



Yenilenebilir Enerji Çalışmalarında Bölge Seçimi Problemlerini Etkileyen Kriterlerin Önem Sıralarının Belirlenmesi

Determining the Importance Order of The Criteria Affecting the Problems of Regional Selection in Renewable Energy Studies

Emel Yontar¹

¹Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 08/12/2021

Kabul / Accepted: 26/02/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

Öz

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıt tüketimine karşılık temiz ve sürdürülebilir enerji üretimi için önemli bir seçenektir. Bu kadar güçlü bir dönüşüme uyum sağlamak adına ülkelere ve hatta bölgelere, yenilenebilir enerji yatırımı yapmak çalışmanın çıkış noktasını oluşturmaktadır. Bölgelerin var olan etkenlere yönelik, doğru yenilenebilir enerji kaynağına karar vermesi evrensel bir problem haline gelmektedir. Bu noktadan hareketle bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru bölgelere yatırımının yapılması için önem verilmesi gereken kriterlerin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada detaylı literatür taraması neticesinde elde edilen kriterler bir araya getirilerek ve uzman görüşleri yardımıyla 139 farklı yenilenebilir enerji kaynağı seçimini etkileyen kriterlere ulaşılmıştır. Yenilenebilir enerji alanında çalışan kişiler tarafından yapılan değerlendirme (Pareto Analizi) ile çok sayıda var olan bu kriterlerin en önemlileri belirlenerek; maliyet, çevre, teknik, sosyal, risk ana boyutları altında gruplandırılmış ve tanımları aktarılmıştır. Pareto Analizi sonucu elde edilen 45 alt kriterin ilişki analizi araştırılır ve DEMATEL yöntemi ile en çok etki düzeyine sahip kriter, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği/öngörülebilirliği olurken; en az etki düzeyine sahip kriter, güvenlik kriteri bulunur. Elde edilen bulgular literatürde yenilenebilir enerji çalışmalarında yer seçimi, kaynak seçimi, yatırım bölgesi kararı problemlerine yönelik yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Kelimeler

“Enerji, Yenilenebilir enerji kaynakları, DEMATEL, Enerji seçimi, Enerji kriterleri”

Abstract

Renewable energy sources are an important option for clean and sustainable energy production against fossil fuel consumption. Investing in renewable energy in countries and even regions in order to adapt to such a powerful transformation is the starting point of the study. It is becoming a universal problem for regions to decide on the right renewable energy source for existing factors. From this point of view, in this study, a study was conducted on determining the criteria that should be given importance in order to invest in the right regions of renewable energy resources. In the study, the criteria that affect the selection of 139 different renewable energy sources are reached by bringing together the criteria obtained as a result of the detailed literature review and with the help of expert opinions. With the evaluation made by people working in the field of renewable energy, the most important of these criteria, which exist in many, are determined; are grouped under the main dimensions of cost, environment, technical, social, risk and their definitions are given. Relationship analysis of 45 sub-criteria obtained as a result of Pareto Analysis is investigated and with the DEMATEL method, the most influential criterion is the sustainability/predictability of energy resources; The criterion with the least impact level is the security criterion. The findings obtained are guiding for the problems of site selection, resource selection, investment region decision in renewable energy studies in the literature.

Key Words

“Energy, Renewable energy sources, DEMATEL, Energy selection, Energy criteria”

1. Giriş

Yenilenebilir enerji, çevreyi korumak adına sera gazı salınımı yüksek olan fosil yakıtların kullanımını azalttığı, yeni istihdam olanakları sağladığı, dışa bağımlılığı azalttığı, uluslararası anlaşmalara uyum sağladığı ve enerji verimliliğinin artmasına katkıda bulunduğu için oldukça önemlidir. Bu kapsamda ülkemiz genelinde dikkat edilmesi gerekli ve önemli bir konudur. Ülkeler, sosyal ve ekonomik gelişmeleri geliştirmek için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Enerji, yoksulluğun azaltılmasında, yaşam standartlarının ve refah düzeyinin iyileştirilmesinde önemli bir faktör olarak görülmelidir. 1970'lerde petrol fiyatlarındaki hızlı yükseliş, ülkeleri farklı enerji kaynaklarını kullanmaya yöneltmiş ve gelişen teknolojinin yardımıyla fosil yakıtlara alternatif olabilecek farklı enerji kaynakları, özellikle yenilenebilir enerji kaynakları bulunmuştur.

Fosil yakıtlar, dünyanın toplam enerji tüketiminin hala %81'ini üreten ve genellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tarafından ithal edilen birincil enerji kaynağıdır (Alkan ve Albayrak, 2020). Bunun yanı sıra dünyamızda var olan fosil yakıtların er ya da geç sona ereceği açıktır (Stanek vd., 2018). Dünya enerji rezervinin tükenme aralığı kömür için 200 yıl, doğalgaz için 65 yıl ve petrol için 40 yıldır (Güler, 2009). Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, özellikle petrole bağımlı ve gelişmekte olan ülkeler için hayati önem taşımaktadır (Al Garni vd., 2016). Aynı zamanda, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2013'de yayımladığı 5. Değerlendirme Raporu'nda, küresel sıcaklıklardaki artışın, yani iklim değişikliğinin "kesin olarak" insan faaliyetlerinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. IPCC, sanayi devriminden bu yana oluşan sera gazı emisyonlarının üçte ikisinin fosil yakıt kullanımı ve çimento üretiminden kaynaklandığını bu rapor ile altını çizmiştir (IPCC, 2014). Dünyadaki toplam enerji talebinin %29'unu karşılayan kömür, yoğun karbon içeriği nedeniyle küresel CO2 emisyonlarının %44'ünden sorumlu olmaktadır (IEA, 2013). Bu açıdan da bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla minimum veya sıfır karbondioksit emisyonlu elektrik üretilerek, daha çevreci ve gelecek yılların rezervlerinden almadan sürdürülebilir bir şekilde enerji elde etmek mümkün olmaktadır.

Geleneksel enerji santralleriyle ilgili potansiyel sorunları azaltmak için yenilenebilir enerji teknolojilerine hızla artan bir ilgi olduğu görülmektedir (Kim vd., 2014). Ancak, yenilenebilir enerjinin benimsenmesi, çok çeşitli faktörlerden etkilenen karmaşık bir prosedür olduğundan, araştırmacılar arasında bu etki faktörleri incelenmektedir (Irfan vd., 2020). Yenilenebilir enerji kaynakları için önemli olan kriterlerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve bu kriterlerin uygulanması için yürütülen çalışmalar mevcuttur. Konuyla alakalı literatüre bakıldığında, Barry vd. (2011), Afrika kıtasındaki mevcut enerjiye erişim eksikliğini iyileştirmek için yenilenebilir enerji teknolojilerinin seçimi için dikkate alınması gereken faktörlerin belirlenmesi çalışmasını Ruanda, Tanzanya ve Malawi'de yürütülen sekiz örnek olay incelemesi aracılığıyla geliştirmektedir. Kim vd. (2014) çalışmalarında, halkın güneş enerjisi teknolojilerini kullanma niyetlerini önemli ölçüde etkileyen faktörleri incelemektedir. Entegre araştırma modeline yapısal eşitlik modelleme yönteminin uygulanmasından elde edilen sonuçlar, sistem kalitesi, algılanan faydalar ve güvenden oluşan üç olumlu faktörün, halkın güneş enerjisi teknolojilerine yönelik tutumunun belirlenmesine önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermektedir. Jabeen vd. (2019) ve Irfan vd. (2020a) çalışmalarında, Pakistan'da tüketicilerin evde kullanım için yenilenebilir enerjiyi benimseme niyetlerini etkileyen faktörleri Yapısal Eşitlik Modellemesi ile incelemektedir.

