



Türk Coğrafya Dergisi

Turkish Geographical Review

www.tcd.org.tr

Basılı ISSN 1302-5856

Elektronik ISSN 1308-9773



Kars ilinde rüzgâr enerjisi santrali kurulum potansiyeli taşıyan alanların CBS analizleri ve AHP yöntemi kullanılarak belirlenmesi

Determination of areas with potential for wind power plant installation in Kars province using GIS analysis and AHP method

Mucip Demir ^{a*} 

^a Kafkas Üniversitesi Dede Korkut Eğitim Fakültesi Sosyal Bilimler ve Türkçe Eğitimi Bölümü, Coğrafya Öğretmenliği Ana Bilim Dalı.

ORCID: M.D. 0000-0003-1122-2664

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 08.09.2022

Kabul/Accepted: 20.11.2022

Anahtar Kelimeler:

Rüzgâr enerjisi
Yenilenebilir enerji
Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)
Kars

Keywords:

Wind power
Renewable energy
Analytic Hierarchy Process (AHP)
Kars

*Sorumlu yazar/Corresponding author:
(M. Demir) mucipdemir@hotmail.com

DOI: 10.17211/tcd.1172416



Atıf/Citation:

Demir, M. (2022). Kars ilinde rüzgâr enerjisi santrali kurulum potansiyeli taşıyan alanların CBS analizleri ve AHP yöntemi kullanılarak belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 157-172. <https://doi.org/10.17211/tcd.1172416>

ÖZ / ABSTRACT

Rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesi oldukça karmaşık ve analizi güç bir mekânsal karar alma problemi dizisi oluşturmaktadır. Bu problem dizisinin çözülmesi ve rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesi için son yıllarda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri tercih edilmektedir. Bu araştırmada, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) birlikte kullanılmasıyla, Kars ilinde rüzgâr enerjisi üretim potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Araştırmada, literatürde kabul gören çalışmalar ve çevre alanlarda uygulanmış projelerin sonuçları doğrultusunda belirlenen kriterlerin analizlerinin yapılmasına yönelik olarak çeşitli açık kaynaklardan tedarik edilen raster ve vektör formatlı ham verilerin işlenmesiyle tematik altlık haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalardan, AHP analizleriyle hesaplanan kriter ağırlıkları baz alınarak, Kars ilinde rüzgâr enerjisi santrali kurulumu için potansiyel taşıyan uygun alanlar CBS ortamında haritalanarak belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, Kars ilinde rüzgâr enerjisi santrali kurulumuna çok uygun ve uygun potansiyeli taşıyan 183 km² alan belirlenmiş olup bu araziler toplam 10,193 km² yüzölçümüne sahip il yüzölçümünün ancak %1,8'ini oluşturmaktadır. Kars ilinde rüzgâr enerjisi santrali kurulumuna uygun potansiyel taşıyan araziler heterojen bir dağılım göstermekte olup bu özellikteki arazilerin büyük kısmı ili güneyden ve batıdan sınırlandıran sıra dağlar üzerinde bulunmaktadır.

In this research, it is aimed to determine the areas with wind energy production potential in Kars province by using the Multi-Criteria Decision Making Methods, Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information Systems (GIS). In the research, thematic base maps were created by processing raw data in raster and vector formats, which were obtained from various open sources, in order to analyze the determined criteria. From these maps, based on the criteria weights calculated by AHP analysis, suitable areas with potential for wind power plant installation in Kars province were mapped in GIS environment. As a result of the research, 183 km² area, which is very suitable and suitable for wind power plant installation in Kars province, has been determined and these lands constitute only 1.8% of the province's surface area with a total surface area of 10,193 km². The lands that have the potential to establish a wind power plant in Kars province show a heterogeneous distribution, and most of the lands with this feature are located on the mountain ranges that border the province from the south and west.

Extended Abstract

Introduction

The determination of the areas where the wind power plants will be established constitutes a series of spatial decision making problems that are quite complex and difficult to analyze. In recent years, Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods have been preferred to solve this series of problems and to determine the areas where wind power plants will be established. In this research, it is aimed to determine the areas with wind energy production potential in Kars province by using the Multi-Criteria Decision Making Methods, Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information Systems (GIS).

