

**Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesinde
Kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ve
Değerlendirme Kriterlerinin İncelenmesi: 2017-2020¹**



Özlem KARADAĞ ALBAYRAK²

Geliş Tarihi/ Received
10/04/2020

Kabul Tarihi/ Accepted
09/10/2020

Yayın Tarihi/ Published
23/10/2020

Citation/Atıf: Karadağ Albayrak, Ö., (2020), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ve Değerlendirme Kriterlerinin İncelenmesi: 2017-2020, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 34(4): Sayfa: 1287-1310, DOI: <https://doi.org/10.16951/atauniib.717808>

Öz: Günümüzde enerji ve enerji kaynaklarına olan ihtiyaç sürekli olarak artmaktadır. Enerji üretmek için genellikle kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Bu kaynaklar ekonomik ve çevresel pek çok olumsuz etkiye sahiptir. Bu etkileri ortadan kaldırmak için rüzgar, güneş, biyokütle, hidroelektrik, jeotermal gibi Yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bunun için YEK alternatifleri değerlendirilmeli ve yatırımın uygun olacağı yerler belirlenmelidir. Değerlendirme süreci birden daha fazla alternatifi ve farklı değerlendirme kriterlerini aynı anda içermektedir. Bu tür problemlerin çözümünde kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri birden daha fazla kriterin etkisinde olan durumlarda uygulamada kullanılan popüler yöntemlerdir. Bu çalışmada YEK alternatifleri değerlendirilirken kullanılan ÇKKV teknikleri, değerlendirmede kullanılan kriterlerinin neler olduğu ve farklı değerlendirme kriterlerinin önem düzeyleri (ağırlıkları) belirlenirken kullanılan metodlar incelenmiştir. Ayrıca tüm bu tekniklerin tercih edilme nedenleri de açıklanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre, değerlendirme kriterlerini ağırlıklandırmak için AHP ve Entropi yöntemleri, alternatifleri sıralamak için ise TOPSIS, AHP ve COPRAS yöntemlerinin en yaygın olarak kullanılan yöntemler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu yöntemler yaygın kullanıldıkları ve etkili oldukları gibi nedenler ile tercih edilmişlerdir. Ekonomik kriterler içinde yatırım maliyeti, teknolojik kriterlerden verimlilik, çevresel kriterlerlerden çevresel etki, sosyal kriterlerden iş yaratma ve politik kriterlerden devlet desteği kriterlerinin en fazla kullanılan kriterler olduğu görülmüştür. Bu çalışmadaki bulgular gelecekte özellikle enerji planlaması çalışmalarında araştırmacılar için yararlı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Değerlendirme, Çok Kriterli Karar Verme

Multi Criteria Decision Making Techniques Used in Evaluation of Renewable Energy Resources and Analysis of Evaluation Criteria: 2017-2020

Abstract: Today, the need for energy and energy resources is constantly increasing. Fossil sources such as coal, natural gas and oil are generally used to generate energy. These resources have many economic and environmental negative effects. To eliminate these effects, the use of

¹Bu çalışma 20. Uluslararası Ekonometri, Yöneyem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu'nda özet bildiri olarak sunulmuştur.

²Dr. Öğr. Üyesi, Kafkas Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü <https://orcid.org/0000-0003-0832-0490>

Renewable energy sources (RES) such as wind, solar, biomass, hydroelectricity and geothermal should be expanded. For this, RES alternatives should be evaluated and the places where the investment would be appropriate should be determined. The evaluation process includes more than one alternative and different evaluation criteria at the same time. Multi Criteria Decision Makers (MCDM) techniques used in the solution of such problems are popular methods used in practice in situations that are influenced by more than one criterion. In this study, the MCDM techniques used when evaluating YEK alternatives, what are the criteria used in the evaluation, and the methods used when determining the significance levels (weights) of the different evaluation criteria are examined. As a result of the study, it was understood that AHP and Entropy methods are the most widely used methods for weighting the evaluation criteria, and TOPSIS, AHP and COPRAS methods to rank the alternatives. In addition, it has been preferred due to its widespread use and effectiveness. Among the economic criteria, investment cost, efficiency from technological criteria, environmental impact from environmental criteria, job creation from social criteria and state support criteria among political criteria are the most used criteria. The findings in this study will be useful for researchers, especially for energy planning studies.

Keywords: *Renewable Energy Sources, Renewable Energy Sources Evaluation, MCDM.*

EXTENDED SUMMARY

Background

One of the indicators of the prosperity of countries is the energy use rates. The need for energy and energy resources is constantly increasing, especially due to developments in the industry. Sources such as coal, natural gas and oil, which are classified as non-renewable, are used in the world as energy production resources. These resources have a negative impact on both the environment and the economy. However, it constitutes an obstacle for sustainable development. In order to eliminate all these disadvantages, renewable energy sources should be used instead of these energy sources. However, the suitability of renewable energy source alternatives for the regions should be evaluated. The MCDM technique is suitable for this assessment. The evaluation criteria to be used when applying MCDM techniques should be determined effectively.

Purpose

Renewable energy sources need to be evaluated in a sustainable framework, that is, taking into account social, economic and environmental factors. The aim of this study is to explain the evaluation criteria and multi-criteria decision making techniques used in the evaluation of renewable energy sources. It will also explain why these criteria or methods are used.

Methods/Data

Compilation method will be used.

Findings

AHP and Entropy are the most common methods used in criterion weighting methods. TOPSIS, AHP and COPRAS methods were mostly preferred to list the alternatives. Among criteria, the most commonly used criterias were investment cost criteria, efficiency, environmental impact, job creation and Supporting government agency and political organization.

Results

The results of this study will be useful for researchers when evaluating renewable energy sources that should be used instead of non-renewable energy sources.

1. Giriş

Enerji, sosyal ve ekonomik refahı doğrudan etkileyen bir faktördür ve dünyadaki büyüme ve kalkınma stratejilerinin belirlenmesinde vazgeçilmez bir unsurdur (Yücenur, Çaylak, Gönül ve Postalcıoğlu, 2020). Günümüzde dünya genelinde nüfus, kentleşme ve sanayileşmenin artmasıyla birlikte enerjiye olan talep giderek artmaktadır (Ebrahimi ve Rahmani, 2019). Modern enerjiye erişim, özünde yaşam kalitesindeki iyileşmelerle bağlantılıdır. Akıllı cihazlar ve binalar, fabrikalar, arabalar, otobüslerde daha fazla otomasyon ile daha fazla enerji ihtiyacını teşvik edilmektedirler (ExxonMobil, 2019).

Enerji konusundaki inovasyonlar OECD ekonomilerinin büyümesine katkı sağlarken, enerji taleplerini yaklaşık %5 ve enerjiyle ilgili CO₂ emisyonlarını yaklaşık %25 oranında azaltmaktadır. Nüfus ve ekonomileri hızla büyüyen ülkelerin enerji talebi de sürekli olarak artmaktadır (Ayağ, Samanlıolu, 2020). Fakat OECD üyesi olmayan ülkelerde nüfus artışı, modern enerjiye erişimin artması ve yaşam standartlarının iyileştirilmesi enerji kullanımı ve emisyonları arttırmaktadır (ExxonMobil, 2019).

2018 yılında bir önceki yıla göre dünyada birincil enerji tüketimi %2,9 oranında artmıştır ve enerji talebindeki küresel artışın üçte ikisini Çin, ABD, Hindistan sağlamıştır (BP, 2019). Enerji talebi artmaya devam ederken ucuz ve konvansiyonel olan petrol ve gaz gibi fosil kaynakların arzı azalmaktadır ve süresiz olarak talepleri karşılamayacaklardır (Tükenmez ve Demireli, 2012). Teknolojik ilerleme ve sürekli gelişmenin en ileri düzeyde olduğu bu yüzyılda enerji kaynakları açısından sadece fosil yakıtlar gibi güvensiz ve sınırlı olan kaynaklara bağımlı olmak mantıksızdır (Maghsoodi., Maghsoodi, Mosavi, Rabczuk ve Zavadskas, 2018).

Enerji, ekonomik kalkınma ve sanayileşmenin arkasındaki itici güçtür fakat aynı zamanda çevre, ekonomi ve kalkınma konusundaki en büyük sorunlardan biridir (Hamal, Senvar ve Vayvay, 2018). Fosil yakıt kullanılarak yapılan geleneksel enerji üretimi sera gazı emisyonlarına sebep olur (Ali, Ma, Nahian, 2019). Birçok ülke geleneksel enerji kaynakları yerine sera gazı emisyonlarını azaltacak güvenli, düşük maliyetli, sürdürülebilir alternatif enerji kaynakları geliştirme konusunda işbirliğine dayalı araştırmalar yürütmektedir (Chatterjee ve Kar, 2018). Bununla birlikte enerji taleplerini karşılamak için coğrafi konumlarına uygun çeşitli enerji kaynağı alternatiflerini kullanarak yüksek kazançlı ve en düşük üretim maliyetlerine sahip doğru bir enerji kaynağına / yatırımlarına yatırım yapmaktadırlar (Ayağ ve Samanlıoğlu, 2019).