Yenilenebilir enerji seçimine ilişkin karar verme süreci çok boyutludur ve ekonomik, teknik, çevresel ve sosyal gibi farklı seviyelerde bir dizi kapsamdan oluşur. Bu açıdan, Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri, ilgili tüm farklı bakış açılarını anlamak ve çeşitli alternatifler arasında bir dizi ilişki oluşturarak karar verme sürecini desteklemek için en uygun araç gibi görünmektedir (Cavallaro ve Ciraolo, 2005). Çok kriterli karar verme (MCDM), çeşitli göstergeler, çelişen hedefler ve kriterler dahil olmak üzere karmaşık senaryolarda en iyi sonuçları bulmakla ilgilenen bir operasyonel araştırma dalıdır. Bu araç, karar vericilere tüm kriterleri ve hedefleri aynı anda göz önünde bulundurarak karar alma esnekliği sağlaması nedeniyle enerji planlaması alanında popüler hale gelmektedir (Kumar vd., 2017). Haralambopoulos ve Polatidis (2003) çalışmalarında, PROMETHEE II geçiş yöntemini kullanarak yenilenebilir enerji projelerinde çok kriterli analize yardımcı olmak için uygulanabilir bir grup karar verme çerçevesini açıklamaktadır. Önerilen çerçeve, Yunanistan'ın Sakız adasında bulunan bir jeotermal kaynağın kullanımı ile ilgili bir vaka çalışmasında test edilmektedir. Cavallaro ve Ciraolo (2005) çalışmasında, rüzgar enerjisi için Çok Kriterli Karar Verme yöntemi uygulamışlardır. Polatidis vd. (2006), yenilenebilir enerji planlaması bağlamında, çeşitli uygun çok kriterli teknikler ve bunların performansları ile karşılaştırmalı olarak bir çalışma gerçekleştirmektedir. Kaya ve Kahraman (2010) çalışmalarında, ele alınan farklı kriterleri değerlendirerek entegre bir VIKOR-AHP metodolojisi uygulamaktadır. Bu çalışmada, İstanbul için en iyi yenilenebilir enerji alternatifinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. İkinci olarak, bu şehirdeki alternatif enerji üretim sahaları arasından bir seçim aynı yaklaşımla yapılmıştır. Kumar vd. (2017) çalışmalarında, çeşitli MCDM yöntemlerine göre yenilenebilir enerji uygulamalarını dikkate alarak yapılan sürdürülebilir enerji alanında kapsamlı bir inceleme yapılmaktadır.

Çalışmanın temel amacı, yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının tek alternatifi olan yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi için nihai bir kriter tablosu oluşturmak için literatürde yer alan çalışmaların araştırılması ve analiz edilmesidir. Bu bağlamda yapılan çalışmada, yazar ve yazarların çalıştığı yenilenebilir enerji belirleme konulu yayınlarda ele alınan kriterler araştırılmış ve mevcut çalışmada bir araya getirilmiştir. Yenilenebilir enerji seçimini etkileyen 139 farklı kriter sonucuna ulaşılmış ve uzman görüşleri yardımıyla bu kriter "daha önemli" bulgusuyla 45 kritere indirgenerek tanımları detaylandırılmış ve ilişki analizi yorumlanmıştır.

2. Yöntem

Çalışmanın yenilenebilir enerji kurulumu için bölge seçiminde etkili kriterlerin belirlenmesi için ilk aşama literatürde yer alan çalışmaları araştırmak olmuştur. Kapsamlı araştırmalar neticesinde ulaşılan detaylı ana kriter-alt kriter çalışmaları Tablo 1’de verilmiştir. Buna göre kriter sayısının fazlalığı ve önem derecelerine göre sıralanmasının istenmesi ile yöntem olarak Pareto Analizi kullanılmıştır. Pareto Analizi sonrasında kriterler arası derecelendirme ve birbirlerine göre etki düzeyleri incelenmek istenmiştir. Bu amaçla Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan DEMATEL (The Decision Making Trial And Evaluation Laboratory) Yöntemi kullanılmıştır.

Pareto Analizi 19. yüzyılda ünlü ekonomist ve sosyolog Vilfredo Pareto tarafından geliştirilmiştir. 80-20 kuralı olarak da bilinmektedir. Gerçek hayatta değeri düşük işler için, değerinin üzerinde zaman veya para harcamak önemli kayıplara yol açar. Bu sorunun önüne geçebilmek için işleri önem derecelerine göre ayırarak; değerlere göre işlem yapılması durumunda bu kayıpların önüne geçmek mümkün olmaktadır. Bu amaçla çalışmaları “çok önemli”, “orta derecede önemli” ve “az önemli” olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandıran Pareto Analizi, ABC Analizi olarak da adlandırılmaktadır.

Ayrıca Pareto Analizinin faydaları şu şekilde sıralanmaktadır (Bozkurt, 1998);

- Önem sırasına göre tablo
- Sorunları ve nedenlerini listelemek
- Her sorunun yüzdesini hesaplama
- Problemden en yüksek öneme sahip faktörü belirlemek
- Listedeki toplam hata sayısını belirleyin
- Takım çalışmasında ortak karar almak

Pareto Analizi ile elde olan kriterler önem sırasına göre sıralanır, her kriterin yüzdesi hesaplanır ve böylelikle en yüksek öneme sahip kriter de belirlenmiş olur.

Tablo 1. Yenilenebilir Enerji Seçimi Kriterleri

Georgopoulou vd., 1997	Akash vd., 1999	Beccali vd., 2003	Nigim ve Munier, 2004	Kahraman vd., 2009	Amer ve Daim, 2011	Kabak ve Dağdeviren, 2014	Ren ve Sovacool, 2015
Finansal kriterler	Finansal kriterler	Teknolojik kriterler	Finansal kriterler	Finansal kriterler	Finansal kriterler	Finansal kriterler	Teknolojik kriterler
Yatırım maliyeti	Donanım maliyeti	Teknik olgunluk	Sermaye maliyeti	Uygulama maliyeti	Ar-Ge maliyeti	Ekonomik değer	Teknolojik olgunluk
İşletme ve Bakım Maliyeti	Yakıt Maliyetleri	Güvenilirlik	Ödeme zamanı	Fonların kullanılabilirliği	Sermaye maliyeti	Uygulama maliyeti	Güvenilirlik
Teknolojik kriterler	Bakım maliyeti	Çevresel kriterler	Devlet teşvikleri	Ekonomik değer	İşletme ve Bakım maliyetleri	Yatırım maliyeti	Güvenlik
Emniyet	Teknolojik kriterler	Sera emisyonları	Teknolojik kriterler	Teknolojik kriterler	Elektrik maliyeti	İşletme ve Bakım maliyeti	Yüklenmiş kapasite
İşletimsellik	Etkinlik	Arazi ihtiyacı	Teknoloji olgun	Fizibilite	Teknolojik kriterler	Teknolojik kriterler	Elektrik üretimi
İstikrar	Güvenilirlik	Sosyal kriterler	Kaynak kullanılabilirliği	Risk	Olgunluk	Teknik fizibilite	Sosyal kriterler
Çevresel kriterler	Kullanılabilirlik	Emek etkisi	Çevresel kriterler	Güvenilirlik	Etkinlik	Güvenilirlik	Sosyal kabul edilebilirlik
Hava kalitesi	Emniyet	Piyasa vadesi	Ekolojik etki	Çevresel kriterler	Güvenilirlik	Güvenlik	Devlet teşviği
Gürültü	Sosyal kriterler		Arazi ihtiyacı	Kirlilik emisyonu	Kullanılabilirlik	Gelişmemişlik	
Görsel özellik	Sosyal yardımlar		Sosyal kriterler	Arazi ihtiyacı	Mevcut kaynak	Çevresel kriterler	
İklim değişikliği	Ulusal ekonomi		İş	Sosyal kriterler	Çevresel kriterler	Global etki	
Ekosistemin korunması			Yerel kalkınma	Sosyal kabul	Arazi ihtiyacı	Arazi kullanımı	
Sosyal kriterler			Sosyal yardımlar	Emek etkisi	Emisyon	Ekolojik hasar	
İş					Ekosistem	Sosyal kriterler	
Ekonomik aktiviteler					Sosyal kriterler	İnsan refahı	
					Sosyal yardımlar	İş yaratma	
					İş yaratma	Sosyal direniş	
					Sosyal kabul		

