değerlendirmek. | TOPSIS |
| Uysal [14] | 2011 | Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin değerlendirilmesi | Graf teorisi ve matris |
| Özcan ve Erol [15] | 2013 | Elektrik üretim planlaması | Karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli |
| Ayan ve Pabuçcu [16] | 2013 | Yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları arasında bir öncelik sıralaması. | AHP |
| Ertay, Kahraman ve Kaya [17] | 2013 | Yenilenebilir enerji alternatiflerinin değerlendirilmesi | MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) ve AHP |
| Erdem ve ark. [18] | 2013 | Enerji santrali seçimi | AHP |
| Onar, Öztayşi, Otay ve Kahraman [19] | 2015 | Rüzgâr enerjisinde teknoloji seçimi | Bulanık ÇKKV, AHP |
| Erdoğan ve Kaya[20] | 2015 | Enerji alternatifleri arasında seçim | Bütünleşik ÇKKV |
| Şengül ve ark. [21] | 2015 | Yenilenebilir enerji tedarik sistemlerinin sıralaması | Bulanık TOPSIS |
| Kahraman, Onar, ve Öztayşi [3] | 2016 | Rüzgâr enerjisi yatırım alternatiflerinin karşılaştırılması | Bulanık Analiz |
| Sağır ve Doğanalp [22] | 2016 | Enerji kaynaklarının değerlendirilmesi | Bulanık TOPSIS |
| Ervural, Ervural ve Evren [4] | 2016 | Enerji problemleri analizi | DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), ANP (Analytic Network Process) |
| Büyüközkan ve Gülerüz [23] | 2016 | Yatırımcı perspektifi için yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi | DEMATEL, ANP |
| Özcan, Özcan ve Eren[24] | 2017 | Güneş enerjisi teknolojileri seçimi | ANP, PROMETHEE |
| Özcan, Ünlüsoy ve Eren [25] | 2017 | Hidroelektrik, rüzgâr, biyokütle, güneş ve jeotermal enerji kaynakları sıralaması | ANP, TOPSIS |
| Uyan [26] | 2017 | Güneş enerji santrali alanların belirlenmesi | AHP |
| Damgacı, Boran ve Boran [27] | 2017 | Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi | Bulanık TOPSIS |
| Karaca, Ulutaş ve Eşgünoğlu [28] | 2017 | Enerji sektörüne yapılacak ilave yatırımların değerlendirilmesi | COPRAS (Complex Proportional Assessment) |
| Arıkan Kargı ve Aydın [29] | 2017 | Yenilenebilir enerji kaynaklarını seçimi | Bulanık, AHP |
| Büyüközkan ve Gülerüz [30] | 2017 | Yenilenebilir enerji kaynaklarını seçimi | DEMATEL, ANP ve TOPSIS |
| Büyüközkan ve Karabulut [31] | 2017 | Enerji projesinin seçimi | AHP, VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) |
| Ervural ve ark. [32] | 2018 | Enerji strateji alternatiflerinin önceliklendirilmesi | ANP, Bulanık TOPSIS |
| Engin ve ark. [33] | 2018 | Yenilenebilir enerji alternatifleri ile ilgili yapılan çalışmaların analizi | ÇKKV |

Atıcı ve Ulucan [12] çalışmalarında, Türkiye enerji sektörü için 13 adet hidroelektrik santral projesini, 6 adet kriter kullanarak, ELECTRE yöntemi ile sıralamışlardır. Ayrıca yazarlar, Kastamonu yöresine ait 7 adet rüzgâr santrali projesini de, uzmanlar yardımı ile 5 adet kriter için PROMETHEE tekniği kullanarak sıralamışlardır.

Sarucan ve ark. [7] yenilenebilir elektrik üretimi seçimi için çok kriterli yeni bir karar verme metodu önermişleridir. Önerdikleri yöntemde, analitik hiyerarşi süreci ile gri ilişki analizini birlikte

kullanmışlardır. Çalışmalarında, kıyı rüzgârı, kara rüzgârı, jeotermal, güneş, hidroelektrik ve fotovoltaik yenilenebilir enerji kaynaklarını teknik, ekonomik ve sosyal kriterlere göre kıyaslayıp öncelik sıralarını tespit etmişleridir.