Yenilenebilir enerji, devam eden doğal süreçlerde mevcut enerji akışından gelen enerjiyi ifade eder (Dinçer ve Yüksel, 2018). Yenilenebilir enerji

kaynakları, mevcut ve gelecekteki sosyal ve ekonomik ihtiyaçlara göre çevresel zararları, ikincil atıkları, sera emisyonlarını azaltan, ve sürdürülebilirliği sağlayan bir güç kaynağı olarak kabul edilmektedir (Rani, Mishra, Pardasani, Liao ve Streimikiene, 2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarının başlangıç yatırımı oldukça yüksektir. Buna karşın yatırım etkili olursa bu yatırımı kısa sürede geri öder ve çevreye karşı zararı neredeyse yoktur (Dinçer ve Yüksel, 2018).

Yenilenebilir enerji kaynakları hidroelektrik, güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal, okyanus ve hidrojen kaynaklarıdır. Görüldüğü gibi birden daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı alternatifi mevcuttur ve yatırım kararı bu alternatifler arasından alınır. Çoğu zaman, teknoloji seçiminde ekonomik kriterler diğer kriterlerden daha önceliklidir fakat, ülkeler kendileri için yatırıma uygun yenilenebilir enerji teknolojisini seçmeden önce ekonomik, teknolojik, çevresel ve sosyo-politik tüm kriterleri dikkate almalıdırlar (Ali, Ma, Nahian, 2019(2)). Geleneksel olmayan herhangi bir enerji kaynağının kurulması ve kullanılması, hem muazzam yatırımların hem de vasıflı işgücü çabalarının kullanılmasını içeren önemli bir çabadır. Dolayısıyla, böyle bir yatırımın verimli ve kazançlı bir zemine oturtulması gerekir (Dipanjan, Sudeep P. ve Sudeep S., 2019). Doğada farklı yenilenebilir enerji türleri bulunmaktadır. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Güneş Enerjisi: İnsanlar için mevcut olan en bol enerji kaynağıdır ve kaynağının çoğu doğrudan veya dolaylı olarak güneşten gelir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi için, güneş PV ve güneş termal dönüşüm süreçleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Lee ve Chang, 2018). Güneş enerjisi panelleri kullanılarak elde edilen güneş enerjisi elektrik, sıcak su üretimi ve ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır (Dinçer ve Yüksel, 2018).

Rüzgâr Enerjisi: Rüzgâr türbini, rüzgardaki kinetik enerjinin önce mekanik enerjiye sonra da elektrik enerjisine dönüştürüldüğü bir sistemdir (Yücenur, Çaylak, Gönül ve Postalcioglu, 2020). Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi son on yılda önemli ölçüde artmıştır; bu nedenle, rüzgâr enerjisi artık küresel olarak elektrik sağlamada yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli ikinci kaynağıdır (Solangi, Tan, Mirjat, Valasai, Khan ve Ikram, 2019).

Biyokütle Enerjisi: Biyokütle enerjisi biyokütle atıkları farklı şekillerde kullanılarak elde edilir. Biyokütle enerji kaynakları sonsuzdur ve her yerde üretilebilir (Dinçer ve Yüksel, 2018). Teknolojiler esas olarak biyokimyasal dönüşüm (BC) ve termokimyasal dönüşüm (TC) süreci olarak ikiye ayrılır (Billig ve Thraen, 2017).

Jeotermal Enerji: Radyoaktif elementler şeklindeki yer kabuğunun içindeki enerjiyi ifade eder (Dipanjan, Sudeep P. ve Sudeep S., 2019). Bu kaynaklar diğerlerine göre daha özel bir enerji kaynağıdır. Çünkü, 24 saat kesintisiz bir kaynaktır ve rüzgar veya güneş enerjisinin aksine hava koşullarından etkilenmez ((Lee ve Chang, 2018).

Hidroelektrik Enerji: Hidroelektrik enerjinin temel prensibi akan suyun kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir (Dipanjan, Sudeep P. ve

Sudeep S., 2019). Elektrik üretmek için kullanılabilir başlıca yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinir (Rani, Mishra, Pardasani, Liao ve Streimikiene, 2019).

Okyanus Enerjisi: Günümüzde okyanuslardan ve denizlerden yenilenebilir enerji elde etmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Ana okyanus enerji sistemleri, dalga, gelgit ve okyanus akım enerji sistemleri ile okyanusların derin ve sığ suları arasındaki sıcaklık farkından yararlanarak enerji elde edilir (Yücenur, Çaylak, Gönül ve Postalcioglu, 2020). Okyanuslardaki gelgit enerjisi genellikle güç için potansiyel bir kaynak olarak kabul edilir (Dipanjana, Sudeep P. ve Sudeep S., 2019).

Hidrojen Enerjisi: Hidrojen gazı evrendeki en yaygın elementtir. Basit ve gaz ağırlığı hafif olduğu için dünyada bir gaz olarak mevcut değildir ve hafifliğinden dolayı dünyadan yükselir ve atmosfere gider. Hidrojen gazı birçok fosil yakıtta (kömür, benzin, doğal gaz) ve suda bulunur. Hidrojen gazı ısı ile fosil yakıtlardan ayrılır Yücenur, Çaylak, Gönül ve Postalcioglu,2020).

IRENA (2019) tarafından yayınlanmış yenilenebilir enerji kapasite raporuna göre; 2018 yılında dünyadaki YEK kurulu güç miktarları toplam 2350755 MW olmuştur. 2018 yılında dünyada hidroelektrik kaynaklardan 4239 TWh, Biyokütle ve çöpgazından 669 TWh, Rüzgardan 1217 TWh, Güneşten 570 TWh elektrik üretilmiştir (International Energy Agency (IEA), 2019). 2019 yılında yenilenebilir güç 2019 yılında tarihsel ortalamasının biraz altında kalarak %14,5 büyümüştür. Ülke bazında Çin, yenilenebilir enerji kaynaklarına en fazla katkıda bulunan ülke olmuştur (BP, 2019). Dünya ülkelerinin yenilenebilir güç kapasiteleri Tablo 1.1.de verilmiştir. Fosil kaynaklar konusundaki dışa bağımlık sürdürülebilir kalkınma açısından bir tehdittir (Ahmad ve Tahar, 2014). 2019 yılı Eylül ayı itibarı ile Türkiye Cumhuriyeti'ndeki Kurulu gücün % 31,4'ü hidrolik enerji, %28,6'sı doğal gaz, %22,4'ü kömür, %8,1'i rüzgâr, %6,2'si güneş, %1,6'sı jeotermal ve % 1,7'si ise diğer kaynaklar şeklinde gerçekleşmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı (ETKB), 2020). Ülkemizin 2023 hedefleri içinde toplam enerji üretimi içinde YEK payının %30 olması hedeflenmektedir.

Çalışma 2017-2020 yılları arasında 33 adet YEK alternatif değerlendirme çalışmasını kapsamaktadır. Çalışma aralığının kısa tutulmasındaki sebep son yıllardaki eğilimi ölçmeye çalışmaktır. Bu çalışmanın birkaç tane amacı bulunmaktadır.

(i) Bunlardan ilki, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir çerçevede yani sosyal, ekonomik, teknolojik, politik ve çevresel faktörler dikkate alınarak değerlendirilmesi ile ilgilidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde kullanılan değerlendirme kriterlerinin sınıflandırılması yapmak ve ne kadar yaygın kullanıldıklarını belirlemektir. Bununla birlikte son yıllarda daha özelleşmiş değerlendirme kriterlerinin tanıtılmasıdır. Bu şekilde daha özel bölgeler için yapılacak daha özel değerlendirmeler için bir kılavuz oluşturulacaktır.

(ii) Bu çalışmanın diğer bir amacı, yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirilirken veya uygunluk sıralamaları yapılırken ve ayrıca değerlendirme kriterlerini ağırlıklandırmak için kullanılan ÇKKV tekniklerinin sınıflandırılmasıdır. ÇKKV teknikleri yenilenebilir enerji konusu özelinde literatürde yaygın olarak hem kriter ağırlıklandırma hem de alternatifleri sıralama yapılırken kullanılmaktadır.

Tablo 1. 1. Ülkelerin Yenilenebilir Güç Kapasiteleri (2018) (REN21,2019)

GW	Dünya	BRICS2	AB-28	Çin	ABD	Alm	Hind	Jap	İng
Biokütle	130	44	42	17,8	16,2	8,4	10,2	4	7,7
Jeotermal	13,3	0,1	0,9	0	2,5	0	0	0,5	0
Hidroenerji	1132	519	130	322	80	5,6	45	22	1,9
Okyanus Enerjisi	0,5	0	0,2	0	0	0	0	0	0
Güneş PV	505	214	115	176	62	45	33	56	13
Güneş (CSP)	0,5	0,8	2,3	0,2	1,7	0	0,2	0	0
Rüzgar	591	262	179	210	96	59	35	3,7	21
Toplam yenilenebilir güç kapasitesi (hidroelektrik güç dahil)	2378	1040	469	727	260	119	124	86	44
Toplam yenilenebilir güç kapasitesi (hidroelektrik enerji hariç)	1246	521	339	404	180	113	78	64	42
Kişi başına kapasite (hidroelektrik dahil değil, kişi başına kilovat)	0,2	0,2	0,7	0,3	0,6	1,4	0,06	0,5	0,6

(iii) Son olarak uygulamalarda hem ağırlıklandırma hem de sıralama için kullanılmış olan yöntemlerin neden tercih edildiğinin açıklanmasıdır. Bu çalışmada yöntem kullanım nedenleri de açıklamaktır.