Tablo 1 (devam). Yenilenebilir Enerji Seçimi Kriterleri

Şengül vd., 2015	Štreimikienė vd., 2016	Özcan vd., 2017	Ligus ve Peternek 2018	Lee ve Chang, 2018	Solangi vd., 2019
Finansal kriterler Yatırım maliyeti	Finansal kriterler Üretim maliyeti	Teknik Kriterler Verimlilik	Ekonomi GSYH	Yatırım maliyeti İşletme ve Bakım maliyeti Elektrik maliyeti	Ekonomik Boyut İlk maliyet
İşletme ve Bakım maliyetleri Geri ödeme periyodu	Ekonomik verim Teknolojinin rekabet gücü	Santral inşa süresi Ekonomik Kriterler	Ticaret dengesi Ekonominin rekabet gücü ve yenilikçiliği İşsizlik oranı	Etkinlik	İşletme ve Bakım Maliyeti Kaynak Potansiyeli
Teknolojik kriterler Etkinlik	Teknolojik kriterler Kapasite	Maliyet Devlet teşviki	Girişim ve kamu sektörünün enerji güvenliği Bölgelerin dengeli gelişimi Arazi ihtiyacı	Kapasite faktörü Teknik olgunluk	Enerji Üretim Maliyeti RE tesisinin beklenen ömrü
Yüklenmiş kapasite Üretilen enerji miktarı Çevresel kriterler	Güvenilirlik Yenilikçilik Teknolojinin dayanıklılığı	Ekonomik ömür Dışa bağımlılık Sosyal Kriterler	Sosyal Toplumsal eşitsizliği ortadan kaldırmak Yeni enerji kültürünün şekillendirilmesi Hanelerin enerji güvenliği	Sera gazı emisyonu Arazi kullanımı İş yaratma	Çevresel Boyut CO ₂ Emisyon Azaltma Çevreye Etkisi
Arazi kullanımı CO2 emisyonu Sosyal kriterler İş yaratma	Çevresel kriterler İklim değişikliği Kirlilik (SO ₂ , NO _x) Sosyal kriterler İş Kamuoyu kabulü	İstihdam olanakları Sosyal kabul Çevresel Kriterler Alan gereksinimi Çevresel etki Topografik gereksinimler Sera gazı salınımı	Karbon salınımı SO _x , NO _x , PM10, PM2.5 Atık üretim miktarı Ekonominin kaynak verimliliği Peyzajda girişim Arıza / kaza riski	Sosyal kabul	Arazi İhtiyacı Gürültü Teknik Boyut Teknoloji olgunluğu Etkinlik Kapasite faktörü İnsan Kaynakları Uzmanlığı İklim koşulları Güvenilirlik / Fizibilite Sosyo-Politik Boyut Kamuoyu kabulü İş yaratma Enerji güvenliği Kurumsal düzenleme Düzenleyici mekanizma

Tablo 1 (devam). Yenilenebilir Enerji Seçimi Kriterleri

Rani vd., 2019	Bento vd., 2020	Yücenur vd., 2020	Alizadeh vd., 2020	Zheng ve Wang 2020
Kirletici emisyonları Atık bertaraf ihtiyacı	Sosyoekonomik faktörler Refah	Yer Şehir merkezine uzaklık	Yarar Yerel kaynakların kullanımı	Ekonomi Yatırım maliyeti
Su kirliliği Arazi ihtiyacı Arazi bozulması	Nüfus ve beşerî sermaye Faiz oranları Finansal piyasaların gücü	Toprağın verimliliği Maliyet Karlılık	Çevrenin korunması Müttefik endüstrilerin gelişimi UNFCCC ve Kyoto Protokolü gibi uluslararası taahhütleri yerine getirmek	Yıllık işletme maliyeti Arazi talebi Çevre
Ekonomik riskler	Fosil enerji kaynaklarının maliyeti	İşçilik maliyetleri	Fırsat	Gürültü etkisi
Enerji arz güvenliği Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	Ülkeye özgü faktörler Enerji bağımlılığı	Ulaşım maliyetleri Yatırım maliyeti	Alternatif çevre dostu kaynaklar geliştirmek İş yaratma	Ekolojik etki Dış çevre ile koordinasyon
Kaynak dayanıklılığı Ulusal enerji politikası hedefine uyumluluk Yatırım maliyetleri Fizibilite	Yenilenebilir potansiyel Siyasi faktörler	Risk Aşınma	Enerji fiyatlarında düşüş Maliyet	Teknoloji Hizmet ömrü
		Deprem riski Terör riski Hammadde Hammadde seçimi Hammaddeye uzaklık Hammadde maliyeti	Yatırım maliyetleri İşletme maliyetleri Bakım maliyetleri Arazi kullanımı Ekolojik hasar Risk Yabancı teknolojiye bağımlılık Mali mekanizma eksikliği Yetersiz teknolojik altyapılar Enerji kaynağının dengesizliği Halkla ilişkiler konusunda bilinç eksikliği Teknolojik eskime Teknoloji Ekonomi Güvenlik Global etki İnsan refahı Enerji güvenlik açığı	Enerji arz istikrarı Enerji verimliliği

Tablo 1'e bakıldığında literatürde yer alan yenilenebilir enerji kaynağı seçimi çalışmaları çoğunlukla incelenmiş ve yazarların kendi çalışmalarında kullandığı kriterler belirtilmiştir. Buna göre, Georgopoulou vd. 1997 yılında ilk olarak finansal kriterler ana boyutu altında, yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, teknolojik kriterler boyutu altında emniyet, işletimsellik, istikrar, çevresel kriterler boyutu altında hava kalitesi, gürültü, görsel özellik, iklim değişikliği, ekosistemin korunması, sosyal kriterler boyutu altında iş ve ekonomik aktiviteler kriterlerini çalışmalarında kullanmışlardır. Yıllar içerisinde özgünlük adına birbirlerinden esinlenen yazarlar, kriterleri çoğalarak artmasını sağlamıştır. Bu artışla kriterlerin uygunluğu ve önem derecesi çalışmasını ortaya çıkarmıştır. Bu sebeple bu çalışmada Tablo 1'den alınan tüm farklı kriterler bir araya getirilmiştir.

2.1. DEMATEL Yöntemi

DEMATEL Yöntemi; kriterler seti arasında etki diyagramlarına ulaşmak için ve matrisler yardımıyla nedensel ilişkileri ortaya koyan bir model analizidir. Yöntem; bileşenler arasındaki ilişkileri diyagramlar ve matrislerle tanımlayarak, bu ilişkiler arasında kantitatif tanımlamalar yaparak ilişkiler arasındaki gücü ortaya koymaktadır (Bai ve Sarkis, 2013). DEMATEL yöntemi 5 adımdan oluşmaktadır (Wu ve Lee, 2007).

Adım 1: Direkt ilişki matrisinin oluşturulması. Tablo 2.'de yer alan ikili karşılaştırma ölçeği kullanılarak direkt ilişki matrisi oluşturulur.

Tablo 2. DEMATEL Değerlendirme Skalası

Sayısal Değer	Açıklama
0	Etkisiz
1	Düşük Etki
2	Orta Etki
3	Yüksek Etki
4	Çok Yüksek Etki

Kriterler arasındaki ilişkiler, ikili karşılaştırma ölçeği kullanılarak uzman grup tarafından belirlenir. Kriterlerin kendi arasındaki değerlendirmeler 0 olarak atanır. Karşılaştırmaların sonucunda direkt ilişki matrisi elde edilir.

Adım 2: Normalleştirilmiş direkt ilişki matrisinin belirlenmesi

$$M=k*A \quad (1)$$

$$k = \min \left[\frac{1}{\max \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right] \quad (2)$$

$i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$

Direkt ilişki matrisi (A)'ya bağlı olarak 1 ve 2 numaralı eşitlikler kullanılarak normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M) oluşturulur.