Data and Method

In the research, in line with the results of the studies accepted in the literature and the projects implemented in the surrounding areas to determine the wind energy production potential and spatial distribution in Kars province, the slope, average roughness, landform, average wind power density, land cover/use, electrical energy transmission network, highway network. eight criteria were determined.

In the study, in addition to migratory bird routes and geology layers, which are considered to be among the most important factors in determining the areas where wind power plants will be established, and which can only be created by on-site studies for each power plant site, atmospheric density, which overlaps to a certain extent with the main research criteria and does not affect production significantly. wind capacity factor criteria are excluded from the research case.

For the AHP analysis of the criteria determined according to the main purpose of the research, raw data in raster and vector formats were collected from various sources. Thematic base maps were created by processing these data. The criteria in the obtained thematic raster maps were reclassified in line with the research results accepted in the literature, and the pairwise comparison matrix and reliability CR values were calculated using online AHP software. Criteria with priority weights for solving the research problem, ARCGIS 10.8. software was combined in the "Weighted Overlay" tool in the Spatial Analyst Tools module, and potential areas suitable for RES production were spatially determined and mapped.

Results and Discussion

In terms of all research criteria, there are 183 km² of land that is very suitable and suitable for the establishment of a wind power plant in Kars province, and these lands constitute only 1.8 % of the province's surface area with a total surface area of 10,193 km².

The lands that have the potential to establish a wind power plant in Kars province only in terms of wind resources have an area of 183 km², which corresponds to 2 % of the province's surface area, and shows a heterogeneous distribution. Most of the lands with this feature are located on the Aras Mountains bordering the province from the south, where transportation and energy transmission lines are sparse, the

Allahuekber Mountains limiting the province from the west, and the Aladağ, Yaglica, Tarhan and Dumanlıdağ volcanic cones located in the central part of the province. Although this situation does not largely match the other criteria required for WPP installation, the high economic return potential in these areas still creates an attraction for investments. As a matter of fact, the works for the installation of a wind power plant that will have a production capacity of 20 MWe in the Aladağ Gümüştepe area of Kars province are continuing, which practically confirms this situation.

The average annual wind speed in Kars province is 4.71 m/s and it is below the 7 m/s required for an efficient and economical production from the wind. Due to this situation, it is understood that the efficiency of the power plants to be established for the purpose of wind energy production will be low and not very economical, except for the designated areas in Kars.

Almost all of the lands that have the potential for wind power plant installation in Kars province correspond to sparsely planted, bare lands far away from the areas where settlement, nature protection, agriculture and animal husbandry activities are carried out. This makes the installation of wind power plants easier both technically and legally and creates an attraction for investments.

Electric energy transmission lines in Kars show a very homogeneous and dense distribution. Due to this situation, the distribution of energy transmission lines does not constitute a restriction in the selection of the location of the wind power plants to be built in Kars. Due to the fact that most of the province of Kars is located on a flat and nearly flat plateau area, there is a fairly widespread road network in comparison to the neighboring provinces around it. The qualities of this road network have been raised above a certain standard with the studies carried out in recent years, and this situation creates an advantage in terms of logistics both in the installation process of wind power plants and in the operation period.

1.Giriş

Türkiye'de alternatif enerji türlerinin üretiminin teşvik edilmesi sonucunda ihtiyaç duyulan ve üretilen elektrik enerjisi içinde alternatif enerji kaynaklarının payı % 23.5'e, bu kaynaklardan rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 10.976 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı % 10,8'e ulaşmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Türkiye'de rüzgâr enerjisi üretimine yönelik talep artışına rağmen rüzgâr enerjisi üretecek santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesi oldukça karmaşık ve analizi güç bir mekânsal karar alma problemi dizisi oluşturmaktadır. Bu problem dizisinin çözülmesi ve rüzgar enerjisi santrallerinin kurulacağı optimum koşullara sahip alanların belirlenmesi için son yıllarda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri tercih edilmektedir (Garni vd., 2017).

