

DOI: 10.26650/JGEOG2023-1233104

COĞRAFYA DERGİSİ
JOURNAL OF GEOGRAPHY
2023, (47)

<https://iupress.istanbul.edu.tr/en/journal/jgeography/home>


Rüzgâr Enerji Santrali (RES) Yer Seçimi için BWM-CBS Tabanlı Bir Yaklaşım: Tunceli Örneği

A BWM-GIS Based Approach for Wind Power Plant (WPP) Site Selection: Sample of Tunceli

Zekeriya KONURHAN¹ , Erkin BAŞARAN¹ 

¹Araş. Gör. Munzur Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi ve Coğrafya Bölümü, Tunceli, Türkiye

ORCID: Z.K. 0000-0002-9750-5907; E.B. 0000-0003-0759-561X

ÖZ

Günümüz dünyasında fosil yakıtların yerine alternatif bir enerji kaynak arayışı oldukça popüler bir yaklaşımdır. Güneş panelleri ve rüzgâr enerjisi santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtların alternatifleri arasındadır. Rüzgâr enerjisi santralleri hem denizde hem de karada olmak üzere dünyanın birçok bölgesinde aktif olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de de RES’ler özellikle 2000’lerin başından itibaren kullanılmaya başlamıştır. Türkiye’deki RES’ler daha çok Ege ve Marmara Bölgesinde yer almaktadır. Çalışma alanı olan Tunceli’de ise herhangi bir RES bulunmamaktadır. Bu çalışmanın temel amacı Tunceli için uygun RES alanlarını önermektir. Bu kapsamda Best-Worst yöntemi (BWM) CBS’ye entegre edilerek kullanılmıştır. BWM yöntemi ikili karşılaştırmaya dayanan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemidir. Çalışmada BWM modeli kullanılarak “topografya”, “sosyo-ekonomik”, “teknik” ve “lokasyon” olmak üzere dört ana kriter altında 16 kriter belirlenmiştir. Her bir kriter farklı disiplinlerden uzmanlar tarafından anket olarak değerlendirilmiş ve uygun yer seçimi için kullanılmıştır. 16 kriter için ayrı ayrı haritalar oluşturulmuş, kriterlerin açıklamaları yapılmış ve bu haritalar sonuç haritasında kullanılmıştır. BWM modeli kullanılarak tespit edilen kriter ağırlıkları CBS’ye entegre edilerek Tunceli için uygun RES kurulum alanları belirlenmiştir. Buna göre, Tunceli’nin güneydoğusunda yer alan Pertek ve Mazgirt çevresi ile Pülümür’ün kuzeyi ve Çemişgezek’in çevresinde fiziki coğrafya açısından uygun şartları sağlayan bazı alanlar RES kurulumuna elverişlidir.

Anahtar kelimeler: RES, Best-Worst Metot, CBS ile Uygun Yer Seçimi, Tunceli

ABSTRACT

In today’s world, searching for an alternative energy source instead of fossil fuels has become highly popular. Renewable energy sources such as solar panels and wind power plants are the alternatives to fossil fuels. Wind power plants (WPPs) are actively used in several regions of the world, both at sea and on land. In Turkey, WPPs have been used, especially since the early 2000s, with the Aegean and Marmara regions being their prime locations. However, there is no WPP in Tunceli. Thus, the main objective of this study is to recommend suitable WPP areas for Tunceli. In this context, the best-worst method (BWM) was integrated into the geographical information system (GIS) and used in the study. The BWM method is a multi-criteria decision making (MCDM) method based on pairwise comparison. In the study, 16 criteria were determined under four main criteria “topography”, “socio-economic”, “technical”, and “location” by using the BWM model. Experts from different disciplines evaluated each criterion as a questionnaire and used it for appropriate site selection. For the 16 criteria, separate maps were created, explanations of the criteria were established, and these maps were cumulatively used in the resulting map. The criteria weights determined using the BWM model were integrated into the GIS, and suitable WPP installation areas for Tunceli were determined. Accordingly, some areas around Pertek and Mazgirt in the southeast of Tunceli, north of Pülümür, and around Çemişgezek, which provide suitable conditions in terms of physical geography, are suitable for WPP installation.

Keywords: WPP, Best-Worst Method, Appropriate Site Selection with GIS, Tunceli

Submitted/Başvuru: 12.01.2023 • **Revision Requested/Revizyon Talebi:** 17.05.2023 • **Last Revision Received/Son Revizyon:** 16.06.2023 • **Accepted/Kabul:** 05.07.2023



Corresponding author/Sorumlu yazar: Zekeriya KONURHAN / zkonurhan@munzur.edu.tr

Citation/Atıf: Konurhan, Z., & Basaran, E. (2023). Rüzgâr Enerji Santrali (RES) yer seçimi için BWM-CBS tabanlı bir yaklaşım: Tunceli örneği. *Coğrafya Dergisi*, 47, 15-28. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2023-1233104>



EXTENDED ABSTRACT

The increasing energy demand in the world pushes countries to meet this demand each year from renewable resources in addition to fossil fuels. Based on sustainability and environmental impact factors, renewable energy sources have become extremely important. Wind energy is a renewable energy source, whose capacity is increasing both at home and abroad.

In this study, the most suitable WPP installation site for Tunceli was determined by using Best-Worst Method (BWM)-GIS in an integrated manner. In this context, a total of 16 criteria were determined based on the literature and the characteristics of the study area, which were then evaluated by experts and used in the study. Since wind power plant location selection is an interdisciplinary problem, experts from different fields were consulted in the criteria evaluation. The expert team consisted of experts in the fields including geography, industrial engineers, surveyors, geology, energy systems engineering, disaster management, and renewable energy resources. These experts filled out the questionnaires (Table 3), and the criteria weights were calculated using the LINGO 19.0 software according to the formula suggested by the best-worst method (BWM). BWM is an MCDM method based on pairwise comparison. BWM outputs were transferred to the GIS, an overlapping analysis was applied using the “Weight Sum” tool from ArcGIS tools, and suitable areas for RES installation were determined.

For Tunceli, the most suitable WPP areas proposed within the scope of the study constitute a limited area. These areas are partly the northern periphery of Pülümür and the environs of Pertek and Mazgirt. According to the study outputs, the “less suitable” and “not suitable” fields correspond to a fairly wide area owing to the wind speed in the Tunceli province and the difficult physical geographical conditions of the region. Especially in Munzur and Mercan Mountains located in the northern part of the study area, the altitude reaches 3,000 m and has considerably high slope values. Likewise, in most parts of the study area, the elevation and slope values are quite high. In addition, except for certain regions of the study area (partially north of Pülümür and around Pertek and Mazgirt), the wind speed is substantially low. Therefore, based on the effect of these conditions, suitable areas in the WPP installation coincided with a limited area.

Within the scope of the study, field studies were conducted in the areas most suitable for the WPP installation. Fieldwork is critical for the comparison of the analysis results with the real area. In this direction, necessary comparisons were drawn and locations possibly suitable for the WPP installation were shown. Despite the integrated use of BWM-GIS in this study, certain limitations exist. Within the scope of the study, a total of 16 criteria were used among only four main criteria. The output of the study agrees with these criteria. In addition, technical details such as wind turbine type and shape have not been considered and were evaluated in general, which was another limitation of the study. More precise results can be achieved if the number of criteria and turbine type are considered in detail in future studies.

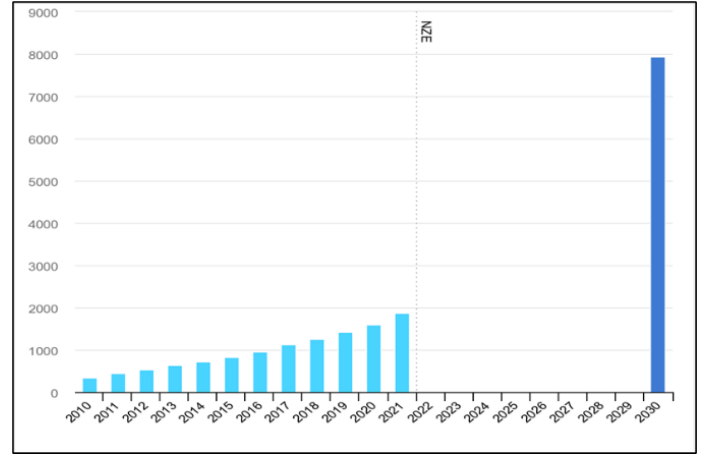
Based on the results of this study, places with high elevation, very high slope, very dense forests, and those far from main roads and power lines correspond to “less suitable” and “unsuitable” areas. These areas are mostly located around the Munzur and Mercan mountain ranges, around the Munzur and Pülümür valleys, and high areas in the north of Hozat and Çemişgezek. These areas have limited settlement with difficult physical and climatic conditions. Therefore, such areas are not only suitable for WPP installation but also for various human activities.

1. GİRİŞ

Küresel enerji talebinin gelecek yıllarda artmaya devam edeceği öngörülmekle birlikte, sanayileşmiş ülkelerdeki artışın, sanayileşmiş dünyayı takip etmeye devam eden gelişmekte olan ülkelere göre daha düşük olacağı tahmin edilmektedir. Dünya nüfusu önümüzdeki birkaç on yılda artmaya devam edeceği için 2050 yılına kadar enerji talebinin de 1990'a kıyasla 2.3 ila 4 kat artacağı düşünülmektedir (Quaschnig, 2005). Enerji talebinin kullanım çeşitliliğindeki çok yönlü büyümeyle paralel olarak gün geçtikçe arttığı günümüz dünyasında, enerjinin yenilenebilir ve çevre dostu teknolojiler vasıtasıyla elde edilmesi giderek önem kazanan bir olgudur. Her geçen gün artan talep, mevcut enerji altyapısı üzerinde önemli bir baskı oluşturmakta, sera gazı emisyonları ve küresel ısınma nedeniyle çevre sağlığı önemli ölçüde etkilenmektedir. Bugün karşı karşıya olduğumuz çevre sorunlarına çözüm bulmak, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma için de uzun vadeli eylemler gerektirmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir kalkınma arasındaki yakın ilişkiden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları en verimli ve etkili çözümlerden biri olarak görünmektedir (Omer, 2008). Çevre sağlığının olumsuz etkilenmesi de yenilenebilir enerji kaynaklarının gündeme gelme sıklığını artırmaktadır.