Adım 3: Toplam ilişki matrisinin elde edilmesi; toplam ilişki matrisi (S) 3 numaralı eşitlik yardımıyla elde edilir. Bu eşitlikte birim matris (I) ile gösterilmektedir. Toplam ilişki matrisi (S) elde edilmesi (1) numaralı eşitlik yardımı ile gerçekleşmektedir. Normalize edilmiş direkt ilişki matrisi, birim matristen çıkarılıp tersi alındıktan sonra tekrar kendisiyle çarpılarak toplam ilişki matrisi elde edilir.

$$S=M+M^2+M^3+\dots=\sum_{i=1}^{\infty} M^i \quad (3)$$

$$=M(1-M)^{-1}$$

Adım 4: Gönderici ve alıcı grubu hesaplanması; gönderici ve alıcı gruplar eşitlik 4, 5 ve 6 numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanır. Matriste yer alan S_{ij} değeri i kriterinin j kriterine olan etki düzeyini belirtmektedir. S matrisindeki sütunlar toplamı (R), S matrisindeki satırlar toplamı (D)'yi göstermektedir. D ve R eşitliklerinin hesaplanmaları ile D-R ve D+R değerlerini kullanarak her bir kriterin diğerleri üzerindeki etkisi ve diğerleri ile ilişki düzeyi belirlenir. D-R'de pozitif değerlere sahip kriterlerin, diğer kriterler üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu tip kriterler gönderici olarak adlandırılmaktadır. D-R değeri için negatif değere sahip olan kriterler ise diğer kriterlerden daha fazla etkilenirler. Bu kriterlere ise alıcı adı verilmektedir. Öte yandan D+R değerleri herhangi bir kriterin diğer kriterler ile arasındaki ilişkisini göstermektedir.

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{1j} & S_{1n} \\ S_{i1} & S_{ij} & S_{in} \\ S_{n1} & S_{nj} & S_{nn} \end{bmatrix} \quad i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (4)$$

$$D = \sum_{j=1}^n S_{i,j} \quad (5)$$

$$R = \sum_{i=1}^n S_{i,j} \quad (6)$$

D+R ve D-R'den yararlanarak etki-yönlü graf diyagramı elde edilebilir. Karar vericiler tarafından belirlenen bir eşik değeri yardımıyla S matrisinde eşik değerden daha büyük etki değerine sahip bazı elemanlar seçilir ve etki yönlü graf diyagramı elde edilir. Yatay eksen D+R, dikey eksen D-R'yi gösteren bir koordinat düzleminde noktalar gösterilir.

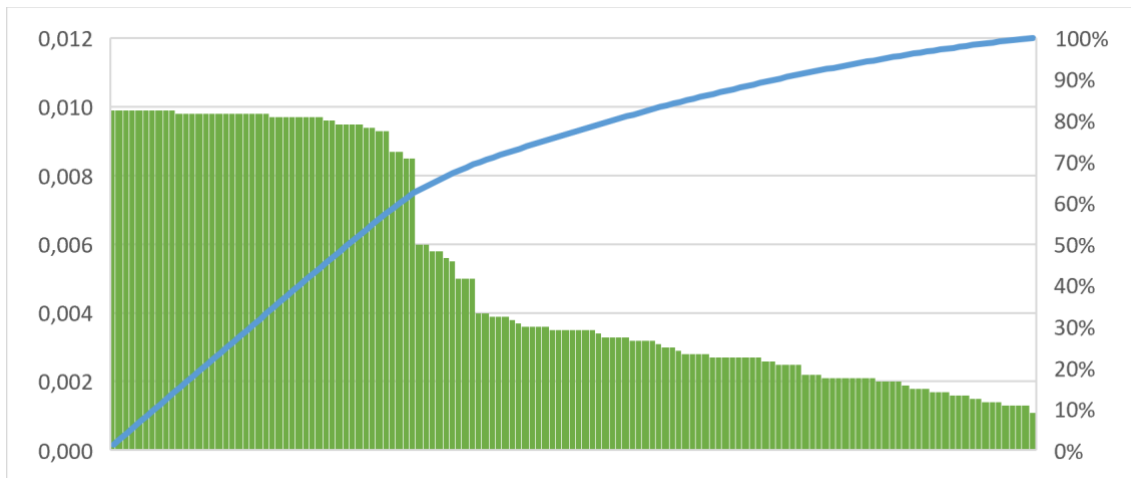
Adım 5: Ağırlıkların hesaplanması; D+R ve D-R değerleri yardımı ile 7 ve 8 numaralı eşitlik kullanılarak ağırlıklar hesaplanır.

$$w_i = \left\{ (D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2 \right\}^{1/2} \quad (7)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (8)$$

3. Bulgular

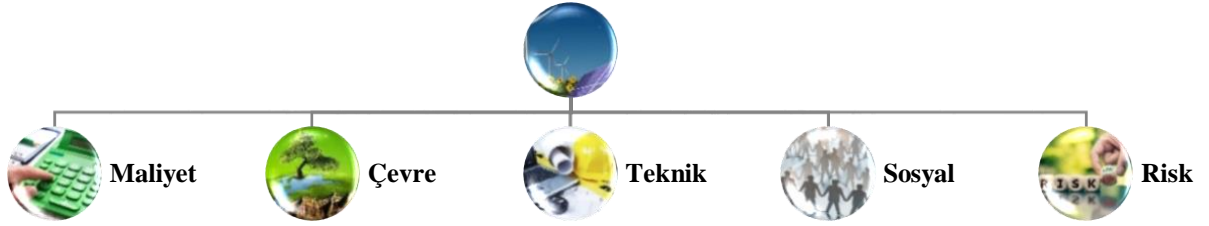
Literatür incelemesiyle ulaşılan 139 farklı kriterin, hangileri gerçekten önemli, hangileri olmazsa olmaz veya hangilerinin önemi göz ardı edilebilir gibi sorulara cevap aranmak istendiği için uzman görüşleri alınarak Pareto analizi gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir enerji alanında çalışan firma temsilcileri ve yine enerji alanında çalışan akademisyenler ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. 10 kişiden görüş alınarak oluşturulan puan tablosunda önem derecesine göre 1-10 arasında puan verilmesi istenmiştir. Elde edilen sonuçlar Pareto analizi açısından çalışılmış ve 139 kriter 45 kritere indirgenerek çalışmada yer almıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Yenilenebilir Enerji Seçiminde Etkili Kriterlerin Belirlenmesi

Kriter sayısının fazla olması sebebiyle kriter isimleri grafik içerisinde yer almamış olsa da 139 kriterden indirgenen 45 alt kriterin detaylı açıklaması ve belirlenen alt kriterlerin tanımlaması Tablo 3'de, yenilenebilir enerji kaynağı belirlemede rol oynayan alt kriter için oluşturulan ana boyutlar ise Şekil 2'de verilmiştir. Yenilenebilir enerjiyi etkileyen ana boyutların sınıflandırılması için, elde edilen kriterlerin tanımlarının birbirleri ile tutarlı ve anlamlı olacak şekilde yapılması sonucunda bir araya getirilerek bulunmuştur.