2. Analiz Metodolojisi

ÇKKV teknikleri sürdürülebilir enerji için karar vermede giderek daha popüler hale gelmiştir. Çünkü enerjideki sürdürülebilirlik hedefi çok boyutludur (Wang, Jing, Zhang ve Zhao, 2009). Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi için kaynak olarak değerlendirilmesi, çeşitli faktörleri ve paydaşları kavrayan bir analize olanak sağlayacak bir yaklaşım gerektirmektedir (Jovanovic ve Pribicevic, 2017). Karar alma sürecinde mevcut olan belirsizlikleri hesaba katmak, nesnel karar vermenin önkoşuludur (Pamucar, Badi, Sanja ve Obradovic, 2018). Bunun için ÇKKV yöntemleri enerji sektörünü değerlendirmek ve optimum enerji alternatifini seçmek için önemlidir (Wang, Xu ve Solangi, 2020).

Her bölgede koşulların farklı olması nedeni ile optimum yenilenebilir enerji teknolojisinin seçimi karmaşık bir sorun olmaktadır (Maghsoodi. vd.2018). Optimum yenilenebilir enerji yatırım projesinin seçiminde karar verme sürecinde yer alan nicel ve nitel faktörler yani kriterler söz konusudur (Hamal, Senvar ve

Vayvay, 2018). Bir bölge birden fazla yenilenebilir enerji teknolojisi imkanına sahip olsa da hangisini veya hangilerini tercih edeceklerine çeşitli sosyo-ekonomik kriterleri dikkate alarak karar vermelidirler (Maghsoodi vd. 2018).

Bu çerçevede enerji planlaması ve seçimi, enerji kaynağı tahsisi, enerji politikası ve bina enerjisinin yönetimi gibi çeşitli enerji problemlerinde ÇKKV teknikleri uygulanmıştır (Wang vd. 2009).

ÇKKV teknikleri bir dizi kritere göre en iyi alternatifi seçmek için kullanılan bir yöntemdir. Duruma göre YEK alternatiflerini değerlendirme ve sıralamak için ÇKKV teknikleri tek başlarına kullanılabilir veya birden fazla teknik aynı anda hibrit olarak kullanılabilir. Bu çalışmada Web of Science Core Collection veritabanında yenilenebilir enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak değerlendirildiği 33 akademik çalışma (2017-2020) incelenmiştir. Bu çalışmalar ve değerlendirdikleri YEK alternatifleri Tablo 1.1. de verilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılmış olan kriter ağırlıklandırma yöntemleri, alternatifleri sıralamak için kullanılan ÇKKV yöntemleri ve değerlendirme kriterleri gruplandırılmıştır. Ayrıca bu yöntemlerin veya kriterlerin neden seçildiği de açıklanmıştır. Elde edilen veriler ileride yapılacak çalışmalarda ihtiyaçlara göre uygun tekniklerin kullanılabilmesinde fayda sağlayacaktır.

Tablo 2.1. Çalışmalar Listesi

Yazar	Tarih	Ülke	YEK Alternatifi
Büyüközkan, Karabulut	2017	Türkiye	R,B,H,
Karaca, Ulutaş ve Esgünoğlu	2017	Türkiye	G,R,J,H,B
Çolak ve Kaya	2017	Türkiye	G,R,J,H,HD
Jovanovic ve Pribicevic	2017	Genel	G,R,J,H,B
Balin ve Baraçlı	2017	Türkiye	G,R,J,H,HD,O
Haddad, Liazid ve Ferreira	2017	Cezayir	G,R,J,H,B
Büyüközkan ve Gülerüz	2017	Türkiye	G,R,J,H,B
Ru, Xu ve Zhang	2018	Çin	G,R,H,B
Pamucar vd.	2018	Libya	G,R,G
Lee ve Chang	2018	Tayvan	G,R,J,H,B
Büyüközkan, Karabulut ve Mukul	2018	Birleşmiş Milletler	G,R,H,B
Maghsoodi vd.	2018	Genel	G,R,J,H,B
Chatterjee ve Kar	2018	Hindistan	G,R,H,B,O
Hamal, Senvar ve Vayvay	2018	Türkiye	G,R,J,H,B
Yuan vd. 2018	2018	Jilin	G,R,H,B
Ali vd.(2)	2019	Bangladeş	G,R,B
Ghose, Pradhan ve Shabbiruddin	2019	Hindistan	G,R,J,H,HD,O
Ali vd.	2019	Bangladeş	G,R,B
Rani vd.	2019	Hindistan	G,R,J,H,B
Suharevska ve Blumberga	2019	Letonya	G,R,H,B
Ebrahimi, Donya Rahmani*	2019	İran	G,R,J,H,B
Diñçer ve Yüksel	2019	Türkiye	G,R,J,H,B
Sedady and Beheshtinia	2019	İran	G,R,J,H,B,O

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ve Değerlendirme Kriterlerinin İncelenmesi: 2017-2020

Seddikia and Bennadjib	2019	Genel	G,R,B
Saleem and Ulfat	2019	Pakistan	G,R,J,H,B,O
Solangi vd.	2019	Pakistan	G,R,J,H,B
Aya ve Samanlioglu	2020	Türkiye	G,R,J,H,B
Yücenur vd.	2020	Türkiye	B
Ranga, Xua and Solangia	2020	Pakistan	G,R,B
Alizadeh vd.	2020	İran	G,R,J,H,B
Fossile vd.	2020	Brezilya	G,R,O
Ghenai, AlbaRab and Bettayeb	2020	Birleşik Arap Emirlikleri	G,R
Nsafon vd.	2020	Kamerun	G,R,H

J:Jeotermal,, G: Güneş, W: Rüzgar, H:Hidrolik,, B:Biyokütle, HD:Hidrojen, O: Okyanuz(Dalha, Gelgit)

2.1.Değerlendirme Kriterleri

Literatüre YEK alternatiflerini değerlendirmek için kullanılan değerlendirme kriterinin genellikle beş farklı boyutta incelenmektedir. Bu gruplar ekonomik, sosyal, çevresel, politik ve teknolojik boyutlardır. Ekonomik kriterler enerji yatırımlarının ekonomik olarak uygun olup olmadığını değerlendirilmesi ile ilgilidir. Yani, üretilen enerjinin toplum tarafından tüketime uygun olup olmadığını açıklayan değişkenlerdir (Ebrahimi ve Rahmani, 2019). Teknolojik kriterler installed capacity, tecnical maturity gibi teknik özelliklerle ilgili kriterlerdir. Sosyal kriterler sosyal benefits, job creation, social acceptance gibi toplumu doğrudan ilgilendiren kriterleri ifade eder. Çevresel kriterler emission, land requirement gibi kriterlerdir. Son olarak Politik kriterler enerji sistemlerinin kontrolü ve yönetimine yerel katılım derecesi ve yerel becerileri, yerel düzenlemeleri, ulusal kalkınma planlarını ve yatırımcıların ve tüketicilerin korunma derecesini gibi bilgileri ifade eder (Ebrahimi ve Rahmani, 2019). Aşağıda bu beş grup içinde en yaygın olarak kullanılmış kriterler kısaca açıklanmıştır. Ayrıca bu gruplandırılmaların içine dâhil edemediğimiz özel bir grup özel kriterler adı altında açıklanmıştır.

2.1.1.Teknik Kriterler

Verimlilik (Efficiency): Termodinamiğin ikinci yasasına göre elde edilen enerjiyi ifade eder (Rang vd. 2009). *Teknolojik Olgunluk (Technology Maturity)*: Tercih edilen YEK teknolojisinin güvenilirlik derecesini veya ulusal düzeyde yayılma oranını ifade eder (Lee, Chang, 2018). *Emniyet (Reliability)*: Enerji politikasının teknolojisini ifade eder. Teknoloji test aşamasında olabileceği gibi hala geliştirilebilir durumda olabilir (Kahraman, Kaya, 2010). *Enerji Üretim Maliyeti (Energy Production Amount)*: Elde edilen üretim miktarları yüksek olan teknolojiler diğerlerinden daha daha üstündür (Maghsoodi, vd. 2018). *Kurulum Süresi (Setup and implementation times)*: Teknolojinin işler hale geleceği süreyi ifade eder. *Güvenirlilik (Safety)*: Çalışanların ve yerel halkın güvenliği ile ilgilidir (Haddad, Liazid ve Ferreira, 2017). *Kapasite Faktörü(Capacity factor)*: Yıllık toplam üretim miktarının ve kurulu güç kapasitesine oranıdır (Lee, Chang,

2018). *Kurulu Güç(Installed capacity)*: Ülkede o teknolojinin toplam kurulu gücünü ifade eder.