Günümüzde küresel ısınma ve iklim değişikliğinin çevreye ve insanlığa verdiği zararlar herkesçe bilinmektedir. Enerji sektörü ise, tıpkı sera gazı emisyonları gibi küresel ısınmayı ve dünyadaki toplam karbondioksit (CO₂) salınımını %75'e varan oranlarda artırıcı bir etkiye sahiptir (Manish vd. 2006). Enerji üretiminde yenilenebilir kaynaklara yönelmesinin ulaştığı düzey, gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkeden verilebilecek örneklerle daha iyi anlaşılabilir. Almanya'da Energiewende programıyla, nükleer enerjinin terk edip yenilenebilir kaynakların kullanımının hızlandırılması yoluyla 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarının %80 oranında azaltılması hedeflenmektedir (Renn ve Marshall, 2016; Morris ve Jungjohann, 2017). Yenilenebilir enerji kullanımına yönelik hedefler, birçok ülke ve bölgede büyümeye devam etmektedir. Örneğin, Avrupa Birliği 2014 yılında %27 olarak belirlediği 2030 yenilenebilir enerji üretim payı hedefini 2018'de %32'ye yükseltmiş bulunmaktadır (**Şekil 1**) (Gielen vd. 2019).

Enerji sektörünün heterojenliğine ve 50 eyaletinin her birinde tedarik kaynaklarının belirgin farklılıklarına rağmen, Amerika Birleşik Devletleri de yenilenebilir enerjiye başarılı bir geçiş süreci yaşamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik vergi teşviği gibi uygulamalar gerek federal hükümetler gerek ise



Şekil 1: Dünyada Rüzgâr Enerjisi Üretiminin TWH Olarak Mevcut Durumu ve 2030 Tahmini (IEA, 2022)

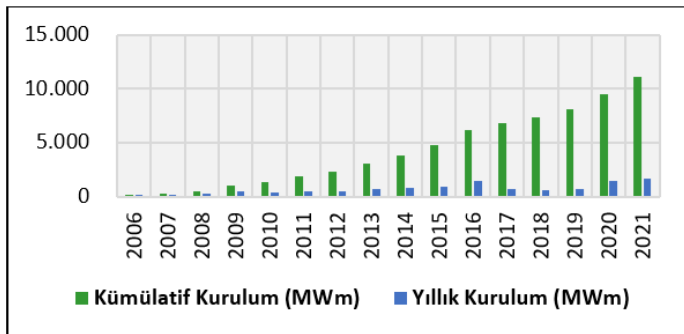
Figure 1: Status of Wind Power Production in TWH and Forecast for 2030 (IEA, 2022).

eyaletler düzeyinde ülkenin enerji sektörünü dönüştürmektedir. Dünyanın en büyük enerji üreticisi ve tüketicisi olarak Çin ise, enerji tedarik dönüşümünde kritik bir role sahiptir. Çin, artan enerji talebini karşılamak ve hava kirliliğini azaltmak için yenilenebilir kaynaklara yönelmiş, ülke ayrıca 2030'a kadar gayri safi yurtiçi hasılasındaki birim başına düşen karbon emisyonlarını %60-65 oranında azaltmak için hedefler belirlemiş bulunmaktadır (URL-1). Küresel enerji kullanımında önde gelen başka birçok ülke yenilenebilir kaynaklardan tedarige yönelik ciddi adımlar atmaya sürdürmektedir. Nitekim, Rusya'nın 2024 yılı için güneş, rüzgâr ve jeotermal başta olmak üzere yenilenebilir kaynak kullanımı açısından belirlediği 5 GW hedefini aşacağı öngörülmektedir (Gielen vd., 2019). Türkiye'de cari açığındaki en önemli kalem olan enerji ithalatını azaltmak için arz noktasında güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların kullanımını artırması gerekmektedir (Yılmaz, 2012).

Enerji talebinin karşılanması noktasında kaynakları yeterli olmayan ülkemiz, enerji ithalatını sürekli arttırır hale gelmiştir. Özellikle petrol ve doğalgaz gibi kaynaklar açısından enerji ithalatına olan bağımlılık giderek artmaktadır (Yılmaz, 2012). Fosil yakıtlar açısından fakir olan Türkiye'nin bu sürekli artan enerji talebini karşılamakta kaynakları yetersiz kalmakta olup, toplam enerji talebinin ancak %26'sı kendi kaynaklarımızdan karşılanabilmektedir. Bu durum şüphesiz ülkemizi enerji ithalatçısı bir konuma getirmektedir. Türkiye'nin enerji talebi noktasında petrolün %92'sini ve doğalgazın %99'unu ithal etmesine bağlı olarak dış kaynaklara olan bağımlılığı %74 oranındadır (Arslan ve Solak, 2019). Türkiye'nin resmi enerji politikası, 2023'e kadar ülkenin dış kaynaklara olan bağımlılığını azaltmak ve doğal kaynaklara harcanan maliyeti kısarak iç

kaynaklardan maksimum ölçüde yararlanmaktadır. Bu çerçevede 2023 yılında toplam elektrik üretiminin yüzde 30'unun yenilenebilir kaynaklardan temin edilmesi hedeflenmiştir (Yılmaz ve Öziç, 2018, s. 526).

Yenilenebilir enerji kaynakları doğadaki tükenmeyen ve kendi kendini yenileyebilen enerji türleridir. Bunlar rüzgâr, güneş, jeotermal, hidroelektrik, dalga ve biyokütle gibi enerjilerdir (Akova, 2003). Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi bakımından çok büyük bir potansiyel barındırmaktadır. Nitekim Türkiye OECD ülkeleri arasında da en yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip ülke konumundadır. Teknik potansiyel bakımından ülkemiz, Almanya'nın yaklaşık 7 ve İspanya'nın ise 2 katı daha fazla potansiyele sahiptir. Potansiyelin yanında bir ülkede rüzgâr hızının fazla olması da rüzgâr enerjisinden faydalanma noktasında önemli bir bileşendir (SETA, 2017), 2023 hedefleri doğrultusunda Rüzgâr Enerji Santrali (RES) kurulu gücünün, toplam gücün %20'sine karşılık gelecek şekilde 20 bin MW değerine ulaşması beklenmektedir. Potansiyel hesaba katıldığında güncel RES kurulu gücü az olmakla beraber, son 10 yıl arzında önemli gelişmeler sağlanmıştır. 2014 sonunda 3.762 MW olan RES kurulu gücü, 2015'in ilk yarısında 430 MW'lık artışla 4.192 MW seviyesine, 2022 yılı itibariyle ise yaklaşık 11.000 MW'ye yükselmiştir. Dolayısıyla elektriğin %6'lık bölümü rüzgâr enerjisinden üretilmekte olup, bu değer 2023'te %20 düzeyine yükseltilmesi hedeflenmektedir (**Şekil 2**) (Gültekin, 2019).



Şekil 2: 2006-2021 Dönemi RES Kurulum Miktarları (TUREB, 2022)
Figure 2: 2006-2021 WPP Installation Amounts (TUREB, 2022)

Doğu Anadolu bölgesi, kurulu RES gücü bakımından 2019 yılı verilerine göre %1,22 ile 7 bölge içerisinde sondan ikinci sırada gelmektedir. 43 adet rüzgâr türbininin bulunduğu bölgede özellikle diğer bölgelerden geçiş alanlarına kurulu olan santraller vasıtasıyla 1.500 metre seviyesinin üzerine çıkılarak bu yükselti basamağındaki üretim artmış ve 1.500-1.750 metre yükselti basamağında 945,15 MW enerji üretimi sağlanmış bulunmaktadır

(Pınar vd. 2020). Tunceli çevresi her ne kadar rüzgâr hızları belirli seviyede (3 ile 6 m/s) olsa da belirli bölgeler RES kurulumları için bir potansiyele sahiptir. Bölgeye kurulacak RES'ler ekonomik olarak çok uygun görülmesi de bölgede yer alan tarıma yönelik küçük yerel işletmeler ile köylerin enerji ihtiyacını karşılamak için inşa edilebilir. Söz konusu RES'ler küçük ölçekli olacaktır.

2. ARAŞTIRMADA AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Tunceli ilinde RES kurulumu için en uygun lokasyonların belirlenmesi amaçlanmıştır. Dünya genelinde kullanımı giderek artan rüzgâr enerjisinin Tunceli özelinde sunduğu fırsatlar, RES kurulumu için uygun alanların belirli kriterlerle seçimi temelinde ele alınmıştır.

Araştırma kapsamında uygun yerlerin belirlenebilmesi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Best-Worst Metodu (BWM) Coğrafi Bilgi Sistem (CBS) araçları entegre bir şekilde kullanılmıştır. Rüzgâr enerji santrali yer seçimi disiplinler arası bir problem olduğu için kriterlerin değerlendirilmesinde farklı alanlardaki uzmanlara başvurulmuştur. Uzman ekip coğrafya, endüstri mühendisi, harita mühendisi, jeoloji, enerji sistemleri mühendisliği, afet yönetimi, yenilenebilir enerji kaynakları gibi alanlarda uzman kişilerden oluşmaktadır. Söz konusu uzmanlar gerek çalışma alanı özelinde yeterliliğe sahip olup çalışmada kullanılacak yöntemi ve metod hakkında yeterli bilgiye sahiptirler. Bu uzmanlar anketleri doldurmuş ve kriter ağırlıkları BWM'nin önermiş olduğu formüle göre LİNGO 19.0 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

3. MATERYAL VE VERİ

Çalışmanın bu bölümünde çalışma alanı ve RES kurulumu için kullanılan ÇKKV yöntemi ile çalışma kapsamında kullanılan kriterler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanını oluşturan Tunceli ili, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Fırat Bölümü'nde 9° 19' ve 40° 26' doğu boylamı ile 39° 36' ve 38° 46' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Tunceli'nin ili kuzeyden Munzur Dağları, doğudan Şeytan Dağları, güney ve batıdan da Keban Baraj Gölü çevrilidir. Aynı zamanda Bingöl, Elâzığ ve Erzincan illeriyle komşudur. Yaklaşık 7600 km² ile Türkiye topraklarının %1'ini kaplamaktadır (**Şekil 3**).