Yenilenebilir Enerji Ana Boyutları



Şekil 2. Yenilenebilir Enerjiyi Etkileyen Ana Boyutlar

Tablo 3. Kriterlerin Tanımlanması

No	Alt Kriter	Tanım	Ana Boyut
1	Yatırım maliyeti	İlk kurulumda kullanılan hammadde oranına bağlı olarak, ekipman sayısı ve kurulum, mühendislik hizmetleri satın almak için tüm masrafları içerir.	Maliyet
2	İşletme ve Bakım Maliyeti	İşçilerin maaşları da dahil olmak üzere tesisin düzenli bakımının işletme ve taahhüt maliyetini içerir.	
3	İşçilik maliyetleri	Ulaşım, yeme ve içme, eğitim vb. işçilerle ilgili giderleri içerir.	
4	AR-GE maliyeti	Yenilenebilir teknolojide meydana gelen araştırma ve geliştirme giderlerini içerir.	
5	Üretim maliyeti	Yenilenebilir enerji santrallerinden üretilen elektriğin maliyeti olarak tanımlanır.	
6	Nakliye maliyeti	Tedarikçiden enerji tesisine hammadde tedariki için gerekli araç ve giderleri içerir.	
7	Ekolojik ve ekosistem üzerindeki etkisi	Çevresel kirlilik, canlı yaşamına etki eden değişiklikler vb. etkilerin bütünüdür.	Çevre
8	Su kirliliğine etkisi	Enerji tesisinden kaynaklı ortaya çıkan atıklarla suyun kirlenmesini ifade eder.	
9	Su tüketimi	Elektrik üretiminin yaşam döngüsü sırasında kaynağına geri döndürülmeyen yüzey suyu veya yeraltı suyu gibi su rezervuarından elde edilen çekilen su miktarıdır.	
10	Gürültü etkisi	Bölgede elektrik santrallerinin kurulması nedeniyle gürültü kirliliği olasılığını ifade eder.	
11	Sera gazı emisyonu	Sera gazları olarak adlandırılan CO ₂ , SO ₂ ve NO _x moleküller, çevre, hava ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olmasını ifade eder.	
12	İklim değişikliği	İklim koşulları bir elektrik santralindeki üretimi etkiler; tesisin performansı bu koşullara bağlıdır.	
13	Hava kirliliğine etkisi	Enerji tesisinden kaynaklı ortaya çıkan atıklarla hava tabakasının kirlenmesini ifade eder.	
14	Atık bertaraf ihtiyacı	Geri kazanımı mümkün olmayan atıkların bertaraf edilmesi gerekliliğidir.	
15	Arazi bozulması	Arazinin birtakım etkiler sonucu özelliklerinin değişikliğe uğraması ile ekonomik ve ekolojik işlevlerinin azalmasını anlatır.	
16	Kirlilik	Bölgeyi etkileyen her türlü kirliliğin toplamını ifade eder.	
17	Şehir merkezine olan mesafe	Enerji üretimi için seçilecek tesisin uzaklığını ifade eder.	Teknik
18	Hammaddeye olan mesafe	Enerji üretimi için seçilecek tesisin hammadde kaynaklarına yakın olması beklenir.	
19	Arazi ihtiyacı/alan gereksinimi	Santral yatırım kararının verilmesinde, toplam alan kullanımı ve birim m ² 'ye enerji miktarı önemli bir kriterdir.	
20	Hizmet ömrü/Ekonomik ömür/Tesisin beklenen ömrü	Santral kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, yatırımın ekonomik ömrü kârlılığı belirleyen önemli bir faktördür.	

Tablo 3 (devam). Kriterlerin Tanımlanması

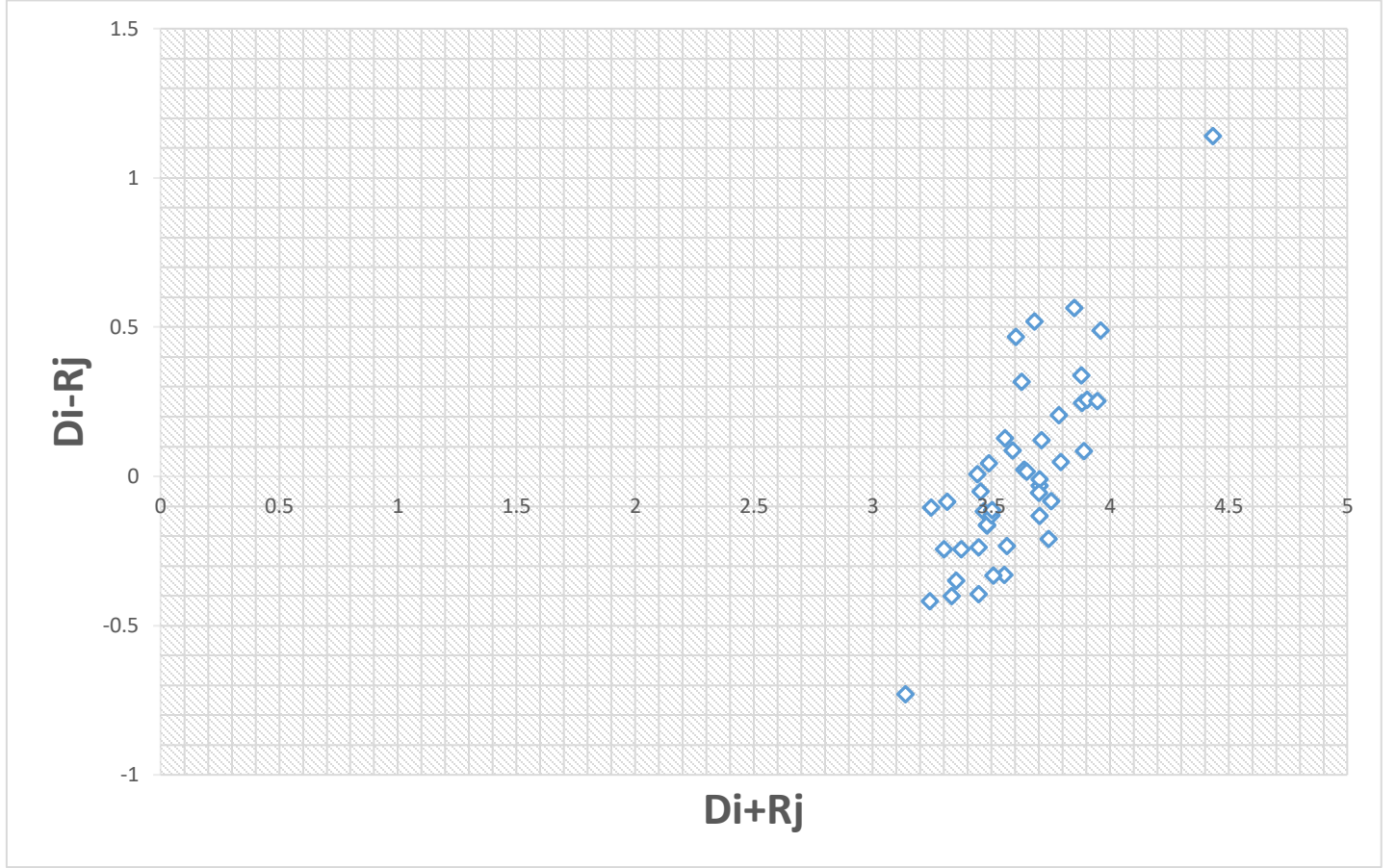
No	Alt Kriter	Tanım	Ana Boyut
21	Kaynak potansiyeli	Bölgede enerji üretmek için yenilenebilir kaynakların kullanılabilirliğidir.	
22	Üretim ve kurulumda modülerlik	Tesisin gerekli büyüklüklerde kurulabilir, birleştirilerek büyüyebilir ve kolayca yer değiştirebilirler olmasını ifade eder.	
23	Teslim süresi	Bir tesisin onaylanması ve kurulması için geçen süredir.	
24	Teknolojik olgunluk	Teknolojinin bölgesel, ulusal ve uluslararası düzeylerde ne kadar yaygın olduğunu gösterir.	
25	Enerji arz istikrarı	Enerji arzının dış ortamdan ne ölçüde etkilendiğini ifade eder.	
26	Güvenlik/Enerji güvenliği/Enerji Arz Güvenliği/Arz güvenliği	Yeterli miktardaki kaliteli ve temiz enerjinin, uygun fiyatlarla ve kesintisiz olarak temin edilmesini anlatır.	
27	Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği/öngörülebilirliği	Bölgenin kaynak bakımından yoğunluğunu, devamlılığını ifade eder	
28	Etkinlik/Enerji verimliliği/Verimlilik	Gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarının önlenmesi, atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi, ileri teknoloji ile üretim düşürülmeden enerji talebinin azaltılması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin tamamıdır.	
29	Üretilen enerji miktarı	Yılda üretilen enerji miktarını ifade eder.	
30	Kapasite faktörü	Bir yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen enerjinin ne kadar yararlı ve verimli olabileceğini gösterir.	
31	Güvenilirlik	Bir elektrik santralının belirtilen koşullar altında temel işlevleri yerine getirme kabiliyeti olarak tanımlanır.	
32	Rezervler / Üretim Oranı	Bölgede bulunan rezerv miktarının, üretime oranına oranını ifade eder.	
33	Devlet teşviki	Hükümet yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda birçok teşvik vermektedir.	Sosyal
34	İş imkanı/ İstihdam olanakları/istihdam yaratma	Yenilenebilir enerji teknolojisinin yaşam döngüsü boyunca, inşaat ve işletimden hizmetten alma aşamasına kadar oluşan potansiyel işleri dikkate almaktadır.	
35	Sosyal Kabul Edilebilirlik	Santrallerin toplum tarafından kabul edilirlilik düzeyini gösteren bir parametre olarak, iş imkanları, sera gazı emisyonları, görüntü kirliliği, alan ve su kullanımı vb. birçok kriterden etkilenmektedir ve maksimize edilmesi gereken bir hedefdir.	
36	Hükümet politikaları	Her yenilenebilir enerji teknolojisine ilişkin hükümet politikalarını içerir.	
37	Ulusal enerji politikası hedefine uyumluluk	Hükümet politikası ile önerilen tesis politikası arasındaki hedeflerin yakınlaşma derecesini ifade eder.	
38	Dış çevre ile koordinasyon	Yabancı firmalarca kurulacak tesisin ülkemizle olan işbirliği düzeyini ifade eder.	
39	Dışa bağımlılık/Enerji bağımlılığı/Yabancı teknolojiye bağımlılık	Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretim içindeki payının artırılması ile mümkün olacak önemli bir stratejik hedefdir.	
40	Yerel kalkınma ve refah	Kurulacak tesisin bölgeyi kalkındırma ve refah seviyesini yükseltmeye etkisini ifade eder.	
41	Yerel, sivil toplum kuruluşlarının tepkisi	Kurulacak tesisin bölge halkı tarafından kabul edilmemesini ifade eder.	
42	Deprem riski	Tesisin açılacağı bölgenin deprem riski açısından incelenmesini içerir.	Risk
43	Terör riski	Alternatifler, enerji tesisinin bulunduğu şehre terör saldırısı olasılığına / oranına göre incelenir.	
44	Arıza / kaza riski	Enerji tesisinin arıza veya kaza riskine olasılığı incelenir.	
45	Ekonomik riskler	Kurulum aşamasında veya sonrasında öngörülemeyen ekonomik zorlukları içerir.	