Kaya ve Kahraman [13] çalışmalarında, iyileştirilmiş bulanık TOPSIS metodu ile en iyi alternatif enerji teknolojilerini belirlemeye çalışmışlardır. Kriter olarak, teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörleri belirlemişlerdir. Enerji teknolojileri olarak, nükleer, rüzgâr, güneş, biyokütle, hidroelektrik, ısı ve güç karma alternatiflerini değerlendirmişlerdir.

Uysal [14], Türkiye’de yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçimi için graf teorisi ve matris yaklaşımını önermiştir. Yazar, 5 ana kriter (Teknoloji, Çevre, Sosyo-Politik, Ekonomik ve Potansiyel) ile 5 yenilenebilir enerji alternatifini(Biyokütle, Hidroelektrik, Jeotermal, Rüzgâr ve Güneş) değerlendirmiştir. Yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçiminde somut ve soyut kriterleri birlikte değerlendirmiştir.

Özcan ve Erol [15], Türkiye’de elektrik üretim planlaması için çok amaçlı bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişleridir. Modeli, dünya genelinde elektrik üretiminde kullanılan bütün enerji kaynaklarını dikkate alarak çözmüşlerdir. 2012- 2023 yıllarını kapsayan 12 yıllık bir elektrik enerjisi planı önermişlerdir.

Ayan ve Pabuççu [16], Analitik hiyerarşi süreci yaklaşımı ile Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları arasında bir öncelik sıralaması belirlemeye çalışmışlardır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının, 2010–2014 stratejik planını kullanarak bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Yazarlar, kriter ve kaynak alternatiflerin belirlenmesinde, uzman mühendis ve akademisyenlerin görüşlerine başvurmuşlardır. Analiz sonucunda, en uygun seçeneklerin sırası ile hidroelektrik, rüzgâr, biyokütle, jeotermal ve güneş enerjisi yatırımları olduğunu belirlemişlerdir.

Ertay, Kahraman ve Kaya [17], çalışmalarında, dünyadaki enerji tüketiminin %70’nin 2050 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edileceğinin tahmin edildiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan MACBETH ve AHP yöntemlerini, yenilenebilir enerji alternatiflerinin değerlendirilmesi için bulanık verilerle karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. Değerlendirmede 4 ana kriter ve 15 alt kriter kullanmışlardır. Türkiye için potansiyel yenilenebilir enerji alternatifleri olarak, güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal enerjileri önermişlerdir.

Erdem ve ark. [18], çalışmalarında, Türkiye’de enerji sektöründe çalışanlarla birlikte enerji santrali seçimi için kömür enerji santralleri, doğalgaz çevrimli enerji santralleri, hidroelektrik enerji santralleri, nükleer enerji santralleri, jeotermal enerji santralleri ve rüzgâr enerji santralleri olmak üzere altı alternatif belirlemişlerdir. Ayrıca çevre, teknoloji ve sürdürülebilirlik, etkiler, kurulum ve kârlılık olmak üzere beş kriter belirlemişlerdir. Analitik hiyerarşi prosesi yardımıyla kriterlere göre uygun alternatifi belirlemeye çalışmışlardır.

Onar, Öztaysi, Otay ve Kahraman [19], rüzgâr enerjisinde teknoloji seçimi için aralık değerli, sezgisel bulanık kümeler kullanarak çok uzmanlı bir model önermişlerdir. Çalışmalarında, ikili karşılaştırma matrislerinin bir araya getirilmesi ve puan değerlendirme ve olasılık derecesi matrislerinin hesaplanması yoluyla, rüzgâr enerji teknolojisi alternatiflerinin genel performans ölçümünü gerçekleştirmişlerdir.

Erdoğan ve Kaya[20], çalışmalarında, bütünleşik, çok kriterli karar verme yöntemi tabanlı bulanık tip 2 kümeyi, enerji alternatifleri arasında seçim için önermişlerdir. Türkiye için bir yol haritası oluşturmuşlardır. Karar prosesinde belirsizlik için bulanık teori kullanmışlardır. Bulanık analitik hiyerarşi prosesi tabanlı, Tip 2 aralıklı bulanık kümeleri, enerji alternatiflerini etkileyen kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesinde kullanmışlardır.