Ortalama yükseltisi 1264 m ile dağlık bir bölgede yer alan Tunceli'nin yükseltisi güneyden kuzeye ve batıdan doğuya

doğru gidildikçe artmaktadır. Özellikle kuzeyde yer alan ve doğu Torosların devamı niteliğindeki Munzur, Mercan ve Bağırpaşa dağları ilin en yüksek noktalarını oluşturmaktadır. Bu dağlık bölgede yükselti yer yer 3000 m'leri (Akbaba zirvesi 3463 m) aşmaktadır. Bölgede kuzeyden güneye doğru yükselti azalmakta olup, ilin güney sınırını oluşturan Keban Baraj Gölü çevresinde 750 m'lere kadar düşmektedir.

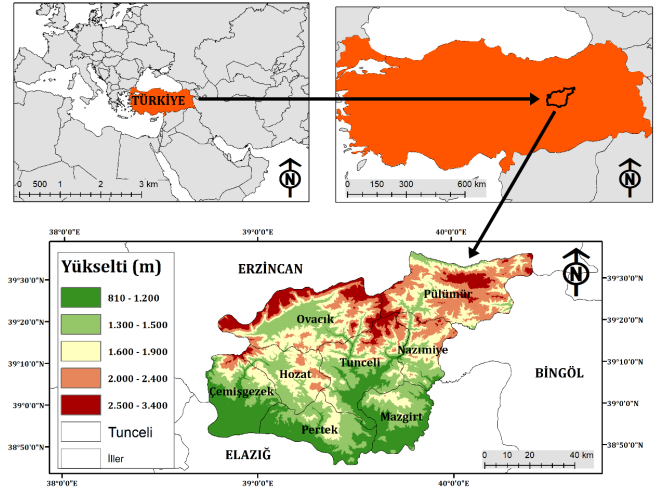
Tunceli topraklarının %70'ini dağlar, %25'ini platolar ve %5'ini ovalık, düz alanlar oluşturmaktadır. Bölgedeki plato sahalarını kuzeydeki dağlık alanların üzerinde, yüksek sırtlar çevrilmiş ve yaklaşık 2500 m yüksekliklerdeki yüksek platolar ile güneyde, yaklaşık 850-1250 m civarındaki alçak platolar oluşturmaktadır (Erinç, 1953). Çalışma alanının kuzeyi yerleşme açısından uygun olmayan, dağlık ve engebeli bir durumdayken, güney bölgesinin yükseltisi az, daha düz ve kuzeye göre yerleşilebilir alanlardan oluşmaktadır (Saraçoğlu, 1956).

Tunceli ilinin kuzey-güney arasındaki yükselti farkı iklimin şekillenmesinde de etkili olmuştur. Bölgenin kuzeyindeki yüksek kesimlerde kışlar çok sert, yazlar serinken; güney bölgesinde kışları daha yumuşak, yazları ise daha serin ve kurak geçmektedir. Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 12,8 °C, yıllık ortalama yağış 862, 6 mm'dir (MGM, 2022).

Tunceli'de topografya koşullarının farklılık göstermesi nüfusun dağılışı üzerinde de etkili olmuştur. İl genelinde yaklaşık 1700 m üzerinde yükseltinin etkisiyle iklim koşulları sertleşmekte ve arazi parçalı görünüm kazanmaktadır. Buralarda yaşam koşullarının zorlaşması hem yerleşmelerin karakterlerini hem de nüfusun ekonomik aktivitelerinin sınırlandırarak nüfus ve

yerleşmelerin azalmasına neden olmaktadır (Esen ve Avcı, 2017). Bu anlamda yöredeki nüfus yüksek ve engebeli kuzey kesimlerde seyrek iken, kısmen düz alanların geniş olduğu güney bölgelerinde daha sık bir görünümündedir.

Çalışma alanında ortalama rüzgâr hızı 3-6 m/s arasında değişmektedir. Rüzgâr hızı vadi içlerinde, etrafı dağlarla kapalı alanlarda da azken, kısmen etrafı açık sahalarda, platoluk alanlarda daha yüksektir. Tunceli şehir merkezinin de içerisinde yer aldığı Munzur ve Pülümür vadileri, etrafı dağlarla çevrili Ovacık Ovası ve çevresinde rüzgâr hızları en düşük değerlere (2-3 m/s) inmektedir. Diğer taraftan dağlık ve engebeli alanların daha az olduğu ve etrafının kısmen açık olduğu doğu-güneydoğu kesimlerinde nispeten daha yüksek rüzgâr hızlarına (5-6 m/s) hakimdir.



Şekil 3: Tunceli İlinin Lokasyon Haritası
Figure 3: Location Map of Tunceli Province

Tablo 1: Çalışmada Kullanılan Kriterlerin Veri Kaynağı ve Çözünürlükleri.

Table 1: Data Source and Resolutions of The Criteria Used in The Study.

Ana Sınıflandırma	Kriter	Veri Kaynağı	Veri Tipi	Çözünürlük (Ölçek)
Topografya	Yükselti	USGS, 2022	Grid	30 m
	Eğim	USGS, 2022	Grid	30
	Arazi Kullanımı	CORINE (2018)	Shapefile	1:100,000
Sosyo-Ekonomik Koşullar	Bitki Örtüsü	USGS, 2022	Grid	100 m
	Litoloji	MTA, 2022	Shapefile	1:100,000
	Nüfus Yoğunluğu	TÜİK, 2022	Shapefile- Alan	1:100,000
	Maliyet	Yazarlar tarafından hesaplandı.	Grid	30 m
Teknik	Kuş Göç Rotaları	Kızıroğlu ve Erdoğan, 2015	Shapefile-Çizgi	1:100,000
	Rüzgâr Hızı	Global Wind Atlas, 2022	Grid	100 m
	Kapasite Faktör Dağılımı	Global Wind Atlas, 2022	Grid	100 m
	Rüzgâr Güç Yoğunluğu	Global Wind Atlas, 2022.	Grid	100 m
Lokasyon	Elektrik Hatlarına Uzaklık	OpenStreetMap, 2022	Shapefile-Çizgi	1:50,000
	Yollara Uzaklık	OpenStreetMap, 2022	Shapefile- Çizgi	1:25,000
	Yerleşim Alanlarına	OpenStreetMap, 2022	Shapefile-Çizgi	1:100,000
	Faylara Uzaklık	OpenStreetMap, 2022	Shapefile-Çizgi	1:100,000
	Akarsu-Göllere Uzaklık	OpenStreetMap, 2022	Shapefile- Çizgi	1:25,000

Çalışma kapsamında her bir kriter için uygun veri kaynakları belirlenmiş ve kullanılmıştır. İlgili veri kaynakları ve tipleri tablo 1’de detaylı olarak gösterilmektedir. Bu veriler öncelikle uygun veri tipine dönüştürülmüş ve çalışma alanı sınırlarına göre kırma işlemi yapılarak kullanılmıştır.

3.2. Best-Worst Metot

BWM Rezaei (2015) tarafından önerilen bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇÇKV) yöntemidir. BWM temelde ikili karşılaştırmaya dayalı bir ağırlıklandırma aracıdır. Tüm kriterleri tek tek birbirleriyle karşılaştırmadan ziyade ikili karşılaştırmaya ihtiyaç duyar ($2n-3$, burada n kriter sayısını ifade etmektedir). Yöntemde öncelikle “en iyi” ve “en kötü” kriterleri belirlenir. Daha sonra bunları mantıklı bir şekilde diğer kriterlerle ikili olarak karşılaştırılır. Karşılaştırmalar için 1-9 arası bir ölçek kullanılır. İki kriter aynı önem sahipse “1” kullanılır. İki kriter arasında çok önemli bir fark varsa “9” değeri kullanılır. “En iyiden-diğerlerine” ve “diğerlerinden-en kötüye” olmak üzere iki özel vektör tutarlılık kontrolü yapmaktadır (Rezaei, vd., 2016; Rezaei, 2020). BMW yöntemi coğrafyanın yanı sıra mühendislik, afet yönetimi, enerji gibi birçok alanda aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Ali, vd., 2019; Gül, vd., 2020; Tercan, 2021). Uygulama adımları şu şekildedir:

- Adım:** Değerlendirilecek kriterler belirlenir. Karar vermede kullanılacak kriterler ($c_1, c_2 \dots c_n$) ile gösterilir.
- Adım:** Belirlenen kriterler arasından en iyi (en önemli, en çok istenen) ve en kötü (en az önemli, en az istenen) kriterler belirlenir. Bu aşamada ikili karşılaştırma yapılmaz.
- Adım:** 1-9 arasındaki sayıların kullanılması, en iyi kriterin diğer kriterlerden ne kadar farklı olduğunu belirler. En iyi ile diğerleri (Best to other) için vektör şu şekilde oluşturulur: $A_B = (\alpha_{B1}, \alpha_{B2}, \dots, \alpha_{Bn})$ burada α_{Bj} kriterine göre en iyi kriter B’nin tercihini gösterir. Kriterlerin kendileriyle karşılaştırılması ise ($\alpha_{BB} = 1$) bu şekilde formüle edilir.
- 1-9 arasındaki sayıların kullanılması, en kötü kriterin diğer kriterlerden ne kadar farklı olduğunu belirler. Diğer-En Kötü vektörü şu şekilde oluşturulur: $A_W = (\alpha_{1W}, \alpha_{2W}, \dots, \alpha_{nW})$ burada α_{jW} kriterinin en kötü kriterine göre tercihini gösterir.
- Ağırlığın belirlenmesi şu formülle yapılır; $w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ Gerekli dönüşüm yapıldığında, problem şu şekilde oluşturulur: $\min \xi$

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi \text{ tümü için } j$$

$$\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \xi \text{ tümü için } j$$

$$\sum w_j = 1, w_j \geq 0, \text{ tümü için } j$$

Problem çözmeye optimum ağırlıklar ve formülleriyle hesaplanır. Bulunan optimum ağırlık değerleri çalışma çıktısında kullanılmak üzere ArcGIS’e aktarılır. Burada çakıştırma analizlerinden biri olan “Weight Sum” analizinin uygulama aşamasında her bir kriter ayrı ayrı girilerek sonuç haritası oluşturulur.