Tablo 3 dikkate alınarak Pareto analizi sonucu elde edilen 45 alt kritere yönelik önem derecelerinin belirlenmesi için DEMATEL uygulamasına geçilmiştir. İlk adım olarak kriterler arası ilişkiler ikili karşılaştırma ölçeği (Tablo 2) kullanılarak direkt ilişki matrisi uzman görüşü alınarak belirlenmiştir. 45 kritere yönelik karşılıklı değerlendirme yapılarak matris elde edilmiştir. Yöntemde yer alan formüller aracılığıyla toplam ilişki matrisi elde edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Toplam ilişki matrisi

Kriterler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45				
1	0,03	0,05	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06		
2	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03			
3	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,05		
4	0,03	0,03	0,05	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03		
5	0,05	0,06	0,05	0,03	0,03	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,03	0,06	0,03	
6	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,03	0,02	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04		
7	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03		
8	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03		
9	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,05	0,02	0,04	0,04		
10	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	
11	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03	0,05	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05		
12	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,02	0,05	
13	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	
14	0,04	0,05	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02		
15	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,02	0,04	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
16	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	
17	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04		
18	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,05	0,03	0,03	0,03		
19	0,04	0,03	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	
20	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,06	0,05	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04		
21	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,03			
22	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	
23	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,02	0,05	0,02	0,05	
24	0,04	0,04	0,05	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05		
25	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05			
26	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
27	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,04	0,05	0,07	0,07	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07
28	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0																																								

Tablo 4 ile kriterler toplam ilişki matrisinde yerini almıştır. Matrisin puan ortalaması 0,04 olarak bulunmuştur. Bu ortalama eşik değerini göstermektedir ve kırmızı ile gösterilen alanlar bu ortalamanın üzerinde değer alan kriterler olarak gösterilmiştir. Buna ek olarak gönderici ve alıcı grubun hesaplanması aşamasına gidilmiştir. Ardından, Tablo 5’de yer alan D+R ve D-R’den yararlanarak etki yönlü graf diyagramı elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Etki yönlü diyagram

Şekil 3’e göre eksenin pozitif tarafında kalanlar etkileyen grupta iken, negatif tarafında kalanlar etkilenen olarak grafikte yer almıştır. Buna göre Di-Rj dikkate alınarak negatif değerler (ekolojik ve ekosistem üzerindeki etkisi, nakliye maliyeti, güvenlik/enerji güvenliği/enerji arz güvenliği/arz güvenliği, sera gazı emisyonu/sera gazı salınımı, su tüketimi, hammaddeye olan mesafe, iş imkanı/istihdam olanakları/istihdam yaratma, hava kirliliğine etkisi iklim değişikliğine etkisi, hükümet politikaları, ulusal enerji politikası hedefine uyumluluk, atık bertarafı ihtiyacı, şehir merkezine olan mesafe, sosyal kabul edilebilirlik, yerel kalkınma ve refah, devlet teşviki, gürültü etkisi, üretilen enerji miktarı, işçilik maliyetleri, kirlilik (SO₂, NO_x), arazi bozulması, ar-ge maliyeti, dış çevre ile koordinasyon, kapasite faktörü, su kirliliğine etkisi) etkilenen kriterler olarak bulunmuştur.