Çok kriterli karar verme yönteminde, belirlenmiş bir hedefe yönelik olarak, birbirine bağımlı fakat birbirinden farklı kriterler arasındaki ilişkilere dayalı olarak teknik, bir dizi alternatifi

derecelendirmek, sıralamak veya bir dizi alternatif içinde en iyi veya en uygun çözümlemeyi yaparak optimum sonuçlar elde edilebilmektedir (Köksalan vd., 2011).

Çok kriterli karar verme yönteminin; çok çeşitli türleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları, mekânsal bazlı çok kriterli dayanan karar alma gereklilikleri nedeniyle sahaya yönelik analizler yapabilen Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçlarına entegre edilmiştir. Böylece belirlenmiş hedeflere yönelik olarak analizler daha rahatlıkla yapılabilirken sonuçlar daha isabetli ve belirgin olarak tespit edilebilmektedir. (Greene vd., 2011; Pereira vd., 1993).

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden, CBS ile en fazla entegre edilmiş ve en fazla birlikte kullanılanları; Analytic hierarchy process (AHP), Weighted Linear Combination (WLC), The Technique For Order Of Preference By Similarity To Ideal Solution (TOPSIS), Grey Cumulative Prospect Theory, and Elimination and Choice Translating Reality'dir (Garni & Awasthi, 2017). Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağı saha koşulları ve ulaşılması istenen hedeflerin ortaya çıkardığı problemlere göre belirlenmektedir.

Bu çalışmada, RES yer seçiminde en çok tercih edilen bu yöntemlerden olan ve araştırma amaçlarına göre en uygun yöntem olarak belirlenen Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process) kullanılmıştır.

1.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Saaty (1980) tarafından geliştirilen ÇKKV yöntemlerinden biri olup matematik ve psikolojiye dayalı karmaşık karar verme problemlerini organize etmek ve çözmek için yapılandırılmış bir tekniktir (Forman vd., 2001).

AHP, hiyerarşik bir yapı içinde her bir yapısal karar verme ögesini ölçmek için kapsamlı ve mantıklı bir çerçeve sağlar. (Saaty, 1994). AHP, karar kriterleri arasında ikili karşılaştırmalar kullanır ve ikili karşılaştırmayı değerlendirmek için 1'den 9'a kadar değerlere sahip temel bir ölçeği kullanır. Her bir kriter öncelik vermek için karşılıklı koşul, homojenlik, bağımlılık ve beklenti ilkelerini takip eder (Tavana vd., 2021).

AHP algoritması şu şekilde tanımlanır (Saaty, 1980).

Adım 1. Hiyerarşik bir yapı oluşturulur. Öncelikle karar problemini tanımlayan ana kriterler ve alternatifler belirlenir ve problem, hedef seviyelere, kriterlere, alt kriterlere ve alternatiflere bölünür. Bu hiyerarşinin her bir ögesi, üst düzey ögesine bağlıdır ve bu bağımlılık en üst düzeye kadar doğrusal olarak devam eder. Hiyerarşik yapıda bir değişiklik olduğunda değerlendirme süreci tekrarlanmalıdır.

Adım 2. Bir ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Her seviyenin elemanları, ikili karşılaştırma matrislerinin oluşumuna yol açan çiftler halinde karşılaştırılır. İkili karşılaştırmalarda önem ve tercihi belirlemek için 9 puanlık bir ölçek kullanılır (Tablo 1). Bu adımdaki tercihler, karşılıklılık ve homojenlik koşullarını sağlamalıdır.

Tablo 1. AHP İkili Karşılaştırma Ölçeği.

Table 1. AHP Scale Of Binary Comparison.

	Tanım
1	Her iki faktörün eşit önemde olması durumu,
3	i. faktörün j. faktörden biraz daha önemli olması durumu,
5	i. faktörün j. faktörden fazla önemli olması durumu
7	i. faktörün j. faktöre göre çok güçlü bir öneme sahip olması durumu,
9	i. faktörün j. faktöre göre aşırı derecede önemli olması durumu,
2,4,6,8	Ara değerler.

Kaynak: (Saaty, 1990).