Şengül ve ark. [21], çalışmalarında, Türkiye de yenilenebilir enerji tedarik sistemlerinin sıralaması için çok kriterli karar metodu olan bulanık TOPSIS önermişlerdir. Bu çok kriterli analiz sonucunda, Türkiye için en önemli enerji tedarik sisteminin hidroelektrik enerjisi olduğunu belirlemişlerdir.

Kahraman, Onar ve Öztaysi [3], rüzgâr enerjisi yatırım alternatiflerinin karşılaştırılması için aralık değerli sezgisel bulanık fayda/maliyet analiz yöntemini önermişlerdir. Bulanık fayda-maliyet yöntemi hem şimdiki değer hem de yıllık değer analizine dayanmaktadır.

Sağır ve Doğanalp [22], Türkiye’de enerji üretimi için farklı enerji kaynaklarının değerlendirilmesine ilişkin bulanık çok kriterli bir karar verme modeli sunmuşlardır. Bulanık TOPSIS metodunu kullanarak karar kriterlerinin önem ağırlıklarını belirlemişler ve bu enerji kaynaklarını, saptanan karar kriterleri doğrultusunda değerlendirmişlerdir. Enerji kaynakları alternatiflerinin sıralamasında, yenilenebilir enerji kaynakları, nükleer enerji kaynakları ve fosil enerji kaynakları önceliklendirmesini belirlemişlerdir.

Ervural, Ervural ve Evren [4], enerji problemlerini, karar seviyesi, uygulama alanı ve enerji türü bakımından sınıflandırmışlardır. İnceledikleri optimizasyon problemlerini, model yapıları ve çözüm yöntemleri açısından değerlendirmişlerdir. Enerji ile ilgili çalışmaların karmaşıklık ve belirsizlik içermesine rağmen yazarlar, literatürde stokastik ve bulanık modellerle ilgili çok az çalışma yapıldığını tespit etmişlerdir. Literatürde, sıkça çok kriterli karar verme ve pareto optimal yaklaşımının kullanıldığını belirlemişlerdir.

Büyüközkan ve Güleryüz [23], çalışmalarında, çok kriterli karar verme yaklaşımını, DEMATEL tekniği ile Analitik network prosesini, Türkiye de yatırımcı perspektifi için yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde en uygun yaklaşımı belirlemek için birleştirmişlerdir.

Özcan, Özcan ve Eren[24], çalışmalarında, Türkiye’nin güneş enerjisi ile ilgili stratejik hedeflerini referans alarak, güneş enerjisinden elektrik üretimini sağlayan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojilerinden Parabolik oluk kolektör, Doğrusal fresnel reflektör, Merkezi alıcı sistem (Eritilmiş Tuz), Merkezi sistem (Kızgın Buhar) ve Parabolik çanak sistemlerini maliyet, sosyal, teknik ve teknoloji başlıklarından oluşan dört ana kriter ve on altı alt kriter ile değerlendirmişlerdir. Kriterleri değerlendirirken, ANP, PROMETHEE yöntemlerini kullanmışlardır.

Özcan, Ünlüsoy ve Eren [25], Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2015–2019 Stratejik planına göre, ağırlıkları ANP (Analytic Network Process) yöntemi ile hesaplanan teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerden oluşan 4 ana kriter ve bunlara bağlı 12 alt kriter belirlemişlerdir. Türkiye’nin sahip olduğu hidroelektrik, rüzgâr, biyokütle, güneş ve jeotermal enerji kaynaklarını, TOPSIS yöntemi ile sıralamış ve bu kaynaklar ile yapılacak yatırım önceliklerini belirlemişlerdir. Yazarlar, uzman görüşleri ile yapmış oldukları değerlendirmeler sonucunda, Türkiye’nin yenilenebilir enerji alanındaki yatırımlarını sırasıyla rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle, jeotermal ve güneş santralleri olması gerektiğini önermişlerdir.