Tablo 5. Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması

No	Kriter	Di	Rj	Di+Rj	Di-Rj	Etki Grubu
1	Yatırım maliyeti	2,2083	1,6430	3,8513	0,5652	Etkileyen
2	İşletme ve Bakım Maliyeti	1,8431	1,7147	3,5578	0,1283	Etkileyen
3	İşçilik maliyetleri	1,4119	1,8295	3,2414	-0,4176	Etkilenen
4	AR-GE maliyeti	1,5648	1,8093	3,3740	-0,2445	Etkilenen
5	Üretim maliyeti	2,2255	1,7355	3,9610	0,4900	Etkileyen
6	Nakliye maliyeti	1,5725	1,6763	3,2488	-0,1038	Etkilenen
7	Ekolojik ve ekosistem üzerindeki etkisi	1,5269	1,9207	3,4476	-0,3938	Etkilenen
8	Su kirliliğine etkisi	1,4661	1,8668	3,3329	-0,4008	Etkilenen
9	Su tüketimi	1,6771	1,7932	3,4703	-0,1161	Etkilenen
10	Gürültü etkisi	1,6048	1,8420	3,4468	-0,2373	Etkilenen
11	Sera gazı emisyonu/Sera gazı salınımı	1,8360	1,8681	3,7041	-0,0321	Etkilenen
12	İklim değişikliğine etkisi	1,7025	1,7534	3,4560	-0,0509	Etkilenen
13	Hava kirliliğine etkisi	1,8480	1,8570	3,7051	-0,0090	Etkilenen
14	Atık bertarafı ihtiyacı	1,6667	1,9000	3,5667	-0,2334	Etkilenen
15	Arazi bozulması	1,7658	1,9755	3,7413	-0,2098	Etkilenen
16	Kirlilik (SO ₂ , NO _x)	1,6128	1,9430	3,5559	-0,3302	Etkilenen
17	Şehir merkezine olan mesafe	1,6151	1,6995	3,3146	-0,0844	Etkilenen
18	Hammaddeye olan mesafe	1,5286	1,7720	3,3006	-0,2434	Etkilenen
19	Arazi İhtiyacı/Alan gereksinimi	1,9217	1,8730	3,7947	0,0487	Etkileyen
20	Hizmet ömrü/Ekonomik ömür/Tesisin beklenen ömrü	2,0645	1,8179	3,8824	0,2466	Etkileyen
21	Kaynak potansiyeli	1,9956	1,7912	3,7868	0,2045	Etkileyen
22	Üretim ve kurulumda modülerlik	1,7245	1,7170	3,4415	0,0075	Etkileyen
23	Teslim süresi	1,8386	1,7520	3,5906	0,0867	Etkileyen
24	Teknolojik olgunluk	1,7667	1,7230	3,4897	0,0437	Etkileyen
25	Enerji arz istikrarı	1,9170	1,7951	3,7121	0,1220	Etkileyen
26	Güvenlik/Enerji güvenliği/Enerji arz güvenliği/Arz güvenliği	1,2042	1,9347	3,1389	-0,7304	Etkilenen
27	Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği/öngörülebilirliği	2,7869	1,6474	4,4343	1,1396	Etkileyen
28	Etkinlik/Enerji verimliliği/Verimlilik	2,0360	1,5676	3,6035	0,4684	Etkileyen
29	Üretilen enerji miktarı	1,6961	1,8097	3,5058	-0,1136	Etkilenen
30	Kapasite faktörü	1,5020	1,8507	3,3527	-0,3487	Etkilenen
31	Güvenilirlik	2,1005	1,8477	3,9482	0,2528	Etkileyen
32	Rezervler / Üretim Oranı	1,9886	1,9027	3,8913	0,0858	Etkileyen
33	Devlet teşviki	1,6858	1,8161	3,5020	-0,1303	Etkilenen
34	İş imkanı/ İstihdam olanakları/istihdam yaratma	1,8353	1,9185	3,7538	-0,0832	Etkilenen
35	Sosyal kabul edilebilirlik	1,8231	1,8778	3,7010	-0,0547	Etkilenen
36	Hükümet politikaları	1,7852	1,9184	3,7035	-0,1332	Etkilenen
37	Ulusal enerji politikası hedefine uyumluluk	1,6587	1,8232	3,4819	-0,1646	Etkilenen
38	Dış çevre ile koordinasyon	1,5897	1,9208	3,5105	-0,3311	Etkilenen
39	Dışa bağımlılık/Enerji bağımlılığı/Yabancı teknolojiye bağımlılık	1,8308	1,8081	3,6388	0,0227	Etkileyen
40	Yerel kalkınma ve refah	1,6610	1,8231	3,4840	-0,1621	Etkilenen
41	Yerel, sivil toplum kuruluşlarının tepkisi	2,1007	1,5818	3,6824	0,5189	Etkileyen
42	Deprem riski	1,8324	1,8170	3,6494	0,0154	Etkileyen
43	Terör riski	2,0809	1,8235	3,9044	0,2573	Etkileyen
44	Arıza/kaza riski	1,9726	1,6559	3,6285	0,3167	Etkileyen
45	Ekonomik riskler	2,1093	1,7713	3,8806	0,3380	Etkileyen

Di+Rj değeri göz önünde bulundurularak ağırlıklara göre ilişki sıralaması yapıldığı takdirde en yüksek ilişkili kriterler Şekil 4'de verildiği gibi olmaktadır.

İLİŞKİ DÜZEYİ		Di+Rj
		Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği/öngörülebilirliği
	Üretim maliyeti	3,9610
	Güvenilirlik	3,9482
	Terör riski	3,9044
	Rezervler / Üretim Oranı	3,8913
	Hizmet ömrü/Ekonomik ömür/Tesisin beklenen ömrü	3,8824
	Ekonomik riskler	3,8806
	Yatırım maliyeti	3,8513
	Arazi İhtiyacı/Alan gereksinimi	3,7947
	Kaynak potansiyeli	3,7868
	İş imkanı/ İstihdam olanakları/istihdam yaratma	3,7538
	Arazi bozulması	3,7413
	Enerji arz istikrarı	3,7121
	Hava kirliliğine etkisi	3,7051
	Sera gazı emisyonu/Sera gazı salınımı	3,7041
	Hükümet politikaları	3,7035
	Sosyal kabul edilebilirlik	3,7010
	Yerel, sivil toplum kuruluşlarının tepkisi	3,6824
	Deprem riski	3,6494
	Dışa bağımlılık/Enerji bağımlılığı/Yabancı teknolojiye bağımlılık	3,6388
	Arıza/kaza riski	3,6285
	Etkinlik/Enerji verimliliği/Verimlilik	3,6035
	Teslim süresi	3,5906
	Atık bertarafı ihtiyacı	3,5667
	İşletme ve Bakım Maliyeti	3,5578
	Kirlilik (SO ₂ , NO _x)	3,5559
	Dış çevre ile koordinasyon	3,5105
	Üretilen enerji miktarı	3,5058
	Devlet teşviki	3,5020
	Teknolojik olgunluk	3,4897
	Yerel kalkınma ve refah	3,4840
	Ulusal enerji politikası hedefine uyumluluk	3,4819
	Su tüketimi	3,4703
	İklim değişikliğine etkisi	3,4560
	Ekolojik ve ekosistem üzerindeki etkisi	3,4476
	Gürültü etkisi	3,4468
	Üretim ve kurulumda modülerlik	3,4415
	AR-GE maliyeti	3,3740
	Kapasite faktörü	3,3527
	Su kirliliğine etkisi	3,3329
	Şehir merkezine olan mesafe	3,3146
	Hammaddeye olan mesafe	3,3006
	Nakliye maliyeti	3,2488
	İşçilik maliyetleri	3,2414
	Güvenlik/Enerji güvenliği/Enerji arz güvenliği/Arz güvenliği	3,1389

Şekil 4. İlişki düzeyi gösterimi

4. Sonuç

Günümüzde sanayinin, ulaşımın ve nüfusun hızlı bir şekilde artması enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün arttırmaktadır. Artan enerji ihtiyacıyla birlikte enerji kullanımının artması çevresel problemler başta olmak üzere ithalat bağımlılığı, enerjiye ulaşım gibi birçok farklı problemi de ortaya çıkarmaktadır. Bu problemlerin ortaya çıkmasının temel nedeni kömür, petrol ve doğal gaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları enerjiye ulaşım kolaylaştırmakta, ithalat bağımlılığının azalmasını sağlamakta ve sera gazı emisyonu gibi çevresel

problemlerin azalmasına etki etmektedir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması sırasında ele alınması gereken kriterlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç ile yenilenebilir enerji kaynaklarının dar boğazlarını ortaya koyacak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması için öncelikli çalışma olan kriterlerin belirlenmesi çalışması uygulanmıştır.

Uygulamada elde edilen sonuçlar alt kriter ve ana boyutlar olarak detaylandırılmıştır. Buna göre maliyet ana boyutunun altında; yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, işçilik maliyetleri, ar-ge maliyeti, üretim maliyeti, nakliye maliyeti; çevre ana boyutunun altında ekolojik ve ekosistem üzerindeki etkisi, su kirliliğine etkisi, su tüketimi, gürültü etkisi, sera gazı emisyonu, iklim değişikliği, hava kirliliğine etkisi, atık bertaraf ihtiyacı, arazi bozulması, kirlilik; teknik ana boyutunun altında şehir merkezine olan mesafe, hammaddeye olan mesafe, arazi ihtiyacı/alan gereksinimi, hizmet ömrü/ekonomik ömür/tesis beklenen ömrü, kaynak potansiyeli, üretim ve kurulumda modülerlik, teslim süresi, teknolojik olgunluk, enerji arz istikrarı, güvenlik/enerji güvenliği/enerji arz güvenliği/arz güvenliği, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği/öngörülebilirliği, etkinlik/enerji verimliliği/verimlilik, üretilen enerji miktarı, kapasite faktörü, güvenilirlik, rezervler / üretim oranı; sosyal ana boyutunun altında devlet teşviki, iş imkanı/ istihdam olanakları/istihdam yaratma, sosyal kabul edilebilirlik, hükümet politikaları, ulusal enerji politikası hedefine uyumluluk, dış çevre ile koordinasyon, dışa bağımlılık/enerji bağımlılığı/yabancı teknolojiye bağımlılık, yerel kalkınma ve refah, yerel, sivil toplum kuruluşlarının tepkisi; risk ana boyutunun altında ise deprem riski, terör riski, arıza / kaza riski, ekonomik riskler alt kriterleri yer almıştır.