3.3. Kriterlerin Seçimi

Belirli bir alanda enerji üretilmesi için uygun yerlerin seçilmesi oldukça önemli bir konudur. Herhangi bir yerde ister güneş enerji panelleri, dalga enerji istasyonları olsun, ister rüzgâr enerji gülleri olsun kurulacağı yerin doğru seçilmesi önemlidir. Nitekim enerji istasyonlarının uygun alanlara kurulması verimliliği, uzun süre enerji sağlanabilirliği, güvenliği, ulaşılabilirliği gibi faktörleri direkt olarak etkilemektedir. Bu nedenle literatürde yer seçimi konusu özelinde birçok çalışma yapılmıştır (Gorsevski, vd., 2013; Noorollahi, vd., 2016; Baseer, vd., 2017; Messaoudi, vd., 2019; Tercan, vd., 2021; Xu, vd., 2020; Shorabeh vd., 2022; Langer, vd., 2022; Effat ve El-Zeiny, 2022). Bu çalışmaların temel amacı kurulacak rüzgâr enerji santrali için uygun yerlerin bulunmasıdır. Çalışmalarda uygun yerlerin tespiti için çeşitli kriterler (rüzgâr hızı, yükselti, eğim, vb.) kullanılmıştır. Bu çalışmada da Tunceli ilinin rüzgâr enerji santrali için uygun yerlerin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda hem literatür kaynaklarına hem de çalışma alanı özelliklerine göre 4 ana kriter içerisinde toplam 16 kriter belirlenmiştir. Bunlar topografya ana kriter içerisinde; yükselti, eğim, arazi kullanımı, bitki örtüsü ve litoloji, sosyo-ekonomik ve çevre koşulları ana kriter içerisinde; doğa koruma alanları, maliyet ve kuş göç rotaları, teknik ana kriter; rüzgâr hızı, kapasite faktör dağılımı ve rüzgâr güç yoğunluğu ve son olarak lokasyon ana kriteri içerisinde; elektrik hatlarına uzaklık, yola uzaklık, kentsel alanlara uzaklık, faylara uzaklık ve akarsu-göllere uzaklıktır (**Tablo 2**).

Yükselti (A1): Yükselti, RES kurulumlarında önemli bir kriterdir. Yükselti kriteri birçok çalışmada kullanılmış olup çok

Tablo 2: Çalışmada Kullanılan Kriterler.

Table 2: Criteria Used in The Study.

Topografya	Sosyo-Ekonomik Koşullar	Teknik	Lokasyon
Yükselti	Nüfus Yoğunluğu	Rüzgâr Hızı	Elektrik Hatlarına Uzaklık
Eğim	Maliyet	Kapasite Faktör Dağılımı	Yola Uzaklık
Arazi Kullanımı	Kuş Göç Rotaları	Rüzgâr Güç Yoğunluğu	Yerleşim Alanlarına Uzaklık
Bitki Örtüsü			Faylara Uzaklık
Litoloji			Akarsu-Göllere Uzaklık

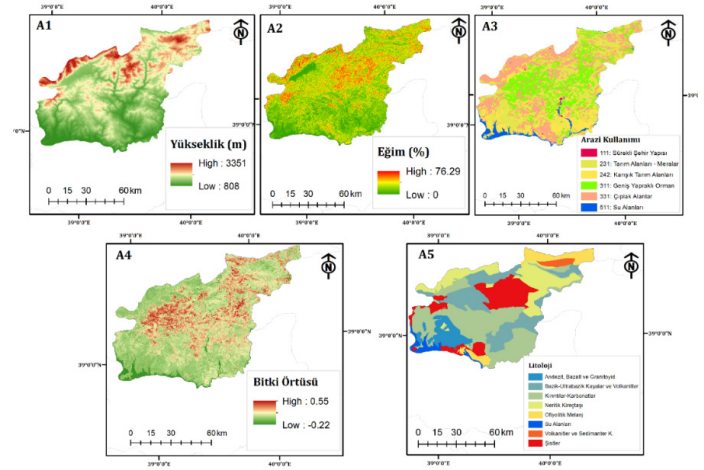
yüksek rakımlı araziler RES kurulumları için önerilmemiştir (Uyan, 2013; Noorollahi, vd., 2016; Ali, vd., 2019; Shorabeh, vd., 2022). Diğer taraftan yüksek rakımlı araziler rüzgârı engelleyici yüzey şekillerinin daha az olması, daha az rüzgâr türbülansına neden olduğu gibi rüzgâr hızlarının da tutarlı olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle yüksek rakımlı araziler RES kurulumu için uygun alanlar olarak gösterilmektedir (Baban ve Parry, 2001; Effat ve El-Zeiny, 2022). Ancak yüksek rakımlı arazilerde ulaşılabilirlik, yüksek inşaat maliyetleri, enerji transferi ve ekipman nakliyesi gibi sebepler santral kurulumunu etkilemektedir. Yapılan bazı çalışmalarda RES kurulumu için 2000 m ve üzeri yüksekliğe sahip alanlar sınır değer olarak kabul edilmiştir (Bennui, vd., 2007; Uyan, 2013; Noorollahi, vd., 2016). Çalışma alanı yüksek bir topografyaya sahiptir. Dolayısıyla çalışma alanı özelinde kurulacak rüzgâr enerji santralleri için 2000 m yükseklikler sınır değeri olarak kabul edilmiştir (Şekil 4). Ancak bu sınır değerler sonuç haritasında bütünlük bozulmaması adına ayrılmayarak gösterilmiştir. Nitekim sonuç haritasında da söz konusu alanlar genellikle uygun olmayan alanlara denk gelmektedir.

Eğim (A2): Arazinin çok fazla eğimli olması rüzgâr enerji santral kurulumlarında istenmeyen bir durumdur. RES kurumunda yüksek eğim derecesine sahip alanlar yüksek altyapı maliyetlerine neden olacağından ekonomik değildir. Literatürde bazı çalışmalar %3'lük eğim değerini sınır değer olarak kabul ederken (Uyan, 2013), uygunluk için maksimum eşik değerinin %10 (Baban ve Parry, 2011) ile %30 (Tegou, vd., 2010) arasında olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte bazı rüzgâr türbinleri %30'dan daha yüksek olan eğimli arazilere de kurulmuştur (Tegou, vd., 2010). Dolayısıyla RES kurulumlarında eğim dereceleri çalışma alanı özelliklerine göre değişebilmektedir. Bu çalışmada çalışma alanındaki yüksek eğim dereceleri dikkate alınarak, %0-10'dan, %30'a kadar olan araziler uygun olarak kabul edilmiş ve bu doğrultuda ağırlık değerleri verilmiştir (Şekil 4).

Arazi Kullanımı ve Bitki Örtüsü (A3-4): Arazi kullanımı enerji yatırımları için en kritik faktörlerde biri olduğu için mevcut arazinin kullanımına dikkat edilmelidir (Jangid, vd., 2016). Literatürdeki çalışmalara göre hem güneş hem de rüzgâr santralleri için en uygun alanların çorak ve boş araziler olduğu belirtilmektedir (Uyan, 2013; Jangid, vd., 2016; Ali, vd., 2019). Ek olarak bitki örtüsünün olduğu alanlarda uygun alanlar olarak değerlendirilebilmektedir. Ancak uzun boylu bitkiler türbülans yoğunluğunu hızlandırabileceği ve rüzgâr hızını yavaşlatarak döner ekipmana zarar verebileceğinden dolayı daha uzun bitki örtüsü yerine kısa bitki örtüsünün olduğu alanlar tercih

edilmelidir (Gorsevski, vd., 2013; Ali, vd., 2019). Dolayısıyla rüzgâr enerji santralleri için boş, çorak ve kısa bitkilerin olduğu alanlar uygun alanlardır (Şekil 4).

Litoloji (A5): Yer yapısı RES kurulumlarında etkili olan bir faktördür. Zeminde bulunan kayaların dayanıklı olması doğal (özellikle deprem) ve beşerî nedenlerden kaynaklanabilecek veya türbinlerin neden olduğu sarsıntılarının daha az oranda hissedilmesine etki ederek, ortaya çıkacak problemleri engelleyecektir (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Dolayısıyla yer yapısının sağlam olduğu alanlar uygun alanlardır. Bu nedenle çalışma alanının jeoloji haritası oluşturulmuş ve bu bilgilere göre derecelendirme yapılarak ağırlık değerleri verilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: RES Yeri Seçimi için Topografya Kriterleri: Yükselti (A1), Eğim (A2), Arazi Kullanımı (A3), Bitki Örtüsü (A4) ve Litoloji (A5)

Figure 4: Topography Criteria for Wind Power Plant Site Selection: Elevation (A1), Slope (A2), Land Use (A3), NDVI (A4) and Lithology (A5)

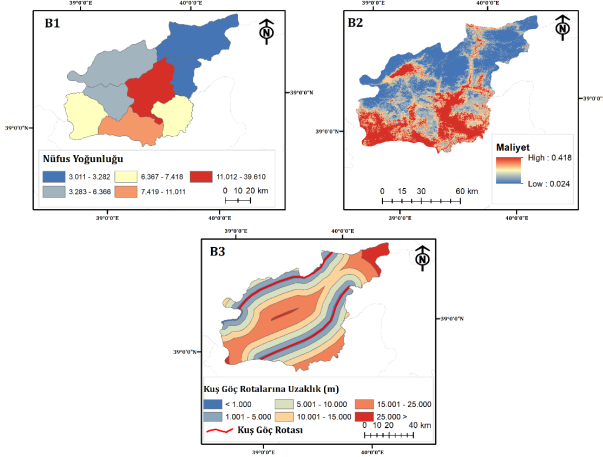
Sosyo-ekonomik ana kriterler (nüfus yoğunluğu, maliyet ve kuş göç rotaları) çalışma alanındaki durumlarına ve literatüre göre ayrıntılı olarak açıklanmaktadır:

Nüfus Yoğunluğu (B1): Nüfus yoğunluğu rüzgâr enerji santrallerinden üretilen enerjinin tüketilmesi adına önemli bir kriterdir. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu alanlar nüfusu az alanlara göre daha fazla enerji tüketirler. Yoğun nüfuslu alanların yakınında bulunan rüzgâr enerji santrallerinden üretilen enerjinin transferi durumunda daha az iletim hattı kullanılarak enerji transfer maliyeti azaltılmış olacaktır. Bu nedenle rüzgâr enerji santralleri, enerji transferinin kolay olması ve daha ekonomik olması nedeniyle nüfusun yoğun olduğu bölgelere kurulmalıdır (Gorsevski, vd., 2013). Çalışma alanı için TÜİK'ten alınan 2022 nüfus verileri baz alınarak, ArcGIS yazılım araçlarından "Kernel Density" aracı kullanılmış ve nüfus yoğunluğu haritası oluşturulmuştur. Bu uygunluk haritasında nüfusun yoğun olduğu

alanlar daha uygun alanlar olarak belirlenmiş ve buna göre ağırlık değerleri girilmiştir (**Şekil 5**).

Maliyet (B2): RES kurmak isteyen yatırımcılar kâr elde edebilmek için en yüksek ekonomik getiriye hedeflemektedir. RES kurulum maliyeti hem kurulum öncesi hem de kurulum sonrası dönemlerde mevcuttur. Kurulum öncesinde arazi, uygun yer seçimi, rüzgâr panel maliyetleri gibi maliyetler öne çıkarken, kurulum sonrasında verimlilik, işletme ve bakım maliyetleri öne çıkmaktadır (Haaren ve Fthenaki, 2011). Aslında enerji santral kurulumlarındaki bu tür maliyetler temelde yola ve elektrik hatlarına uzaklık, yükseklik, eğim, arazi kullanımı gibi bazı faktörlere bağlıdır. Dolayısıyla bu tür kriterler baz alınarak bir maliyet hesabı yapılabilir. Çalışma kapsamında maliyete etki eden kriterlere (yola ve elektrik hatlarına uzaklık, yükseklik, eğim, arazi kullanımı) ArcGIS yazılım araçları içerisindeki “Weight Sum” aracı kullanılarak bir çakıştırma (overlay) analizi uygulanmış ve maliyet için uygun alanlar tespit edilmiştir (**Şekil 5**).

Kuş Göç Rotaları (B3): Göçmen kuşların kullandığı belirli kuş rotaları bulunmaktadır. Araştırmacılara göre göçmen kuşlar esas olarak türbin motoruyla çarpışmalarından dolayı bazı küçük etkileri olduğunu belirtmektedir (Aydın, vd., 2010; Baseer, vd., 2017; Haaren ve Fthenaki, 2011). Çalışma alanının kuzeyi ve güneyinden geçen iki kuş göç rotası bulunmaktadır (Kızıroğlu ve Erdoğan, 2015). Çalışma kapsamında belirlenen kuş göç rotaları baz alınarak bir tampon (Buffer) analizi uygulanmış ve bu rotalara olan uzaklıklar hesaplanmıştır (**Şekil 5**).



Şekil 5: RES Yeri Seçimi için Sosyo-Ekonomik Kriterler: Nüfus Yoğunluğu (B1), Maliyet (B2) ve Kuş Göç Rotalarına Uzaklık (B3)

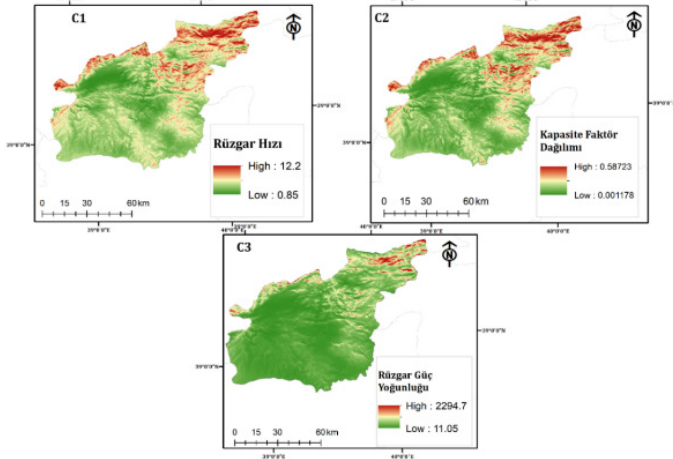
Figure 5: Socio-Economic Criteria for Wind Power Plant Site Selection: Population Density (B1), Cost (B2) and Distance to Bird Migration Routes (B3)

Teknik ana kriterleri (rüzgâr hızı, kapasite faktör dağılımı ve rüzgâr güç yoğunluğu) çalışma alanındaki durumlarına ve literatüre göre ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Söz konusu teknik kriterler içerisinde rüzgâr hâkim yönü gibi veriler veri temin güçlüğünden değerlendirilmeye alınmamıştır. Dolayısıyla değerlendirilecek çıktı haritası çalışmada kullanılan kriterler üzerinden hesaplanmıştır.

Rüzgâr Hızı (C1): Rüzgâr hızı RES’ler için en temel kaynaklardan biridir. Ortalama rüzgâr hızı, rüzgâr çiftliği kurulum sahalarının ekonomik fizibilite ve teknik uygulanabilirliğinin belirlenmesi için oldukça önemli bir kriterdir. Rüzgâr hızı arttıkça rüzgâr panellerinden üretilen enerji miktarı da doğru orantıda artmaktadır (Jangid, vd., 2016; Höfer, vd., 2016). Literatüre göre uygun rüzgâr hız değerleri hızı çoğu çalışmada farklılık göstermektedir. Örneğin, Gorsevski ve ark. (2013) uygun rüzgâr hızının 7,5 m/s, Ali ve diğerleri (2019) minimum 4 m/s, Shorabeh ve ark. (2022) büyük rüzgâr çiftlikleri için 5 m/s ve küçük rüzgâr çiftlikleri için 4 m/s, Saraswat ve diğerleri. (2021) 5-6 m/s rüzgâr hızlarının uygun olduğunu belirtmiştir. Söz konusu verilen bu rüzgâr hız değerleri bir rüzgâr santralinin ihtiyaç duyduğu en düşük rüzgâr hızlarını göstermektedir. Çalışma alanındaki rüzgâr hızları ortalama 3 ile 6 m/s arasında değişmektedir (**Şekil 6**). Bu çalışmada 100 m’deki rüzgâr hızı kullanılmış ve minimum rüzgâr hızı 4 ile 6 m/s olan alanlar uygun alanlar olarak belirlenmiştir.

Kapasite Faktör Dağılımı (C2): Rüzgâr her zaman sabit bir şekilde esmediği için rüzgâr kapasite faktör değerinin hesaplanması gereklidir. Nedaei, vd., (2014) yapmış olduğu çalışmaya göre RES’ler için ortalama kapasite faktör değeri %25-40’tır. Global Wind Atlas’tan alınan verilere göre çalışma alanı ve çevresinin kapasite faktöre dağılımı %1 ile %45 arasında değişmektedir. Çalışma alanının büyük bir bölümünde kapasite faktör dağılımı değerleri düşük seviyelerdedir. Bölgenin sadece doğu ve kuzey doğusundaki bazı bölgelerde kapasite faktör dağılımı yüksektir (**Şekil 6**).

Rüzgâr Güç Yoğunluğu (C3): Rüzgâr güç yoğunluğu rüzgâr hız dağılımına göre belirlenmektedir. RES kurulumlarında önemli bir kriterdir. RES için rüzgâr güç yoğunluğunun belirlenmesi gerek ekonomik yönden gerekse sürdürülebilir bir şekilde enerji üretme adına gereklidir (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Çalışma alanı rüzgâr güç yoğunluğu 200 m’de yaklaşık %0 55 – 600 arasında değişmektedir. Bölgenin büyük bir kısmı düşük rüzgâr yoğunluğuna sahiptir. Çalışma alanında rüzgâr güç yoğunluğunun yüksek olduğu alanlar kısmen doğu ile kuzey doğu bölgesidir. Söz konusu alanda rüzgâr güç yoğunluğu 200 m’de yaklaşık %0 800’lere kadar çıkmaktadır (**Şekil 6**).



Şekil 6: RES Yeri Seçimi için Teknik Kriterler: Rüzgâr Hızı (C1), Kapasite Faktör Dağılımı (C2) ve Rüzgâr Güç Yoğunluğu (C3)

Figure 6: Technical Criteria for Wind Power Plant Location Selection: Wind Speed (C1), Capacity Factor Distribution (C2) and Wind Power Density (C3)

Lokasyon ana kriterleri (elektrik hatlarına uzaklık, yola uzaklık, kentsel alanlara uzaklık, fay hatlarına uzaklık ve akarsu-göllere uzaklık) çalışma alanındaki durumlarına ve literatüre göre ayrıntılı olarak açıklanmaktadır:

Elektrik Hatlarına Uzaklık (D1): RES'ler aracılığıyla üretilen enerjini dağıtımı için mevcut elektrik hatları oldukça önemlidir. Ayrıca altyapı maliyeti, güç kaybının azaltılması ve transfer verimliliğini arttırmak için RES alanlarının elektrik hatlarına yakın olması gereklidir (Baseer, vd., 2017; Xu, vd., 2020; Tercan, 2021). Bu çalışma kapsamında çalışma alanının mevcut elektrik hatları oluşturulmuş ve her bir elektrik hattı için yakınlık analiz uygulanmıştır. Yakınlık analizi 5 sınıf (1000, 5000, 15000, 25000, 25000m+) olacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 7).