Uyan [26] Konya ili Çumra ilçesinde güneş enerji santrali kurulabilecek en uygun alanların, Coğrafi Bilgi Sistemi ve Analitik Hiyerarşi Süreci kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, çalışma alanının %1.5 gibi bir kısmı güneş enerjisi santrali kurulması için yüksek uygunlukta, %26’lık bir kısmı orta uygunlukta ve %11’lik bir kısmı ise düşük uygunlukta olduğunu belirlemiştir.

Damgacı, Boran ve Boran [27], çalışmalarında, sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak Türkiye için uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesini teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörler yardımıyla belirlemişlerdir. Yazarlar, karar vericiler ile karar kriterlerinin önem ağırlıkları ve enerji kaynaklarının önem kriterlerini dilsel değişkenler ile ifade etmişlerdir. Türkiye için yedi enerji kaynağı dört karar verici tarafından değerlendirilmiştir. Türkiye için yatırım yapılabilir en verimli enerji kaynağının Biyokütle enerjisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Karaca, Ulutaş ve Eşgünoğlu [28], Türkiye’nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının yüzde yüz olması durumunda, enerji sektörüne yapılacak ilave yatırımların, istihdamda oluşturacağı artışı tahmin etmek için ilave yatırımlarda hangi yenilenebilir kaynağa ne kadar pay ayrılması gerektiğini, COPRAS çok kriterli karar verme yöntemiyle belirlenmeye çalışmışlardır.

Arıkan Kargı ve Aydın [29], çalışmalarında, Bulanık analitik hiyerarşi süreci yardımıyla, Bursa’da yatırım yapmayı planlayan bir kuruluş için en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarını belirlemeye çalışmışlardır. Kriter olarak; enerji verimliliği, çevresel etkiler, enerji arz güvenliği, yatırım maliyetlerinin uygunluğu ve devlet teşvik sistemini seçmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak da, güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal enerjileri belirlemişlerdir.

Büyüközkan ve Güleryüz [30], Türkiye de yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi için yeni bir model önermişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimini, çok kriterli karar problemi olarak ele

almışlardır. Karar sürecindeki belirsizliği elimine etmek için DEMATEL, ANP ve TOPSIS yöntemlerini birleştirmişlerdir. Gerçek endüstriyel problemlerle uygulama yapmışlardır.

Büyüközkan ve Karabulut [31], çalışmalarında, birçok enerji alternatifleri arasından en iyi enerji projesini seçmenin karmaşık bir problem olduğunu belirtmişlerdir. Sürdürülebilirlik bakış açısı ile en iyi enerji seçimi problemleri için bir model önermişlerdir. Önerdikleri model iki tane çok kriterli karar verme yöntemi içermektedir. Bunlar, geliştirilen kriterlerin ağırlık önem faktörlerinin belirlenmesi için AHP ve enerji proje alternatiflerinin sıralanması için VIKOR yöntemleridir. Türkiye için önerilen yöntem ile örnek bir uygulama yapmışlardır.

Ervural ve ark. [32], çalışmalarında Türkiye enerji sektörü için birleştirilmiş karma bir yöntem önermişlerdir. Yöntemde, güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler (SWOT) analizi ile ANP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini, enerji stratejisi alternatiflerinin önceliklendirilmesi için kullanmışlardır.

Engin ve ark. [33], en uygun yenilenebilir enerji alternatiflerini belirlemek için çok kriterli karar verme süreçleri ile ilgili son on yılda literatürde yapılan çalışmaları araştırmış ve sempozyumda sunmuşlardır.

Buraya kadar Türkiye için ulusal ve uluslararası literatürde enerji planlama ve yönetimi ile ilgili çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak yapılan bilimsel çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

4. SONUÇ

Türkiye'nin sosyal yaşantısında ve sürdürülebilir ekonomik kalkınmasında enerji oldukça önemli bir faktördür. Fosil kaynaklı yakıtlar çevreye birçok zararlar vermektedirler. Bu nedenle son otuz yıldır, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, ülkemizde ve dünyada fosil kaynaklı yakıtlara tercih edilmektedir.