Adım 3. Tutarlılık oranı hesaplanır. Uzmanların yargısının tutarsız ikili karşılaştırma matrislerinin oluşumuna yol açabileceği göz önüne alındığında, bunların tutarlılığını ve hiyerarşik yapının tutarlılığını değerlendirmek için deneysel oranlar önerilir. Araştırma kararları tutarsız ise sonuçlar yeniden değerlendirilmek üzere uzmanlara iade edilir. Tutarlılık oranı tekrar hesaplanır ve hiyerarşik yapının tutarlılığı değerlendirilir

Adım 4. Kriterlerin yerel öncelikleri ve her bir kriter göre alternatifler farklı ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak elde edilir. En yaygın ağırlıklandırma yöntemleri, satırların, sütunların, aritmetik ortalamanın, geometrik ortalamanın, öz vektörün, en küçük karelerin ve logaritmik en küçük karelerin toplamını içerir.

Adım 5. Alternatiflerin genel önceliği hesaplanır. Her alternatifin genel önceliği, her bir ağırlıklı kriter göre alternatifin yerel önceliğinin çarpımının toplamına eşittir.

Adım 6. Alternatifler, genel önceliklerine göre sıralanır. Bir alternatifin genel önceliği ne kadar yüksekse, sıralama konumu o kadar iyi olur.

AHP'nin uygulanması, özellikle her seviyedeki eleman sayısının artmasıyla bazen çok zaman alıcı olabilir. Bu gibi durumlarda, karar kriterleri genellikle alt kriterlere bölünür, ancak çoğu durumda bu sorunu çözmez. Ayrıca, tutarlı ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması, bunun ötesinde bir görev olabilir (Saaty, 2008).

AHP, yönetim bilimi ve yöneylem araştırması alanında mevcut en gelişmiş yöntemlerden biridir. Buna rağmen, yüksek düzeyde matematik içerip öz vektör kavramına dayanması nedeniyle AHP ile ilgili hesaplamaları Excel sayfasında yapmak gerekir ancak bu aracı kullanmanın karmaşıklığı da uygulamayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle matematik yoğun kısmı otomatikleştiren ve kullanıcıların, basit bir veri toplama metodolojisini izleyerek sonuca ulaşmalarını sağlayan ve çoğu internet üzerinden de kullanıma açık yazılım araçları oluşturulmuştur (Juneja, 2021).

1.2 Global Wind Atlas Rüzgâr Verileri

Kars ilindeki rüzgâr enerjisi üretim potansiyelinin ve mekânsal dağılımının tespit edilmesini amaçlayan bu çalışma için, Global Wind Atlas rüzgâr katmanları temel veri seti olarak seçilmiştir. Bu veri seti katmanlarının oluşturulması için öncelikle Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) ERA5 yenisinden analiz veri kümelerinden elde edilen yaklaşık 30 km'lik bir

Kars ili idari alanında rüzgâr enerjisi üretimi bakımından 100 metre yükseklikteki, ortalama rüzgâr hızı 4,71 (m/s), Ortalama güç yoğunluğu 139.84 (W/m²) olup bu şekilde 40 MW teorik potansiyel güç kapasitesi bulunmaktadır (YEGM, 2022). İl idari sınırlarında Aladağ, Gümüştepe alanında 20 MWe üretim kapasitesine sahip olacak bir rüzgâr enerjisi santralinin kurulum çalışmaları devam etmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020); (Şekil 1).