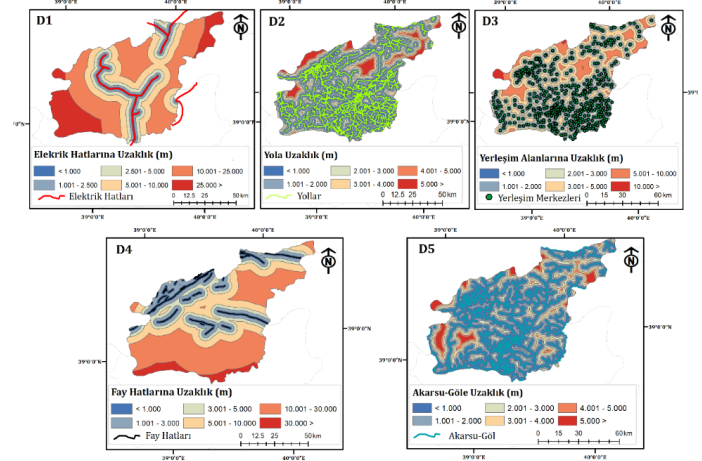
Yola Uzaklık (D2): Rüzgâr santrallerinin inşaat ve bakım maliyetlerini en aza indirmek için önerilen rüzgâr santrali yeri ile yol ağı arasındaki mesafenin mümkün olduğunca kısa olması gerekmektedir (Tegou, vd., 2010; Baseer, vd., 2017; Shorabeh, vd., 2022). Bu çalışmada yol verileri hazırlanmış ve yakınlık analizi uygulanmıştır. Yakınlık analizi 5 sınıf (1000, 5000, 15000, 25000, 25000m+) olacak şekilde oluşturulmuştur. Buna göre yol ağının daha sık olduğu alanlar uygun alanlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 7).

Yerleşim Alanlarına Uzaklık (D3): RES'lerden üretilen elektrik enerjisi şehirlerde, sanayi alanlarında, büyük veya küçük çaplı işletmeler olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Dolayısıyla RES'lerin yerleşim alanlarına yakın olması hem ekonomik hem de enerji verimliliği açısından önemlidir. Ayrıca RES'lerin yerleşim alanlarına yakın olması yaşanabilecek

herhangi bir sorunda sorunun giderilmesi için tedarik imkânı daha kolay olmaktadır. Diğer taraftan literatürde RES'lerin oluşturduğu gürültü ve görüntü kirliliği de önemli olarak vurgulanmaktadır. Dolayısıyla RES alanları yerleşim birimlerine makul bir yakınlıkta olması gereklidir (Siyal, vd., 2015; Höfer, vd., 2016; Baseer, vd., 2017; Anwarzaia ve Nagasakab, 2017). Çalışma kapsamında yerleşme alanları tespit edilmiştir. RES kurulumu için yerleşilmiş alanlar hariç tutulmuştur. Yerleşim alanına uygun yakınlık analizi (Buffer) uygulanmıştır. Yakınlık analizi 5 sınıf (1000, 5000, 15000, 25000, 25000m+) olacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 7).

Fay Hatlarına Uzaklık (D4): Depremler RES'lere zarar verebileceğinden dolayı yer seçiminde dikkat edilmesi gereken bir konudur. Dolayısıyla bölgeye kurulacak bir RES için fay hatlarının yerlerinin bilinmesi ve buna göre kurulması gereklidir. Çalışma kapsamında MTA'dan temin edilen fay hatları için yakınlık (Buffer) analizi uygulanmıştır. Yakınlık analizi 5 sınıf (1000, 5000, 15000, 25000, 25000m+) olacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 7).

Akarsu-Göllere Uzaklık (D5): Akarsuya yakın alanlar pürüzlülük etkisinin yüksek olduğu alanlar olması nedeniyle RES kurulumu için uygun değildir (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Çalışma kapsamında akarsu ve göl alanları belirlenmiş ve yakınlık (Buffer) analizi uygulanmıştır. Yakınlık analizi 5 sınıf (1000, 5000, 15000, 25000, 25000m+) olacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 7).



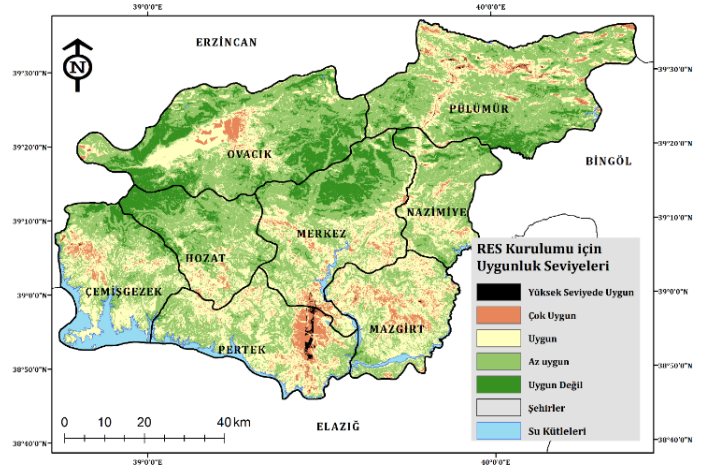
Şekil 7: RES Yeri Seçimi için Lokasyon Kriterleri: Elektrik Hatlarına Uzaklık (D1), Yola Uzaklık (D2), Yerleşim Alanlarına Uzaklık (D3), Fay Hatlarına Uzaklık (D4) ve Akarsu-Göle Uzaklık (D5)

Figure 7: Location Criteria for Wind Power Plant Location Selection: Distance to Power Lines (D1), Distance to Road (D2), Distance to Residential Areas (D3), Distance to Fault Lines (D4) and Distance to Stream-Lake (D5)

4. BULGULAR

4.1. BWM ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında her bir kriterin ağırlık değerlerinin hesaplanabilmesi için BWM yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak yazarlar tarafından belirlenen anketler uzman ekip tarafından doldurulmuştur. Devamında anketler LINGO 19.0 yazılımına işlenmiş ve BWM yönteminin önermiş olduğu formüle göre her bir kriterin ağırlık değeri hesaplanmıştır (Tablo 3). Ağırlıkların tutarlılık oranları (CR) Rezai (2015) tarafından önerilen yöntemle göre yapılmıştır. Uygulanan yöntemle göre tutarlılık oranların “0” değerine yaklaştıkça tutarlılıkları artmaktadır. Buna göre hesaplanan tutarlılık oranlarında tutarsız sonuçlanan anketlerin uzmanlar tarafından tekrar değerlendirilmesi istenmiş ve düzenlenen anketlerde tutarlılık sağlanmıştır.



Şekil 8: Tunceli RES Kurulumu İçin Nihai Uygunluk Haritası
Figure 8: Final Suitability Map for Tunceli WPP Installation

Tablo 3: BWM Kullanılarak Hesaplanan Global Ağırlıklar.
Table 3: Global Weights Calculated Using BWM.

Kod	Kriter	Global Ağırlık	Kod	Kriter	Global Ağırlık
A1	Yükselti	0.09580129	C1	Rüzgâr Hızı	0.15103401
A2	Eğim	0.10938737	C2	Kapasite Faktör Dağılımı	0.08554323
A3	Arazi Kullanımı	0.04286227	C3	Rüzgâr Güç Yoğunluğu	0.09940695
A4	Bitki Örtüsü	0.01956718	D1	Elektrik Hatlarına Uzaklık	0.10502373
A5	Litoloji	0.04426656	D2	Yola Uzaklık	0.05134499
B1	Nüfus Yoğunluğu	0.02660771	D3	Yerleşim Alanlarına Uzaklık	0.04232569
B2	Maliyet	0.05692227	D4	Faylara Uzaklık	0.0391251
B3	Kuş Göç Rotaları	0.01533375	D5	Akarsu-Göllere Uzaklık	0.01544797

4.2. RES Kurulumu için Uygunluk Haritasının Üretilmesi

Çalışma kapsamında üretilen her bir kriter haritası, anket aracılığıyla tespit edilen ve BWM yöntemiyle hesaplanan ağırlık değerleri bir araya getirilmiş ve ArcGIS yazılım araçlarından olan “Weight Sum” aracı kullanılarak sonuç haritası üretilmiştir. RES kurulumu için hazırlanan uygunluk haritası “yüksek derecede uygun”, “çok uygun”, “uygun”, “az uygun” ve “uygun değil” olacak şekilde beş sınıfta incelenmiştir. Uygunluk haritasında özellikle “yüksek seviyede uygun” alanların net olarak gösterilmesi için söz konusu uygun alanlar oldukça daraltılmıştır. Bu sayede çalışma alanında RES kurulumu için en uygun alanlar direkt olarak gösterilmiştir (Şekil 8). Analiz sonuçlarına göre uygun alanların toplam alana oranı çok düşük seviyelerdedir. Özellikle “yüksek seviyede uygun” alanlar yaklaşık 260 km²’lik bir alan ile çok azdır (Tablo 4).

Analiz sonuçlarına göre RES kurulumu için uygun alanlar çoğunlukla güney, güneydoğu ve kuzeydoğu bölgeleridir. Söz konusu alanlar kuzeyde Pülümür, güneyde Pertek ve Mazgirt çevresidir. Tablo 4’te görüldüğü üzere “Yüksek Seviyede Uygun”, Çok Uygun”

Tablo 4: RES Sınıfları ve Mekânsal Dağılımı.
Table 4: WPP Classes and Spatial Distribution.