Bu araştırmada, en uygun yenilenebilir enerji alternatiflerini belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemleri ile ilgili son yirmi yılda literatürde Türkiye ile ilgili yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Enerji yatırımları ile ilgili son yıllarda Türkiye için literatürde birçok çalışma yapıldığı belirlenmiştir. Bu araştırma kapsamında son yıllarda Türkiye için enerji alternatiflerinin seçiminde çok kriterli karar verme metodunun kullanımı ile ilgili yaklaşık ulusal ve uluslararası 25 adet bilimsel araştırma tespit edilmiş ve bunlar analiz edilmiştir. Literatürde çok kriterli karar verme yönteminin kullanımında, kriter olarak Türkiye için teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörlerin seçildiği belirlenmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemleri olarak da, genellikle, Analitik hiyerarşi süreci, PROMETHEE, ELECTRE, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bunların içerisinde en çok kullanılan yöntemin, Analitik Hiyerarşi süreci, TOPSIS ve bulanık TOPSIS olduğu belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji alternatifleri arasında da Türkiye için önerilen yatırım seçeneklerinin sırası ile güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal enerjileri olduğu tespit edilmiştir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi Türkiye'nin enerji planlama, enerji yatırımları, enerji yönetimi ve enerji verimliliği ile ilgili problemlerinin çözümü için çok kriterli karar verme yöntemlerinin, önümüzdeki yıllarda daha yoğun kullanılacağı beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Banos, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F.G., Gil, C., Alcayde, A., Gomez, J., "Optimization Methods Applied to Renewable and Sustainable Energy: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 1753-1766, 2011.
- [2] Wang, J.J. Jing, Y.Y., Zhang, C.F., Zhao, J.H., "Review on Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 2263-2278, 2009.
- [3] Kahraman, C., Onar, S.C., Oztaysi, B. "A Comparison of Wind Energy Investment Alternatives Using Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Benefit/Cost Analysis", *Sustainability*, 8 (118): 2-18, 2016.
- [4] Ervural B.Ç., Ervural, B., Evren R., "Enerjide Optimizasyon Uygulamaları: Bir Literatür Araştırması", *Ege Akademik Bakış*, 16, 51- 70, 2016.
- [5] Anonim, "Biyokütle Enerjisi Nedir?" http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx, Erişim Nisan 2018.