2. Araştırma Alanının Konumu, Sınırları ve Başlıca Özellikleri

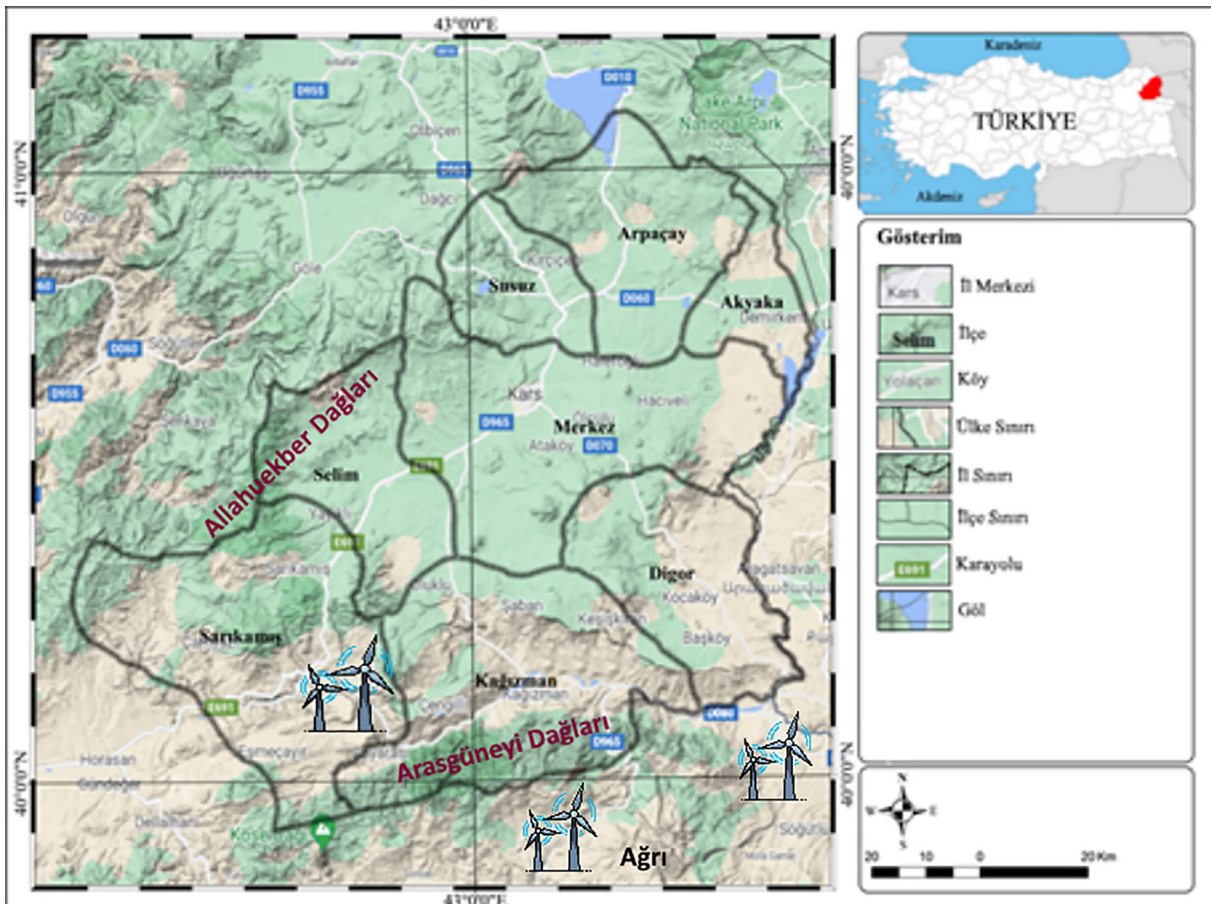
3. Amaç, Veri ve Yöntem

Bu araştırmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarına da entegre edilmiş bulunan Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden (ÇKKV), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmasıyla Kars ilindeki rüzgar enerjisi üretim potansiyelinin ve mekânsal dağılımının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Kars ili idari alanındaki arazi 1971 metre ortalama irtifaya sahip olup büyük kısmı Kars platosu üzerinde bulunmaktadır. Buna rağmen Kars ili doğal ve beşeri özellikler bakımından; kuzeybatı ve güneydeki dağlık alanlar, ilin merkezi kısmındaki bulunan yüksek plato sahası ve ilin güneyindeki Aras Vadisi olarak üç farklı karakterdeki alana ayrılmaktadır (Demir, 2021).

Araştırmada, Kars ilindeki rüzgâr enerjisi üretim potansiyeli taşıyan alanların yer seçimine etki eden belirlenmiş kriterlerin AHP analizlerinin yapılmasına yönelik olarak çeşitli açık kaynaklardan raster ve vektör formatlı ham veriler elde edilmiştir (Tablo 2). Bu veriler ARCGIS 10.5. yazılımı Data Management Tools modülünde işlenerek Kars ili idari sınırlarına göre özelleştirilmiştir.