Uygunluk Sınıfları	Uygunluk Değerleri	Alan	
		%	km ²
Yüksek Seviyede Uygun	< 0.19	0.34	259
Çok Uygun	0.19-0.21	5.3	4.020
Uygun	0.21-0.24	32.4	24.554
Az Uygun	0.24-0.25	52.8	40.036
Uygun Değil	0.25>	9.02	6.834
Toplam		100	75.703

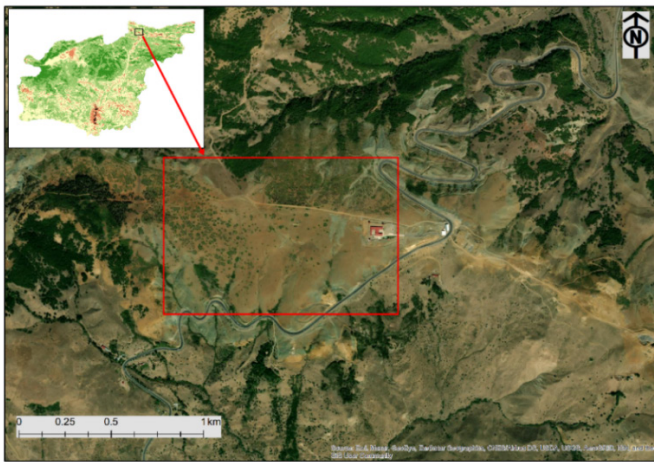
ve “Uygun” alanlar toplam alandaki oranı %38 seviyelerinde olup yaklaşık 350 km²’lik bir alana denk gelmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde çalışma alanının 3’te 1’inden fazla bir alan RES kurulumu için uygun alanları oluşturmaktadır (Tablo 4).

Tablo 5’te ilçeleri göre uygun RES alanlarının mekânsal dağılımı gösterilmektedir. Buna göre uygun RES kurulumu için Pertek ilçesinin ön plana çıktığı görülmektedir. Devamında ise sırayla Mazgirt, Merkez ve Pülümür ilçesi gelmektedir. En fazla “Uygun Değil” ve “Az Uygun” alana sahip ilçe ise yaklaşık %75’lik bir oranla Çemişgezek ilçesidir. Söz konusu ilçe RES kurulumu için uygun değildir (Tablo 5).

Tablo 5: İlçelere göre RES Sınıfları ve Mekânsal Dağılımı**Table 5:** WPP Classes and Spatial Distribution by Districts

Uygunluk Sınıfları-Değerleri	Merkez		Ovacık		Pertek		Pülümür		Hozat		Ç.Gezek		Mazgirt		Nazimiye	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Yüksek Seviyede Uygun (<0.19)	1.82	0.15	0.44	0.03	14	1.67	7.2	0.5	0	0	0.74	0.08	0.89	0.12	0.13	0.01
Çok Uygun (0.19-0.21)	60	5.29	44	3.19	90	10.69	66	4.67	15	2.32	31	3.65	71	10	15	2.82
Uygun (0.21-0.24)	358	31.83	273	19.55	411	48.73	347	24.3	150	22.7	355	41.71	390	55	159	29.1
Az Uygun (0.24-0.25)	568	50.43	807	57.73	332	39.14	904	63.3	391	59	428	50.28	238	34	345	63.1
Uygun Değil (0.25>)	138	12.27	272	19.48	1.6	0.19	101	7.10	105	15.8	36	4.24	0.86	0.12	26	4.85
Toplam	1127	100	1398	100	850	100	1427	100	662	100	852	100	702	100	547	100

Analiz çıktılarına göre fiziki coğrafya şartlarının çok fazla uygun olmadığı, yükseltinin ve engebeli alanların fazla olduğu Pülümür çevresi ve kuzeyi RES kurulumu için uygun alanlar olarak tespit edilmiştir. Bölgede her ne kadar yüksek ve engebeli alanlar fazla olsa da rüzgâr hızının, kapasite faktör dağılımının ve rüzgâr güç yoğunluğunun yüksek olduğu bir yerdir. Çalışma kapsamında uygulanan anket sonuçlarında da en önemli kriter rüzgâr hızı kriteri olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu bölgenin RES kurulumu için uygun alanlar olarak görülmesindeki en büyük etken rüzgâr hızı ve rüzgâr hızının etkilediği kriterlerin yüksek ağırlık değerine sahip olmasındadır. Diğer taraftan bu bölgede “yüksek seviyede uygun” olarak tespit edilen alanlar kısmen diğer alanlara göre daha az engebeli, ulaşım yollarına hâkim, yerleşim yerlerine yakınlık gibi avantajlara sahiptir. Şekil 9’da Pülümür’ün kuzeyindeki “yüksek seviyede uygun” alan olarak belirlenen bir alan örnek olarak gösterilmektedir. Görüldüğü üzere bu alan söz konusu avantajlara sahiptir.



Şekil 9: Pülümür’ün Kuzeyinde RES Kurulumu için “Yüksek Seviyede Uygun” Alan

Figure 9: “Highly Suitable” Area for WPP Installation in The North of Pülümür.

Çalışma çıktılarına göre Tunceli ilinde RES kurulumu için en uygun alanlar Pertek ve Mazgirt ilçesi çevresidir. Özellikle Pertek ilçesinin doğu kesimi “yüksek seviyede uygun” olarak

sınıflandırılan alan içinde en büyük paya sahiptir. Hatta diğer bölgelerdeki “yüksek seviyede uygun” alanlar göz ardı edilirse -ki bu alan diğer bölgelerde çok azdır- sadece Pertek’in doğu kesimi RES kurulumu için en uygun alandır. Çalışma kapsamında bu alana araştırmacılar tarafından arazi çalışması yapılmış ve analiz sonuçları ile gerçek alanın kıyaslaması yapılmıştır. Gerçekten de arazi çalışmasının yapıldığı Pertek ilçesi, Beydamı Köyü civarı RES kurulumu için uygun alan olarak değerlendirilebilir. Söz konusu alanda yüksek gerilim elektrik hattının varlığı, ana yola yakınlığı, yerleşmenin bulunması, yükseltinin nispeten az ve eğimin ideal seviyelerde olması gibi etkenler RES kurulumu için uygun şartları oluşturmaktadır (**Şekil 10**).

Analiz çıktılarına göre RES kurulumu için en uygun alan olarak görülen Beydamı, Tozkoparan ve Yeniköy civarında tarım arazilerinin yanı sıra birçok boş alan mevcuttur. RES kurulumlarında uygun boş alanlar oldukça önemlidir. Özellikle etrafına göre kısmen yüksek ve az eğimli, düz alanlar RES yer seçimi için ideal alanları oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında yapılan arazi çalışma gözlemlerinde Beydamı Köyü çevresinde



Şekil 10: Pertek İlçesine Yapılan Arazi Çalışmasından Görünüm
Figure 10: View from The Field Study in Pertek District

nispeten yüksek, az eğimli ve kısmen mesa görünümlü yükseklikler dikkat çekmiştir (**Şekil 11**). Bu alanlar RES kurulumları için değerlendirilerek köyün enerji tüketimine katkı yapması sağlanabilir. Ayrıca bölgede hâkim geçim kaynağı olan hayvancılık için süt işleme merkezleri gibi hayvansal üretimi destekler işletmelerin kurulması halinde bu işletmelerin enerji ihtiyaçlarının bir kısmı RES'ler aracılığıyla sağlanabilir.



Şekil 11: Beydamı Köyü ve Çevresinde RES Yapılabilecek Alanlar
Figure 11: Areas Where WPP Can Be Made in and Around Beydamı Village

Çalışma sonuçlarına göre yükseltisi fazla olan, çok eğimli, çok yoğun ormanlıklar, ana yollara ve elektrik hatlarına uzak olan yerler “az uygun” ve “uygun olmayan” alanlara denk gelmektedir. Bu alanlar çoğunlukla Munzur ve Mercan sıradağları çevresi, Munzur ve Pülümür vadisi çevresi, Hozat ve Çemişgezek’in kuzeyinde yer alan yüksek alanlardır. Söz konusu alanlar yerleşmenin de çok kısıtlı olduğu, zorlu fiziki ve iklim şartların yaşandığı alanlardır. Dolayısıyla bu alanlar sadece RES kurulumu için değil, çeşitli beşerî faaliyetler içinde uygun değildir.

5. SONUÇ

Dünyada her geçen yıl artan enerji talebi, ülkeleri bu talebi fosil yakıtlara ek yenilenebilir kaynaklardan karşılamaya itmektedir. Sürdürülebilirlik ve çevresel etki faktörleri baz alındığında yenilenebilir enerji kaynakları son derece önemlidir. Rüzgâr enerjisi de hem dünyada hem de ülkemizde kapasitesi son derece artan yenilenebilir enerji kaynaklarından.

Bu çalışmada BWM-CBS entegre bir şekilde kullanılarak Tunceli için en uygun RES alanı belirlenmiştir. Bu kapsamda literatüre ve çalışma alanı özelliklerine göre toplam 16 kriter

belirlenmiş ve bu kriterler uzmanlar tarafından değerlendirilerek çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada yöntem olarak Best-Worst metodu kullanılmıştır. BWM ikili karşılaştırmaya dayanan bir ÇÇKV yöntemidir. BWM çıktıları CBS’ye aktarılmış olup ArcGIS araçlarından “Weight Sum” aracı kullanılarak karşılaştırma analizi uygulanmış ve RES kurulumu için uygun alanlar belirlenmiştir.

Tunceli için çalışma kapsamında önerilen uygun RES alanları toplam alanın yaklaşık %38’ine denk gelmektedir. Bu alanlar kısmen Pülümür’ün kuzey çevresi ile Pertek ve Mazgirt çevresidir. Özellikle Tunceli’nin güneyinde yer alan Pertek ve Mazgirt çevresi RES kurulumu için gerek oran gerekse alan bakımında önde gelmektedir. Bu alanlarda gerek yükseltinin kısmen az olması, rüzgâr ile ilgili faktörlerin etkinliği ile lokasyon açısından da ulaşılabilir olması RES kurulumundan ön plana çıkmasında etkili olmuştur.

Çalışma çıktılarına göre “az uygun” ve “uygun değil” alanlar ise yaklaşık %62 seviyelerindedir. Bunun temel sebebi Tunceli ilindeki rüzgâr hızı ve bölgenin zorlu fiziki coğrafya şartlarıdır. Özellikle çalışma alanının kuzey bölgesinde yer alan Munzur ve Mercan dağlarında yükseklik 3000 m’leri bulmakta olup çok yüksek eğim değerlerine sahiptir. Aynı şekilde çalışma alanının çoğu bölgesinde yükselti ve eğim değerleri oldukça fazladır. Ek olarak çalışma alanının belirli bölgeleri hariç (Pülümür’ün kısmen kuzeyi ile Pertek ve Mazgirt çevresi) genellikle rüzgâr hızları düşüktür. Dolayısıyla bu şartlarında etkisiyle RES kurulumunda uygun alanlar sınırlı bir alana denk gelmiştir.