2.1.2. Ekonomik Kriterler

Yatırım Maliyeti (Capital Cost): Bu maliyet birden daha fazla bileşenden oluşur. Bunlar ekipman, teknoloji, tesisat, yollar, şebekeye bağlantısı gibi hizmetlerin maliyetleridir (Rang vd. 2009). *Bakım İşletim Maliyeti (Operation and Maintenance Cost (O&M))*: Çalışanlara ödenen ücretleri, enerji için harcanan fonlar ve enerji sistemi işletimi için ürün ve hizmetleri ifade eder (Lee, Chang, 2018). *Yatırım Geri Dönüşü (Payback Period)*: (İlk yatırımın karşılanması için geçen süre (Büyüközkan, Karabulut, Mukul, 2018). *Üretim Maliyeti (Production cost)*: Bu kriter, teknolojinin tam olarak üretime başlayabilmesi için yapılan yatırımın toplam maliyetini ifade eder (Kahraman, Kaya ve Cebi, 2009). *Ekonomik Ömür (Economic life)*: Hizmette kalma süresi (Ahmat ve Tahar, 2014). *Seviyelendirilmiş Maliyet (Levelized Cost)*: Yatırım maliyeti, yıllık işletme ve bakım maliyeti, yakıt maliyetlerini ve hizmet ömrünü içeren bir yaşam döngüsü maliyetidir (Klein, Rhalley, 2015). *Profitability(Karlılık)*: Teknolojilerden elde edilecek karları ifade eder.

2.1.3. Sosyal Kriterler

Sosyal Kabul (Social Acceptance): RE teknolojinin / projesinin toplum tarafından kabul edilmesini ifade eder (Lee, Chang, 2018). *İş yaratma (Job creation)*: Yenilenebilir Enerji Kaynak santrallerinin yaratabileceği istihdamı ifade eder. *Sosyal Fayda (Social Benefit)*: Sosyal yardım faydası yanında yeni bir enerji teknolojinin yerel topluluk ve bölgedeki sosyal ilerlemeye katkısını ifade eder (Ru, Xu ve Zhang, 2019). *Yerel Ekonomiye Katkı (Contribution to the local economy)*: Herhangi bir teknoloji yatırımının özelde bölgeye yapacağı katkıyı ifade eder.

2.1.4. Çevresel Kriterler

Ekolojik Etki (Ecological Impact): Doğal yaşam alanlarının değişimi veya kaybı ve su, ormanlar, balıkçılık gibi ekosistem hizmetlerinin bitmesi (Büyüközkan vd.,2018). *Emisyon (Emission of Pollutants)*: Sera gazı emisyonları ve hava kirliliği emisyonları (Klein, Rhalley, 2015). *Alan Gereksinimi (Land Requirement)*: YEK teknolojisi için ihtiyaç duyulan alan miktarıdır (Lee, Chang, 2018). *CO₂ Emisyonu (CO₂ Emissions)*: Temiz enerji üretirken düşürülen fosil yakıtla salınan CO₂ emisyon seviyesidir (Chatterjee, Kar, 2018). *Gürültü (Noise Pollutants)*: Teknolojinin sebep olacağı gürültüyü ifade eder. *Need for Waste disposal*: Teknolojinin atık bertarafı gerektirme durumudur (Streimikiene, Balezentis T, Krisciukaitiene ve Balezentis A, 2012). *Su Kirliliği (Water Pollutants)*: Teknolojinin su kaynaklarına kirlenme potansiyelidir.

2.1.5. Politik Kriterler

Destek (Supporting government agency and political organization): Uygulanacak olan teknoloji ile ilgili devletler ve siyasi organizasyonların desteklemesidir. *Yasal Düzenlemeler (Legal regulation of the activities)*:

teknolojik faaliyetlerin yapılabilirliğini sağlayabilmek için yapılan yasal düzenlemelerdir. *Uluslararası Enerji Politikaları ile uyum (Compliance with the national energy policy objective)*: Ülkelerin enerji politikalarının içinde bulunan teknolojileri ifade eder.

2.2.Kriter Ağırlıklandırılırken Kullanılan Teknikler

YEK teknoloji alternatiflerini değerlendirmek için kullanılacak değerlendirme kriterleri belirlendikten sonra ağırlıklandırma işlemine geçilir. Kriterlerin her birinin önem düzeyleri belirlenir. Kriterler için ağırlık oranların toplamı “1” olacak şekilde ağırlık dağılımlar elde edilir. Tablo 2.1.’de genel olarak kriter ağırlıklandırma için kullanılan yöntemler verilmiştir. Bu yöntemlerin bir kaçı aşağıda açıklanmıştır. Subjektif yöntemlerde karar vericilerin fikirleri önemli iken objektif yöntemlerde karar vericileri dikkate almadan matematiksel modelleri çözerek ağırlıklar belirlenir (Lotfi ve Fallahnejad, 2009).

AHP: Saaty tarafından (1980) geliştirilen Analytical Hierarchy Process yöntemi sübjektif ağırlıklandırma yöntemleri içinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. AHP yönteminde genel olarak karar vericiler değerlendirme kriterleri 1-9 skalasını kullanarak birbirlerine göre değerlendirirler. Yani, her bir benzersiz kriter ve alt kriter için ağırlıkların belirlenmesi amacıyla ikili analiz modelini temel alır (Rang, Jing and Zhang, 2009).

Entropy: Shannon’ın entropi yöntemi, literatürde kriter ağırlıkların bulunmasına yönelik kullanılan çeşitli yöntemlerden biridir. Son yıllarda sıklıkla kullanılmakta olan bu yöntem objektif ağırlıklandırma yöntemlerindedir (Lotfi ve Fallahnejad, 2009). Sadece ölçüm verileri ve bilgilerini kullanan matematiksel hesaplamaya dayanmaktadır. Entropi, alternatiflerin belirli bir yönüne göre nispi kontrast yoğunluğunun derecesini açıklayan bir parametredir (Cavallaro, Zavadskas ve Raslanas, 2016).

2.3.Alternatif Sıralamasında Kullanılan ÇKKV Teknikleri

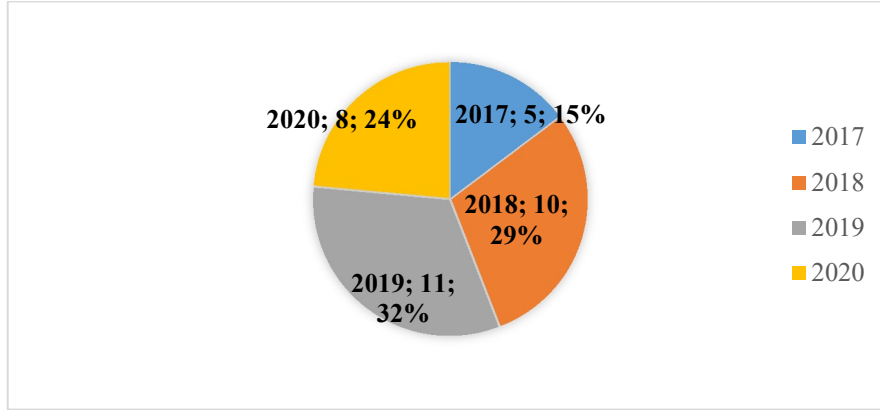
YEK seçim ve değerlendirme çalışmalarında ÇKKV teknikleri sıklıkla kullanılmaktadır. Değerlendirme yapılan çalışmalar incelendiğinde 2000-2015 yılları arasında yapılan çalışmalarda genel olarak AHP, PROMETHEE, ELECTRE III, VIKOR, MULTIMOORA, TOPSIS, COPRAS yöntemleri kullanılmıştır (Lee ve Chang, 2018). Sonrasında, Streimikien, Sliogerien ve Turskis (2016) AHP-ARAS yöntemini kullanarak elektrik üretim teknolojilerini değerlendirmişlerdir. Büyüközkan ve Güteryüz (2016) entegre ANP ve DEMATEL tekniğini kullanarak Türkiye için rüzgar enerjisini en uygun kaynak olarak belirlemişlerdir. Garni, Kassem, ARasthi, Komljenovic ve Al-Haddad (2016) AHP tekniğini uygulayarak güneş, rüzgâr, biyokütle ve jeotermal kaynakları 14 farklı kritere göre değerlendirmişlerdir.