Pareto Analizi neticesinde elde edilen 45 alt kriterle yönelik ilişki araştırması DEMATEL yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre ekolojik ve ekosistem üzerindeki etkisi, nakliye maliyeti, güvenlik/enerji güvenliği/enerji arz güvenliği/arz güvenliği, sera gazı emisyonu/sera gazı salınımı, su tüketimi, hammaddeye olan mesafe, iş imkanı/ istihdam olanakları/istihdam yaratma, hava kirliliğine etkisi iklim değişikliğine etkisi, hükümet politikaları, ulusal enerji politikası hedefine uyumluluk, atık bertarafı ihtiyacı, şehir merkezine olan mesafe, sosyal kabul edilebilirlik, yerel kalkınma ve refah, devlet teşviki, gürültü etkisi, üretilen enerji miktarı, işçilik maliyetleri, kirlilik (SO₂, NO_x), arazi bozulması, ar-ge maliyeti, dış çevre ile koordinasyon, kapasite faktörü, su kirliliğine etkisi kriterleri etkilenen kriterler; yatırım maliyeti, üretim maliyeti, yerel, sivil toplum kuruluşlarının tepkisi, etkinlik/enerji verimliliği/verimlilik, arıza/kaza riski, ekonomik riskler, arazi ihtiyacı/alan gereksinimi, hizmet ömrü/ekonomik ömür/tesis beklenen ömrü, kaynak potansiyeli, dışa bağımlılık/enerji bağımlılığı/yabancı teknolojiye bağımlılık, teslim süresi, deprem riski, terör riski, teknolojik olgunluk, üretim ve kurulumda modülerlik, enerji arz istikrarı, işletme ve bakım maliyeti, güvenilirlik, rezervler/üretim oranı, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği/öngörülebilirliği etkileyen kriterler konumunda yer almıştır. En çok etki düzeyine sahip kriter enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği/öngörülebilirliği olmuştur. En az etki düzeyine sahip kriter ise güvenlik kriteri olmuştur.

Bu analiz neticesinde ortaya çıkan beş ana boyut, 45 alt kriter gelecek çalışmalarda önemli düzeyde rol alacak niteliktedir. Karar verme problemlerine oldukça sık konu olan yenilenebilir enerji kaynakları seçimi konusunda farklı enerji kaynaklarının farklı bölgelere seçiminde bu kriterler ele alınarak çalışmalar genişletilebilir.

Teşekkür / Bilgilendirme

Bu araştırma, Tarsus Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje No: MF.20.007) tarafından desteklenmiştir.

Referanslar

- Akash, B. A., Mamlook, R., & Mohsen, M. S. (1999). Multi-criteria selection of electric power plants using analytical hierarchy process. *Electric power systems research*, 52(1), 29-35.
- Al Garni, H., Kassem, A., Awasthi, A., Komljenovic, D., & 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.
- Alizadeh, R., 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.
- Alkan, Ö., & Albayrak, Ö. K. (2020). Ranking of renewable energy sources for regions in Turkey by fuzzy entropy based fuzzy COPRAS and fuzzy MULTIMOORA. *Renewable Energy*, 162, 712-726.
- Amer, M., & Daim, T. U. (2011). Selection of renewable energy technologies for a developing county: a case of Pakistan. *Energy for sustainable development*, 15(4), 420-435.
- Bai, C. ve Sarkis, J. (2013) "A Grey-Based DEMATEL Model For Evaluating Business Process Management Critical Success Factors", *International Journal of Production Economics*, 146(1): 281-292.
- Barry, M. L., Steyn, H., and Brent, A. 2011. Selection of renewable energy technologies for Africa: Eight case studies in Rwanda, Tanzania and Malawi. *Renewable Energy*, 36(11), 2845-2852.

- Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable energy*, 28(13), 2063-2087.
- Bento, N., Borello, M., & Gianfrate, G. (2020). Market-pull policies to promote renewable energy: A quantitative assessment of tendering implementation. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119209.
- Bozkurt, R. (1998). *Kalite iyileştirme araç ve yöntemleri* (630). Basım Yeri: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları.
- Georgopoulou, E., Lalas, D., & Papagiannakis, L. (1997). A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 38-54.
- Güler, Ö. (2009). Wind energy status in electrical energy production of Turkey. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(2), 473-478.
- Haralambopoulos, D. A., and Polatidis, H. 2003. Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework. *Renewable energy*, 28(6), 961-973.
- IEA. 2013. *CO2 Emissions From Fuel Combustion* (2013 Edition).
- Irfan, M., Zhao, Z. Y., Rehman, A., Ozturk, I., and Li, H. 2020a. Consumers' intentionbased influence factors of renewable energy adoption in Pakistan: a structural equation modeling approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Jabeen, G., Yan, Q., Ahmad, M., Fatima, N., and Qamar, S. 2019. Consumers' intentionbased influence factors of renewable power generation technology utilization: a structural equation modeling approach. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117737.
- Kabak, M., & Dağdeviren, M. (2014). Prioritization of renewable energy sources for Turkey by using a hybrid MCDM methodology. *Energy conversion and management*, 79, 25-33.
- Kahraman, C., Kaya, İ., & Cebi, S. (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*, 34(10), 1603-1616.
- Kaya, T., and Kahraman, C. 2010. Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517-2527.
- Kim, H., Park, E., Kwon, S. J., Ohm, J. Y., & Chang, H. J. 2014. An integrated adoption model of solar energy technologies in South Korea. *Renewable Energy*, 66, 523-531.
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., and Bansal, R. C. 2017. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609.
- Lee, H. C., & Chang, C. T. (2018). Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 883-896.
- Ligus, M., & Peternek, P. (2018). Determination of most suitable low-emission energy technologies development in Poland using integrated fuzzy AHP-TOPSIS method. *Energy Procedia*, 153, 101-106.
- Nigim, K., Munier, N., & Green, J. (2004). Pre-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources. *Renewable energy*, 29(11), 1775-1791.
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2017). A combined goal programming–AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1410-1423.
- Polatidis, H., Haralambopoulos, D. A., Munda, G., Vreeker, R. 2006. Selecting an appropriate multi-criteria decision analysis technique for renewable energy planning. *Energy Sources, Part B*, 1(2), 181-193.
- 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.

- Ren, J., & Sovacool, B. K. (2015). Prioritizing low-carbon energy sources to enhance China's energy security. *Energy conversion and management*, 92, 129-136.
- Solangi, Y. A., Tan, Q., Mirjat, N. H., & Ali, S. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117655.
- Stanek, W., Mendecka, B., Lombardi, L., & Simla, T. (2018). Environmental assessment of wind turbine systems based on thermo-ecological cost. *Energy*, 160, 341-348.
- Štreimikienė, D., Šliogerienė, J., & Turskis, Z. (2016). Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. *Renewable energy*, 85, 148-156.
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V., & Şengül, A. B. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. *Renewable energy*, 75, 617-625.
- Wu, W.W. ve Lee, Y.T. (2007) "Developing Global Managers' Competencies Using The Fuzzy DEMATEL Method", *Expert Systems with Applications*, 32(2): 499507.
- Yücenur, G. N., Çaylak, Ş., Gönül, G., & Postalıcıoğlu, M. (2020). An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility. *Renewable Energy*, 145, 2587-2597.
- Zheng, G., & Wang, X. (2020). The comprehensive evaluation of renewable energy system schemes in tourist resorts based on VIKOR method. *Energy*, 193, 116676.