Çalışma çıktılarına göre RES kurulumu için en uygun bazı alanlara arazi çalışması yapılmıştır. Arazi çalışması analiz sonuçları ile gerçek alanın karşılaştırılması adına oldukça önemlidir. Söz konusu arazi çalışmasında Beydamı Köyü ve çevresinde RES kurulumu için uygun olabilecek alanlar fotoğraflanmış ve eklenmiştir. Nitekim bu bölge gerek yükselti, eğim ve rüzgâr hızı ile ilgili parametreleri doğrultusunda uygunluğu gerekse ana yola, elektrik hatlarına ve bir yerleşim alanına yakınlığı ile uygun olması RES kurulumu için uygun alan olarak ön plan çıkmıştır.

Bu çalışmada BWM-CBS’yi entegre ederek kullanmasına rağmen belirli sınırlılıkları vardır. Çalışma kapsamında sadece 4 ana kriter içerisinde toplam 16 kriter kullanılmıştır. Çalışmadaki çıktı bu kriterler doğrultusundadır. Ayrıca rüzgâr türbin tipi ve şekli gibi teknik detaylar dikkate alınmamış olup genel olarak değerlendirilmiştir. Bu da çalışmanın diğer bir sınırlılığıdır. Gelecek çalışmalarda kriter sayısı ve türbin tipi ayrıntılı olarak el alınırsa daha kesin sonuçlara ulaşılabilir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- Z.K., E.B.; Veri Toplama- Z.K., E.B.; Veri Analizi/Yorumlama- Z.K.; Yazı Taslağı- Z.K., E.B.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi-E.B., Z.K.; Son Onay ve Sorumluluk- Z.K., E.B.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- Z.K., E.B.; Data Acquisition- Z.K., E.B.; Data Analysis/Interpretation- Z.K. ; Drafting Manuscript- Z.K., E.B.; Critical Revision of Manuscript- E.B., Z.K.; Final Approval and Accountability- Z.K., E.B.

Conflict of Interest: The authors have no conflict of interest to declare.

Grant Support: The authors declared that this study has received no financial support.

KAYNAKÇA/REFERENCES

- Akova, İ. (2003). Dünya enerji sorunu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı. *Coğrafya Dergisi*, 0(11), 47-73. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25060/264568>.
- Ali S, Taweekun J, Techato K, Waewsak J, Gyawali S. (2019). GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy*, 132, 1360-72. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.035>
- Anwarzai M. A. ve Nagasaka, K. (2017). Utility-scale implementable potential of wind and solar energies for Afghanistan using GIS multi-criteria decision analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.048>.
- Arslan, E. ve Solak, A. (2019). Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketiminin ithalat üzerindeki etkisi. *OPUS International Journal of Society Researches*, 10(17), 1380-1407. <https://doi.org/10.26466/opus.521269>
- Aydın N. Y., Kentel E. ve Düzgün S. (2010). GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: a case study from Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 364–73. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.023>
- Baban, S. ve Parry, T. (2001). Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. *Renewable Energy* 24, 59-71.
- Baseer M. A., Rehman S., Meyer J.P. ve Alam MM. (2017). GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia. *Energy-141*, 1166-76. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.016>
- Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetchaiboon, U., Phukpattaranont, P. ve Chetpattananondh, K. (2007). Site selection for large wind turbine using GIS. In: Proceedings of the PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment e ICEE, Phuket.
- Effat, H. A. ve El-Zeiny A. M. (2022). Geospatial modeling for selection of optimum sites for hybrid solar-wind energy in Assiut Governorate, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(2), 627-637. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.03.005>.
- Erinç, S. (1953). *Doğu Anadolu coğrafyası*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları.
- Esen, F. ve Avcı, V. (2017). Tunceli ilinde topografik faktörlere göre yerleşmelerin ve nüfusun dağılışı. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10, 376-389.
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
- Gorsevski P. V, Cathcart S., C, Mirzaei G., Jamali M., M., Ye X ve Gomez delcampo E., A. (2013). Group-based spatial decision support system for wind farm site selection in northwest Ohio. *Energy Policy*, 55, 374–85.
- Gul, M., & Ak, M. F. (2020). Assessment of occupational risks from human health and environmental perspectives: a new integrated approach and its application using fuzzy BWM and fuzzy MAIRCA. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34(8), 1231-1262. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01816-x>.
- Gültekin, U. (2019). Türkiye’de rüzgâr enerjisi yatırımlarının gelişimi. *Electronic Turkish Studies*, 14(4).
- Höfer, T., Sunak, Y., Siddique, H. and Madlener, R. (2016) Wind farm siting using a spatial analytic hierarchy process approach: a case study of the Städteregion Aachen. *Appl Energy*, 163, 222–43.
- J. Jangid, A.K. Bera, M. Joseph, V. Singh, T.P. ve Singh, B.K. (2016). Potential zones identification for harvesting wind energy resources in desert region of India e a multi criteria evaluation approach using remote sensing and GIS. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 65, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.078>.
- Kızıroglu, I. ve Erdogan, A. (2015). Relations between ecosystem and wind energy. *Fresenius Environ. Bull.* 24, 163–171.
- Langer L., Zaaier M, Quist J. ve Blok K. (2023). Introducing site selection flexibility to technical and economic onshore wind potential assessments: New method with application to Indonesia, *Renewable Energy*, 202, 320-335. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.11.084>.
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11–17.
- Manish, S., Pillai, I. R., & Banerjee, R. (2006). Sustainability analysis of renewables for climate change mitigation. *Energy for Sustainable Development*, 10(4), 25-36.
- Messaoudi D., Settou N., Negrou B. ve Settou B. (2019). GIS based multi-criteria decision making for solar hydrogen production sites selection in Algeria. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(60), 31808–31. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.099>.
- MGM, 2022: <https://www.mgm.gov.tr/> (Erişim Tarihi 31.12.2022).
- Morris, C., & Jungjohann, A. (2017). Energizing the people. *Nature*, 551(7682), S138-S140.
- Nedaei, M., Assareh, E., and Biglari, M. (2014). An extensive evaluation of wind resource using new methods and strategies for development and utilizing wind power in Mahshahr station in Iran. *Energy Convers Manag*, 81, 475-503.

- Noorollahi Y., Yousefi H. ve Mohammadi M. (2016). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS. *Sustain Energy Tecchn*, 13, 38-50.
- Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265-2300.
- Özşahin, E. ve Kaymaz, Ç. (2014). Rüzgâr enerji santrallerinin (RES) kuruluş yeri seçiminin CBS ile analizi: Hatay örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6 (2), 1-18. <https://dergipark.org.tr/pub/tubav/issue/21531/230992>.
- Pınar, A., Buldur, A., ve Tuncer, T. (2020). Türkiye'deki rüzgâr enerji santralleri dağılışının coğrafi perspektiften analizi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(43), 167-182.
- Quaschnig, V. (2005). Understanding Renewable Energy Systems: Earthscan. *Renewable energy*, 3, 224-228.
- Renn, O., & Marshall, J. P. (2016). Coal, nuclear and renewable energy policies in Germany: From the 1950s to the "Energiewende". *Energy Policy*, 99, 224-232.
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130.
- Rezaei, J. (2020). A concentration ratio for nonlinear best worst method. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 19(3), 891-907.
- Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J., & Tavasszy, L. (2016). A supplier selection life cycle approach integrating traditional and environmental criteria using the best worst method. *Journal of Cleaner Production*, 135, 577-588.
- Saraçoğlu, H. (1956). *Türkiye coğrafyası üzerine etüdler-I*, Doğu Anadolu, İstanbul: Maarif Basımevi.
- SETA. (2017). Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji, Sayı 197. İstanbul
- Shorabeh S.N., Firozjaei, H.K. Firozjaei M.K., Jelokhani-Niaraki, M., Homae M. ve Nematollahi O. (2022). The site selection of wind energy power plant using GIS-multi-criteria evaluation from economic perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168. 112778. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112778>.
- Siyal, S.H., Mörtberg, U., Mentis, D., Welsch, M., Babelon, I. and Howells, M. (2015). Wind energy assessment considering geographic and environmental restrictions in Sweden: a GIS-based approach, *Energy* 83, 447-461, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.044>.
- Tegou LI, Polatidis H. ve Haralambopoulos D.A. (2010). Environmental management framework for wind farm siting: methodology and case study. *J Environ Manag-91*. 2134-47. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.010>.
- Tercan, E. (2021). Land suitability assessment for wind farms through best-worst method and GIS in Balıkesir province of Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101491.
- Tercan, E., Eymen A., Urfalı T. ve Saracoglu O. B. (2021). A sustainable framework for spatial planning of photovoltaic solar farms using GIS and multi-criteria assessment approach in Central Anatolia, Turkey. *Land Use Policy* 102. 105272. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105272>.
- TUREB (2022). <https://www.tureb.com.tr/> (Erişim Tarihi 31.12.2022). URL-1: <http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/201701/W020170117350627940556.pdf>. (Erişim Tarihi 31.12.2022).
- USGS (2022). <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Erişim Tarihi 31.12.2022).
- Van Haaren R. ve Fthenakis V. (2011). GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State. *Renewable and Sustainable Energy Reviews-15*, 3332-40.
- Ye Xu, Ye Li, Lijun Zheng, Liang Cui, Sha Li, Wei Li ve Yanpeng Cai (2020). Site selection of wind farms using GIS and multi-criteria decision making method in Wafangdian, China, *Energy*, 207, 118222. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118222>.
- Yılmaz, E. A., & Öziç, H. C. (2018). Renewable energy potential and future aims of Turkey. *Ordu University Journal of Social Science Research*, 8(3), 525-535.
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54. DOI:10.1501/Csaum_0000000064.