Tablo 2.1. Ağırlıklandırma Yöntemleri (Rang vd., 2009)

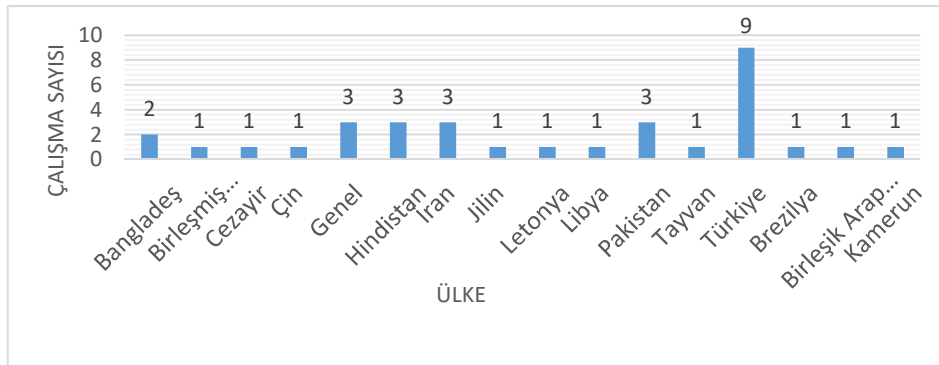
Subjektif	
	Simple multi-attribute rating technique (SMART) SMARTER SRİNG Trade-off SIMOS Pair-Rise comparison AHP En Küçük Kareler Özvektör Method Delphi Method Tutarlı Matris Yöntemi PATTERN
Obektif	
	En küçük ortalama kare (LMS) yöntemi Minmax sapma yöntemi Entropi yöntemi TOPSIS yöntemi Dikey ve yatay yöntem Varyasyon katsayısı Çok amaçlı optimizasyon yöntemi Çoklu korelasyon katsayısı Temel bileşenler Analizi Kombinasyon Düzeltme
Karma	
Çarpma sentezi	Karelerin toplamına dayalı Optimal Ağırlıklandırma
Katkı sentezi:	Minimum önyargıya dayalı Optimal Ağırlıklandırma İlişkisel derecelendirme katsayısına dayalı Optimal Ağırlıklandırma

3. Araştırma Sonuçları

Bu çalışmada son yıllardaki YEK kaynaklarının değerlendirilme yöntemleri incelenmiştir. Bu şekilde değerlendirme yöntemlerinde meydana gelen değişim ve evrilme incelenebilmiştir. Çalışmaların yıllara göre dağılımı Şekil 3.1.de verilmiştir. En fazla 2019 yılında çalışama yapılmıştır. Çalışmaların yıllara ülkelere göre dağılımı Şekil 3.1.de verilmiştir. Çalışma en fazla Türkiye’de yapılmıştır. Bir çalışma YEK alternatiflerin bir bölge/ülke sınırlaması yapmadan değerlendirmiştir.



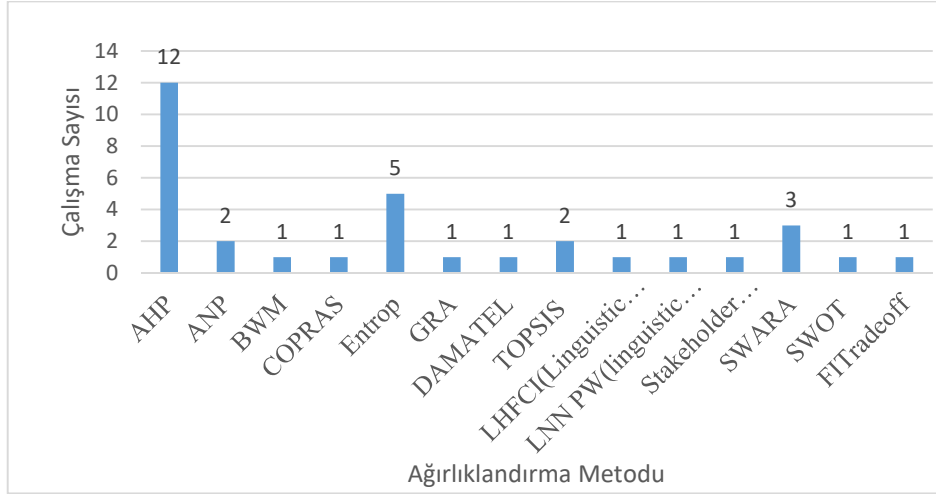
Şekil 3. 1. Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı



Şekil 3. 2. Çalışmaların Bölge/Ülke/Toplum Birliklerine Göre Dağılımı

3.1. Ağırlıklandırma Yöntemleri

YEK alternatifleri değerlendirilirken önem dereceleri yani ağırlıkları birbirinden farklı kriterler kullanılmaktadır. ÇKKV tekniklerini uygulamaya başlayabilmek için önce kriterler ağırlıklandırılır. Şekil 3.3 de 33 çalışma için kullanılan ağırlıklandırma yöntemleri verilmiştir. En fazla sübjektif ağırlıklandırma yöntemi olan AHP tekniği kullanılmıştır. İkinci sırada en yaygın olarak objektif ağırlıklandırma yöntemi olan Entropi kullanılmıştır. Bu yöntemlerde AHP için 4, TOPSIS için 3, ANP için 1, Entropi için 1 çalışma Bulanık ortamda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 3. Ağırlıklandırma Yöntemleri

Bu yöntemlerin kullanılma nedenleri yazarlar tarafından şu şekilde açıklanmıştır:

AHP: 1. Yaygın kullanım, 2. Belirsizliğin söz konusu olduğu ortamlar için uygun, 3. Daha önce böyle bir modelde kullanılmamış olması, 4. Uzman görüşünün alınacağı durumlar için uygun, 5. Tutarlı sonuçlar vermektedir.

ANP: 1. Karar vermede analitikliği arttırmaktadır, 2. Karar verme kriterleri arasındaki bağımlılıkları başarılı bir şekilde ele alabilmektedir.

BRM: Yeni bir yöntemdir ve AHP den daha tutarlıdır.

ENTROPY: Objektif bir yöntemdir.

GRA: Belirsizliği ifade etmekte uygundur.

DAMATEL: Karmaşıklık altında karar almakta uygun bir yöntemdir.

TOPSIS: Kriter temelinde en uygun alternatifin belirlenebilmesi için hem pozitif çözümü hem de negatif çözümü dikkate alan bir karar verme metodudur.

LHFCl: Yeni bir yöntem önerisi.

LNN PR: Yeni bir yöntem önerisi.

SRAR (Ghenai, AlbaRab ve Bettayeb, 2020): 1. Açık bir yöntem ve yaygın kullanım 2. Ekonomi, yönetim, sanayi, imalat, tasarım ve mimari, politika ve çevresel sürdürülebilirlik gibi çeşitli alanlarda geniş bir uygulama ile yeni bir öznel ölçüt tartma yöntemidir.

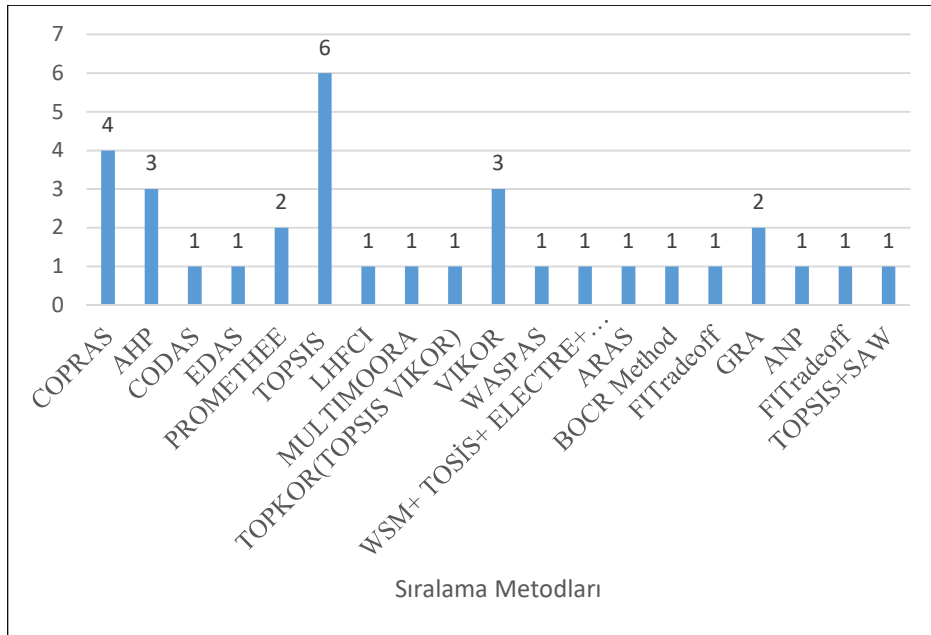
SWOT: Bu analiz stratejik planlama konuları için en yaygın ve güvenilir stratejik araçtır.

FITradeoff: Bu yöntem ile etkileşimli ve esnek bir şekilde bir çözüm elde edildiğinde, yapılan işlemin her adımını doğrulamak için kriterlerin ağırlıkları hakkında kısmi bilgileri kullanır.

Yapılan çalışmaların yedisinde neden bu tekniğin kullanıldığı açıklanmamıştır.

3.2.Sıralama Yöntemleri:

YEK alternatifleri sıralanırken yani değerlendirilirken farklı pek çok ÇKKV tekniği kullanılmıştır. Şekil 3.4 de 33 çalışma için kullanılan alternatif sıralama yöntemleri verilmiştir. En fazla TOPSIS tekniği kullanılmıştır. İkinci sırada COPRAS ve AHP yöntemleri gelmektedir. Bu yöntemlerde AHP için 3, TOPSIS için 3, VIKOR için 2, ANP, TOPSIS+VIKOR, TOPSIS+SAR, COPRAS ve PROMETHEE için 1 çalışma Bulanık ortamda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Sıralama Yöntemleri

Bu yöntemlerin kullanılma nedenleri yazarlar tarafından şu şekilde açıklanmıştır:

COPRAS: 1.Daha az işlem, 2.yaygın kullanım, 3.basit uygulama.