- [6] Pohekar, S.S., Ramachandran, M., “Application of Multi-criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning- A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8:365-381, 2004.
- [7] Sarucan, A., Baysal, M.E., Kahraman, C., Engin, O., “A Hierarchy Grey Relational Analysis for Selecting the Renewable Electricity Generation Technologies”, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, July 6-8, London, 2011.
- [8] Uçakcıoğlu, B., Eren, T., “Analitik Hiyerarşi Prosesi ve VIKOR Yöntemleri ile Hava Savunma Sanayisinde Yatırım Projesi Seçimi”, *HU Muh. Der.* 02, 35-53, 2017.
- [9] Gül, E., Eren, T., “Lojistik Dağıtım Ağ Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ve Hedef Programlama ile Depo Seçimi”, *HU Muh. Der.* 01, 1-13, 2017.
- [10] Taş, M., Özlemiş, Ş. N., Hamurcu, M., Eren, T., “Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Hedef Programlama Karma Modeli Kullanılarak Monoray Projelerinin Seçimi”, *HU Muh. Der.* 02, 24-34, 2017.
- [11] Baysal, M.E., Kahraman, C., Sarucan, A., Kaya, İ., Engin, O., “A Two Phased Fuzzy Methodology for Selection among Municipal Projects”, *Technological and Economic Development of Economy*, 21(3), 405- 422, 2015.
- [12] Atıcı, K.B., Ulucan, A., “Enerji Projelerinin Değerlendirilmesi Sürecinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları ve Türkiye Uygulamaları”, *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27 (1), 161-186, 2009.
- [13] Kaya, T. Kahraman, C., “Multicriteria Decision Making in Energy Planning Using a Modified Fuzzy TOPSIS Methodology” *Expert Systems with Applications*, 38, 6577- 6585, 2011.
- [14] Uysal, F., “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçimi İçin Graf Teori Ve Matris Yaklaşım” *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, 13, 23- 40, 2011.
- [15] Özcan, E.C., Erol, S., “Türkiye’de Elektrik Üretim Planlaması İçin Çok Amaçlı Bir Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli”, *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, 1, 1, 2013.
- [16] Ayan, T.Y., Pabuçcu, H., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Değerlendirilmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 18, 3, 89-110, 2013.
- [17] Ertay, T., Kahraman, C., Kaya, İ., “Evaluation of Renewable Energy Alternatives Using Macbeth and Fuzzy Ahp Multicriteria Methods: The Case of Turkey”, *Technological and economic development of economy*, 19, 1 38-62, 2013.
- [18] Erdem, S., Gencer, C., Atmaca, E., Karaca, T., Aydoğan, E.K., “Türkiye’de Enerji Santrallerinin AHP Yöntemi İle Seçimi” *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2013 Özel Sayısı.
- [19] Onar, S.C., Oztaysi, B., Otay, İ, Kahraman, C., “Multi-expert wind energy technology selection using interval-valued intuitionistic fuzzy sets”, *Energy*, 74-285, 2015.
- [20] Erdoğan M., Kaya, I., An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Methodology Based On Type-2 Fuzzy Sets for Selection Among Energy Alternatives in Turkey”, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 12, 1, 1-25, 2015.
- [21] Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V., Şengül, A.B., “Fuzzy TOPSIS Method for Ranking Renewable Energy Supply Systems in Turkey”, *Renewable Energy*, 75, 617- 625, 2015.
- [22] Sağır, H.,Doğanalp, B., “Bulanık Çok-Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye İçin Enerji Kaynakları Değerlendirmesi”, *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari*, 11, 2016.
- [23] Büyüközken, G., Gülerüz, S., “An Integrated DEMATEL-ANP Approach for Renewable Energy Resources Selection in Turkey”, *Int. J. Production Economics*, 182, 435- 448, 2016.

- [24] Özcan, E.C., Özcan, N.A., Eren, T., “CSP Teknolojisine Sahip Güneş Enerjisi Santrallerinin Kombine ANP-PROMETHEE Yaklaşımı ile Seçimi”, Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1, 1, 18-44, 2017.
- [25] Özcan, E.C., Ünlüsoy S., Eren, T., “ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi”, SUJEST, 5, 2, 204- 219, 2017.
- [26] Uyan, M., “Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması”, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 23, 4, 343-351, 2017.
- [27] Damgacı, E., Boran, K., Boran, F.E., “Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanarak Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi”, Politeknik Dergisi, 20, 3, 629-637, 2017.
- [28] Karaca, C., Ulutaş, A., Eşgünoğlu, M., “Türkiye’de Optimal Yenilenebilir Enerji Kaynağının COPRAS Yöntemiyle Tespiti ve Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının İstihdam Artırıcı Etkisi”, Maliye Dergisi, Ocak-Haziran 172: 111-132, 2017.
- [29] Arıkan Kargı, S., Aydın, Z.B., “Bulanık AHP Yönteminin Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçiminde Kullanılması: Bursa Örneği”, Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5, 55, 60-74, Ekim 2017.
- [30] Büyüközkan, G., Güteryüz, S., “Evaluation of Renewable Energy Resources in Turkey Using an Integrated MCDM Approach with Linguistic Interval Fuzzy Preference Relations”, Energy, 123, 143-163, 2017.
- [31] Büyüközkan, G., Karabulut, Y., “Energy Project Performance Evaluation with Sustainability Perspective”, Energy, 119, 549-560, 2017.
- [32] Ervural, B.C., Zaim, S., Demirel, O.F., Aydın, Z., Delen, D., “An ANP and Fuzzy TOPSIS-based SWOT Analysis for Turkey’s Energy Planning” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 1538- 1550, 2018.
- [33] Engin, O., Sarucan, A., Baysal, M.E., “Yenilenebilir Enerji alternatiflerinde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Analizi” Uluslararası GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Kongresi, Şanlıurfa, Türkiye, 10-12 Mayıs 2018.