AHP: 1. Uygulama basitliği, 2. yoğun kullanım, 3.Cezayir için yapılan çalışmalarda kullanılmamış olması, 5. Tutarlı sonuçlar vermektedir.

CODAS: Diğer ÇKKV yöntemlerinde dikkate alınmayan özelliklere sahiptir.

EDAS: Daha önce kullanılmamıştır.

PROMETHEE: Bu yöntem, alternatiflerin mutlak bir şekilde sıralanabileceği benzersiz bir sonuçla farklı önem taşıyan nitelik ve nicelik kriterlerinin kapsamlı bir şekilde yapılandırılmasını mümkün kılar.

TOPSIS: Hem maliyet hem de kar faktörlerini dikkate alır.

LHFCI: Yeni bir uygulama önerisi.

RSM+ TOSİS+ ELECTRE+ VIKOR: Yöntemlerin etkinliklerini karşılaştırmak.

ARAS: arklı alternatiflerin sıralanması / seçilmesinde makul, kabul edilebilir ve nispeten doğru sonuçlar veren basit, doğrudan, kolay ve anlaşılır bir yöntemdir.

BOCR: Neden-sonuç ilişkilerindeki unsurları inceleyerek etkilerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilir.

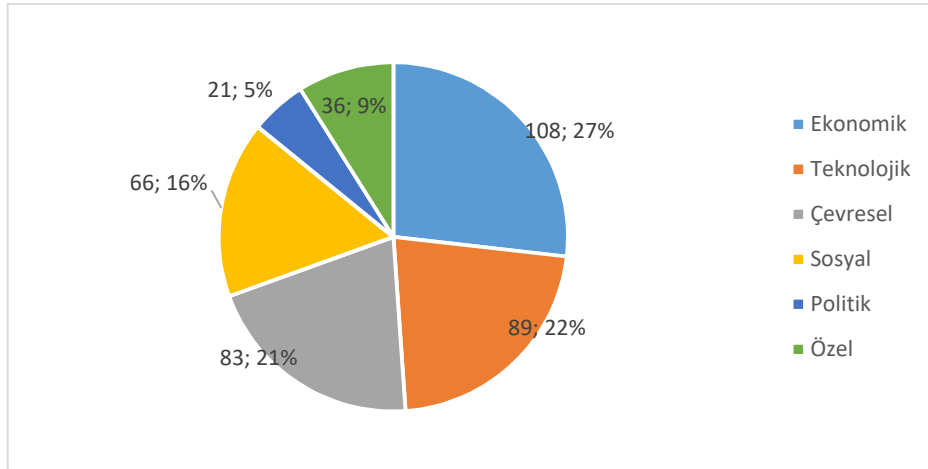
GRA: Benzer problemlerde avantajlıdır.

FITradeoff: Bu işlem, potansiyel olarak optimal alternatifleri tanımlamak için doğrusal bir programlama modelinin uygulanmasına izin verir.

Yapılan çalışmaların *sekizinde* neden bu tekniğin kullanıldığı açıklanmamıştır.

3.3. Değerlendirme Kriterleri

YEK değerlendirme yapılırken genellikle ekonomik, teknolojik, sosyal, çevresel ve politik kriter grupları altındaki kriterler kullanılmaktadır. Son yıllarda çalışmaları özelleştirmek için farklı kriterler de kullanılmıştır. Böylelikle değerlendirmenin yapıldığı yerler için özellikler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Şekil 3.5de görüldüğü gibi araştırmacılar çalışmalarında en fazla ekonomik(%27), teknolojik (%22), çevresel (%21) ve sosyal (%16) kriterlere yer vermişlerdir. Özel kriterler de toplam kriterlerin içine %15 lik bir paya sahiptir.



Şekil 3.5. Kriter Sınıflandırılması

Bu kriterler gruplarının detaylı inceleme sonuçları aşağıdaki gibidir: Tüm kriter grupları için kullanım sayısı üç ve üstünde olanlar Ek1de verilmişti. Buna göre ekonomik kriterlerden yatırım maliyeti, teknolojik kriterlerden verimlilik, çevresel kriterlerden çevresel etki, sosyal kriterlerden iş yaratma ve politik kriterlerden devlet desteği kriterleri en sık kullanılan kriterler olmuştur.

Bunların dışında bu çalışmaların tamamında belli bir kriter grubu içinde bulunmayan ve ilk kez kullanılmış 36 adet özel değerlendirme kriteri kullanılmıştır. Bunların listesi Tablo 3.2.de verilmiştir. Bu kriterlerin içinde Experience kriteri Technological Maturity kriteri ile aynı amaçta kullanılabilir. Fakat diğer 35 kriter özel kriterlerdir ve sadece birer kez kullanılmışlardır. Bu kriterlerden değerlendirmenin yapıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0,1 ve üstünde olanlar veya en yüksek ağırlık değerine sahip olanlar aşağıda açıklanmıştır.

Force majeure risk (kullanıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0,29): Terörizm de dahil olmak üzere doğal ve insan kaynaklı felaketleri ifade etmektedir (Ali vd. (2019), Komendantova, Patt, Barras, Battaglini, 2012).

Siyasi Tutarsızlık (Political instability) (kullanıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0,19): Darbe, savaş ve sosyal çatışma nedeniyle ani hükümet değişikliğini ifade eder (Ali vd., 2019), Burke, Stephens,2018).

Paydaşlar (Stakeholder) Management (kullanıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0,12): Fazla sayıda paydaş ve anlaşmazlık olma ihtimalini ifade eder (Ali vd. (2019), Hazelton, Bruce, MacGill, 2014).

Özelleştirme (Customization) (Kullanıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0,129): Özelleştirme.

Karşılabilirlik (Affordability) (Kullanıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0,122): Enerji sektöründe rekabetçi fiyatlar ile yenilikçi çözümleri sağlayabilir.

Katılım (Participation) (Kullanıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0,117): İş süreçlerdeki yani çalışanlar açısından katılım (Dinçer ve Yüksel, 2018).

Tecrübe (Experience) (Kullanıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0,120): İş süreçlerdeki yani çalışanların tecrübesi (Dinçer ve Yüksel, 2018).

Teknoloji (Technolog) (Kullanıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0,129) : Şirketlerin teknolojik gelişimi (Dinçer ve Yüksel, 2018).

Müşteri Etkisi (Impact Customer): (Hamal, Senvar, Vayvay, 2018).

İş Başarısı (Business Success): (Hamal, Senvar, Vayvay, 2018).

Geleceği Kurma (Preparing Future): (Hamal, Senvar, Vayvay, 2018).

Uluslararası Taahhüt (Pursuing international commitments such as UNFCCC and Kyoto Protocol) (Kullanıldığı çalışmada kriter ağırlığı 0, 18): Dünya ülkelerinin çevre ile ilgili beklentilerini karşılayabilme kabiliyeti (Alizadeh, Soltanisehat,. Lund ve Zamanisabzi, 2020).

Su Uzantısı (Marine extensions): Deniz uzantılarına duyulan ihtiyacı, nehir-deniz bitki örtüsünün baskılanmasını ifade eder (Fossile, Frej, Gouvea da Costa, Pinheiro de Lima, Teixeira de Almeida, 2020).

Geridönüş (Recycling): YEK nın malzemelerinin sürekli geri dönüşüm ihtiyacını ifade eder (Fossile vd.,2020).

Çevre Lisansları (Environmental license)s: Her yenilenebilir enerji işletmesi için çevre lisansları alınırken bürokratik hızı değerlendirir (Fossile vd.,2020).

Erişim Rotaları (Access routes): Yenilenebilir enerji şirketleri için erişim yolları inşa etme gerekliliğini ifade eder (Fossile vd.,2020).

Yer Değiştirme (Displacement): Yenilenebilir enerji şirket kurulumunun yerel halkın göçüne neden olma durumunu açıklar Fossile vd.,2020). Tablo 3.1de yapılan çalışmada verilen diğer özel kriterler verilmiştir.

Tablo 3.1. Özel Değerlendirme Kriterleri

Kriter İsimleri			
*Mücbir sebep riskini zorla	*Pazar potansiyeli	*Çevrenin korunması	*Geri dönüşüm
*Hırsızlık ve vandalizm	*Arz güvenliği ve beklenen çalışma saatleri,	*Müttefik endüstrilerin gelişimi	*Çevre lisansları
*Yük belirsizliği	*Kombine elektrik ve termal enerji üretim imkanı	*UNFCCC ve Kyoto Protokolü gibi uluslararası taahhütleri yerine getirmek Çevresel olarak alternatif geliştirmek -	*Erişim rotaları
*Coğrafi izolasyon	*İş başarısı	*Dost kaynaklar	*Yer değiştirme
*Yetersiz iş modelleri	*Müşteriyi etkileyin	*Yabancı teknolojiye bağımlılık	*Navigasyon / balıkçılık
*Paydaş yönetimi	*Geleceği hazırlamak,	*Yenilenebilir Enerji gelişimine çaba gösterecek mali mekanizma eksikliği (ör. *Hükümet iç ve dış yatırımları)	*Ağaçları yok etme
*Özelleştirmek	*Amortisman oranları	*Enerji kaynağının dengesizliği	
*Uygun fiyatta	*Kullanımı kolay	*Halkla ilişkiler konusunda bilinç eksikliği	
*Deneyim	*Katılım	*Teknolojik eskime nedeniyle iş başarısızlığı, sermayeye yetersiz erişim, üretilen yüksek fiyat	
*Teknoloji	*Yerel kaynakların kullanımı	*Deniz uzantıları	

Sonuç

Bu makalede YEK alternatiflerinin değerlendirilmesi uygulanmasını içeren çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan YEK alternatiflerini değerlendiren ve değerlendirme yöntemi olarak herhangi bir ÇKKV tekniğini kullanan çalışmalar incelenmiştir. Son yıllarda tercih edilen teknikler incelenmek istediğinden araştırma 2017-2020 arasında sınırlandırılmıştır ve 33 adet çalışma incelenmiştir. Bu çalışma hazırlanırken uygulamaların 11tanesi 2019 yılında yayımlanmışken, 2020 tarihinde çalışmalar yayımlanmaya devam etmektedir.

Ülkeler bazında bakıldığında çalışma sayısı Türkiye, Hindistan, İran ve Pakistan şeklinde sıralanmaktadır, içlerinden sadece bir tanesi ülke veya bölge belirtmeden sadece YEK alternatifleri değerlendirilmiştir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması ile ilgili 33 adet çalışma-gözden geçirilmiş ve ilginç bulgulara ulaşılmıştır. Bu araştırmada YEK alternatiflerin değerlendirilmesinde uygulanan ÇKKV teknik sayısının fazla olması nedeni ile bu alanda yapılacak uygulamalar için uygun yöntemler olduğu görülmüştür. ÇKKV tekniklerinin AHP, TOPSİS, COPRAS, MULTIMOORA gibi pek çok farklı uygulama tekniği bulunmaktadır.

YEK alternatifleri genel olarak ekonomik, teknolojik, çevresel, sosyal ve politik çerçevede incelenmektedir. Fakat son yıllarda bunların yanında değerlendirmeyi özelleştirmek için özel değerlendirme kriterleri de kullanılmaktadır. Kriter grupları açısından bakıldığında YEK alternatifleri değerlendirilirken en fazla ekonomik kriterler kullanılmıştır (%27). Ekonomik kriterlerin içinde de en fazla *yatırım maliyeti* kriteri, teknolojik kriterlerden (%22) *etkinlik*, çevresel kriterlerden (%21) *çevresel etki*, sosyal kriterlerden (%16) *iş yaratma* ve politik kriterlerden (%5) *devlet desteği ve politik organizasyon* kriterleri kullanılmıştır. Çalışmada dikkat çeken bir sonuç özel kriterlerin %9'luk bir paya sahip olmasıdır. Özel kriterler çalışmalarını özelleştirmeyi sağlamaktadır. Bu 35 kriterlerin tamamı çalışmaların içinde sadece bir kez kullanılmıştır.

YEK değerlendirilirken uygulanan ÇKKV tekniklerinden her bir tekniğin kendine göre avantaj ve dezavantajı bulunmaktadır. Bu yöntemlerin hangisinin üstün olduğu ile ilgili bir şey söylemek mümkün değildir. Fakat yöntemlerin tercih nedenleri ortaya konulabilir. Böylece beklentiye göre uygun yöntemin tercih edilmesi sağlanabilir. Alternatif sıralaması ve değerlendirmesinde kullanılan yöntemlerin tercih sıklıkları açıklanmıştır. YEK değerlendirilmesinde önce değerlendirme kriterleri önem derecelerine yani ağırlıklarına göre sınıflandırılmaktadır. Çalışmaların incelenmesinde en yaygın olarak kullanılan ağırlıklandırma tekniğinin sübjektif değerlendirme tekniği olan AHP tekniği olduğu ve ikinci sırada objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden entropi yönteminin uygulandığı tespit edilmiştir. AHP tekniğinin kullanımı için tercih nedenleri olarak literatürdeki yaygın kullanım, belirsizliğin söz konusu olduğu ortamlar için uygunluk, daha önce böyle bir modelde kullanılmamış olması, tutarlı sonuçlar ve uzman görüşünün alınacağı durumlara uygun olması gibi nedenler belirtilmiştir. Entropi yönteminin kullanıldığı tüm çalışmalarda objektif bir yöntem olması nedeni ile tercih edildiği ifade edilmiştir.

Herhangi bir yöntemle kriter ağırlıklandırması yapıldıktan sonraki aşama YEK alternatiflerini değerlendirme veya sıralama aşamasıdır. En yaygın olarak kullanılan sıralama yöntemi TOPSIS (6 çalışma) olmuştur. TOPSIS yöntemi hem maliyet hem de kar faktörlerini birlikte dikkate aldığı için tercih edilmiştir. İkincil olarak AHP ve COPRAS yöntemleri tercih edilmiştir. COPRAS yöntemi daha az işlem, yaygın kullanım ve basit uygulama özellikleri nedeni ile tercih edilmiştir.

Bu konuya ilişkin gelecek araştırmalara ışık tutacak bazı önemli hususlar ifade edilebilir. YEK değerlendirilirken kullanılan yöntem ile elde edilen sonuçlar duyarlılık analizi ile kontrol edilebilir. Bu sayede duyarlılık analizi ile farklı yöntemler aynı anda denenerek sonuçların etkinliği teyit edilmiş olacaktır. Bu birden fazla uygulama elde edilen bulguların güçlenmesini sağlayacaktır. Özellikle değerlendirmelerin sağlıklı yapılabilmesi için yani bölge farklılıklarının daha keskin bir şekilde değerlendirmenin bir parçası olabilmesi için çalışmalarda kullanılan kriterler, genel ve bölgelere göre değeri değişen kriterler olarak iki grupta analiz edilebilir. Genel kriterler YEK alternatifi nerede kurulursa kurulsun değişmeyecek veya etkisi az olan bir değişikliğe neden olacaktır. Örneğin maliyet ve kurulum süresi gibi faktörlerin (kriterler) değerleri kurulum yeri fark etmeden birbirine yakın çıkacaktır. Fakat bölgelere göre değeri değişen kriterler bölgesel farklılıkları ortaya koyacak olan faktörler olacaktır. Özellikle bölgesel çalışmalarda bu tür kriterler belirlenip kullanılmalıdır. Ayrıca bu çalışmaya paralel olarak daha geniş çerçevede değerlendirme için kullanılan yöntemlerin seçim nedenleri daha objektif olarak ortaya konulursa çalışmadan etkin sonuçlar elde edilmesi sağlanabilir.

Kaynaklar

- Ahmad S, Tahar RM. (2014). Selection of Renewable Energy Sources for Sustainable Development of Electricity Generation System Using Analytic Hierarchy Process: A Case of Malaysia". *Renew Energy*, 63, 458–66.
- Ali T., Ma H., Nahian A. J. (2019). Justification of Solar Home System in Rural Bangladesh Based on Risk Indicators: An Integrated Multi-Criteria Decision Making Approach, *International Journal Of Renewable Energy Research*, 9(4),1948-1956.
- Ali T., Ma H., Nahian A.J.(2019 (2)). An Analysis of the Renewable Energy technology Selection in the Southern Region of Bangladesh Using a Hybrid Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Method, *international journal of renewable energy research*, 9(4), 1838-1848.
- Alizadeh A., Soltanisehat L., Lund P.D., Zamanisabzi H. (2020), Improving renewable energy policy planning and decision-making through a hybrid MCDM method, *Energy Policy* 137, 111174
- Ayağ Z., Samanlıoğlu F. (2020). Fuzzy AHP-GRA approach to evaluating energy sources: a case of Türkiye *International Journal of Energy Sector Management*, 14(1), 40-58.
- Balin A. , Baraçlı H. (2017). A fuzzy multi-criteria decision making methodology based upon the interval Type-2 fuzzy sets for evaluating renewable energy alternatives in Türkiye, *Technological and economic development of economy*, 23, 742-763,
- British Petroleum (BP), 2019, BP Statistical Review of world Energy, 68th edition. <https://RRR.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/>

- corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf. Erişim Tarihi 23.03.2020.
- Büyüközkan, G., Gülerüz, S. (2016). An integrated DEMATEL ANP approach for renewable energy resources selection in Türkiye, *Int. J. Production Economics*, 182, 435–448.
- Büyüközkan, G., Gülerüz, S. (2017). Evaluation of Renewable Energy Resources in Türkiye using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations, *Energy* 123 (2017) 149-163.
- Büyüközkan G., Karabulut M. (2017). Energy project performance evaluation with sustainability perspective, *Energy* 119, 549-560
- Büyüközkan G., Karabulut Y., Mukul E. (2018). A novel renewable energy selection model for United Nations'sustainable development goals, *Energy* 165, 290-302.
- Cavallaro, F., Zavadskas, E. K., Raslanas, S. (2016). Evaluation of Combined Heat and Power (CHP) Systems Using Fuzzy Shannon Entropy and Fuzzy TOPSIS”. *Sustainability*, 8(5), 556.
- Chatterjee K., Kar S. (2018). A Multi-Criteria Decision Making For Renewable Energy Selection Using Z-Numbers In Uncertain Environment, *Technological And Economic Development Of Economy*, 24(2), 739–764
- Çolak M., Kaya I. (2017). Prioritization of renewable energy alternatives by using an integrated fuzzy MCDM model: A real case application for Türkiye, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 840–853
- Diñçer H., Yüksel S. (2019). Multidimensional evaluation of global investments on therenewable energy with the integrated fuzzy decision-making model under the hesitancy, *Int J Energy Res.* 43, 1775–1784.
- Ebrahimi M., Rahmani D.(2019). A five-dimensional approach to sustainability for prioritizin genegy production systems using a revised GRA method: A case study, *Renewable Energy*, 135, 345-354.
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), Elektrik, <https://RRR.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>. Erişim Tarihi 25.02.2020.
- ExxonMobile, 2019 Outlook For Energy: A Perspective To 2040. <https://corporate.exxonmobil.com/News/Newsroom/Publications-and-reports#communityInvolvement>. Erişim Tarihi 23.03.2020.
- Fossile D.K., Frej E. A., Gouvea da Costa S. E., Pinheiro de Lima E., Teixeira de Almeida E., (2020), Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method, *Journal of Cleaner Production*, 260, 121107
- Garni, H. A., Kassem, A., Awasthi, A., Komljenovic, D. ve Al-Haddad, K. (2016). A Multicriteria Decision Making Approach for Evaluating Renewable Power Generation Sources in Saudi Arabia”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 16, 137-150.

- Ghenai C., Albawab M., Bettayeb M. (2020). Sustainability indicators for renewable energy systems using multicriteria decision-making model and extended SRARA/ARAS hybrid method, *Renewable Energy* 146, 580-597.
- Ghose D., Sudeep P., Sudeep S. (2019). Development of model for assessment of renewable energy sources: a case study on Gujarat, India, *International Journal of Ambient Energy*, 2162-8246 (Online) Journal homepage: <https://RRR.tandfonline.com/loi/taen20>
- Haddad, B., Liazid, A., Ferreira, P. (2017). "A Multi-Criteria Approach to Rank Renewables for The Algerian Electricity System", *Renewable Energy*, 107, 462-472
- Hamal S., Senvar Ö, Vayvay Ö. (2018), Selection Of Optimal Renewable Energy Investment Project Via Fuzzy Anp, *Journal of Economics, Finance and Accounting – JEFA*, 5(2), 224-233
- Hazelton J, Bruce A., MacGill I.(2014). A review of the potential benefits and risks of photovoltaic hybrid mini-grid systems, *Renewable Energy* 67, 222-229
- International Energy Agency (IEA), *Global Energy & CO2 Status Report 2019, The latest trends in energy and emissions in 2018*. Erişim Tarihi 23.03.2020.
- Jovanovic D., Pribicevic I. (2017). Multi-Criteria Decision-Making in the Implementation of Renewable Energy Sources, *Computer Simulation: 2017*.
- Kahraman, C., Kaya, İ., Çebi, S. (2009). A Comparative Analysis for Multiattribute Selection Among Renewable Energy Alternatives Using Fuzzy Axiomatic Design and Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Energy*, 34, 1603–1616.
- Karaca, C., Ulutaş, A., Eşgünoğlu M. (2017). Determination of Renewable Energy Source in Türkiye by COPRAS and Analysis of the Employment-Enhancing Effect of Renewable Energy Investments, *Maliye Dergisi*, 172, 111-132.
- Klein, S.J.R., Rhalley, S. (2015). Comparing the Sustainability of U.S. Electricity Options through Multi-criteria Decision Analysis. *Energy Policy*, 79, 127-149.
- Komendantova N., Patt A., Barras L. , Battaglini A. (2012). Perception of risks in renewable energy projects: The case of concentrated solar power in North Africa, *Energy Policy* 40, 103–109.
- Lee, H, Chang, C. (2018). Comparative Analysis of MCDM Methods for Ranking Renewable Energysources in Taiwan". *Renewable and Sustainable Energy Review*, 92, 883- 896
- Lotfi F. H., Fallahnejad R. (2010), Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making, *Entropy*, 12, 53-62

- Maghsoodi A. I., Maghsoodi A. I., Mosavi A. , Rabczuk T., Zavadskas E. K. (2018). Renewable Energy Technology Selection Problem Using Integrated H-SRARA-MULTIMOORA Approach, Sustainability, 10, 4481.
- Nsafon B. E. K., Butu H. M., Owolabi E. B., Roh J. R, Suh D., Huh J. S. (2020), Integrating multi-criteria analysis with PDCA cycle for sustainable energy planning in Africa: Application to hybrid mini-grid system in Cameroon, Sustainable Energy Technologies and Assessments 37 (2020) 100628.
- Pamucar D., Badi I., Sanja K., Obradovic R. (2018). A Novel Approach for the Selection of Power-Generation Technology Using a Linguistic Neutrosophic CODAS Method: A Case Study in Libya, Energies, 11, 2489-2514.
- Rani P., Mishra A. R., Pardasani K. R., Mardani A., Liao H., Streimikiene D.(2019). A novel VIKOR approach based on entropy and divergence measures of Pythagorean fuzzy sets to evaluate renewable energy technologies in India, Journal of Cleaner Production, 238, 117936
- Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century (REN21), RENERABLES 2019 GLOBAL STATUS REPORT, https://RRR.ren21.net/Rp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf. Erişim Tarihi 25.02.2020.
- Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, NewYork: McGraw-Hill.
- Seddikia M., Bennadji A. (2019). Multi-criteria evaluation of renewable energy alternatives for electricity generation in a residential building, Renewable and Sustainable Energy Reviews 110, 101–117
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal, 27, 379–423.
- Solangi Y. A., Tan Q, Mirjat N. H., Valasai G. D., Khan M. R. A., Ikram M.(2019). An Integrated Delphi-AHP and Fuzzy TOPSIS Approach toward Ranking and Selection of Renewable Energy Resources in Pakistan, Processes, 7, 118
- Streimikiene D, Balezentis T, Krisciukaitiene I, Balezentis A.(2012). Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. Renewable Sustainable Energy Rev, 16, 3302–11.
- Tükenmez M., Demireli E. (2012). Renewable energy policy in Türkiye with the neR legal regulations, Renewable Energy 39, 1-9.
- The International Renewable Energy Agency (IRENA), RENERABLE CAPACITY STATISTICS 2019, https://RRR.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf. Erişim Tarihi 28.03.2020.
- Rang Y., Xu L., Solangia, Y. A. (2020). Strategic renewable energy resources selection for Pakistan: Based on SROT-Fuzzy AHP approach, Sustainable Cities and Society, 52, 101861

- Rang J-J., Jing Y.Y, Zhang C-F. (2009). Reighting methodologies in multi-criteria evaluations of combined heat and power systems, *International Journal Of Energy Research*, 33:1023–1039
- Rang, J-J., Jing, Y. Y., Zhang, C., Zhao, J. (2009). Review On Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263–2278
- Yücenur G. N., Çaylak Ş., Gönül G., Postalcioglu M.O. (2020). An integrated solution with SRARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility, *Renewable Energy*, 145, 2587-2597.
- Yuan J., Li C., Li R., Liu D., Li X. (2018). Linguistic hesitant fuzzy multi-criterion decision-making fo renewable energy: A case study in Jilin, *Journal of Cleaner Production* 172, 3201-3214.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ve Değerlendirme Kriterlerinin İncelenmesi: 2017-2020

Ek 1. Değerlendirme Kriterlerinin Sınıflandırılması

Ekonomik	Sıklık	Oran	Teknolojik	Sıklık	Oran	Çevresel	Sıklık	Oran	Sosyal	Sıklık	Oran	Politik	Sıklık	Oran
Yatırım maliyeti	24	0,21	verim	24	0,27	Çevresel Etki	15	0,17	İş Yaratma	20	0,30	Devlet kurumunu ve siyasi organizasyonu desteklemek	7	0,32
İşletme ve Bakım Maliyeti (İşletme ve Bakım),	21	0,19	Teknolojik Olgunluk	12	0,14	Arazi İhtiyacı	18	0,20	Sosyal kabul	17	0,26	Faaliyetlerin yasal düzenlemesi,	5	0,23
Yatırım getirisi	9	0,08	Güvenilirlik	10	0,11	Kirleticilerin Emisyonu	10	0,11	Sosyal fayda	7	0,11	Ulusal Enerji Politikası Hedefine Uyum	4	0,18
Üretim maliyeti	8	0,07	Kapasite faktörü	4	0,05	Gürültü kirliliği	8	0,09	Sürdürülebilir Kalkınma Üzerindeki Etkisi	6	0,09			
Ekonomik hayat Belirtilen Enerji Maliyeti (Seviye Maliyet)	8	0,07	Kurulum ve uygulama süreleri	4	0,05	CO2 Emisyonu	7	0,08						
karlılık	5	0,04	Emniyet	4	0,05	Atık Bertarafı Gerekliyor	2	0,02						
Devlet teşviki	3	0,03	Kaynak kullanılabilirliği Enerji üretim miktarı	3	0,03	Sera gazı emisyonu	3	0,03						