Kars ili, yüksek irtifa ortalamasına sahip olan arazisi ve karasal özelliklerin etkisiyle iklimatik bakımdan sert karasal iklimin etkisinde bulunmaktadır. Bu nedenle beşeri ve ekonomik faaliyetler önemli oranda kısıtlanmış olup buna rağmen, il ekono-



Şekil 1. Kars İlinin Lokasyonu
Figure 1. Location of Kars Province

Tablo 2. Araştırma Verileri ve Kaynakları
Table 2. Research Data and Resources

Kriter	Veri Seti	Dosya Tipi	Veri Yapısı	Veri Çöz.	Veri Kaynağı
Eğim					
Ortalama Pürüzlülük	Alos Palsar DEM (12m resolution)	DEM	Raster	12.5 m	ASF
Yer Şekli					
Rüzgâr Hızı					
Ortalama Rüzgâr Güç Yoğunluğu	Global Wind Atlas, Turkey	GeoTiff	Raster	250→12 m	Global Wind Atlas,
Arazi Örtüsü/Kullanımı	CORINE Arazi Örtüsü/Kullanımı	GeoTiff	Raster	30→12m	CORINE
Elektrik Enerjisi İletim Ağı	Openstreetmap Turkey	GeoTiff	Vektör	12.5 m	Openstreetmap
Karayolu Ulaşım Ağı	Openstreetmap Turkey	GeoTiff	Vektör	12.5 m	Openstreetmap

Araştırmada sırasıyla,

- Araştırmının ana amacına uygun olarak birçok benzeri çalışmada da kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden (ÇKKV), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) modeli seçilmiştir.
- Araştırmada literatürde kabul gören araştırmalar ve çevre alanlarda uygulanmış projelerin sonuçları doğrultusunda kriterler belirlenmiştir.
- Araştırmının ana amacına göre belirlenen kriterlerin AHP analizine yönelik olarak çeşitli kaynaklardan raster ve vektör formatlı ham veriler toplanmıştır (Tablo 2).
- Araştırmada kullanılacak raster ve vektör formatlı ham veriler ARCGIS 10.5. yazılımı Data Management Tools modülü kullanılarak Kars ili sınırlarına göre özelleştirilmiştir.
- Kars ili sınırlarına göre özelleştirilmiş raster ve vektör veriler, ARCGIS 10.5. yazılımı Spatial Analyst Tools modülünde işlenerek; rüzgâr hızı, ortalama rüzgâr güç yoğunluğu eğim, yer şekli, ortalama pürüzlülük, arazi örtüsü/kullanımı, elektrik enerjisi nakil hatları, karayolları gibi tematik raster haritalar üretilmiştir (Şekil 2).
- Elde edilmiş tematik raster haritalardaki alt kriterler, literatürde kabul gören araştırma sonuçları doğrultusunda aynı yazılımdaki ARCGIS 10.5. reclassify araç çubuğu kullanılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 2).
- Araştırmının ana amacı doğrultusunda belirlenmiş kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisi ve güvenilirlik CR değerleri, Goepel, (2018) tarafından hazırlanmış çevrimiçi AHP yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.
- Araştırma probleminin çözülmesine yönelik olarak öncelik ağırlıkları belirlenen kriterler ARCGIS 10.8. yazılımı Spatial Analyst Tools modülündeki "Weighted Overlay" aracında birleştirilerek analize edilmiş, RES üretimi için uygun potansiyel alanlar mekânsal bakımdan belirlenerek haritalanmıştır (Şekil 2).

4. Araştırma Kriterleri

Araştırmada Kars ilindeki rüzgar enerjisi üretim potansiyelinin ve mekânsal dağılımının tespit edilmesine yönelik olarak literatürde kabul gören araştırmalar ve çevre alanlarda uygulanmış projelerin sonuçları doğrultusunda; ortalama rüzgâr hızı, ortalama rüzgâr güç yoğunluğu, eğim, yer şekli, ortalama pürüzlülük, arazi örtüsü/kullanımı, elektrik enerjisi nakil ağı,

karayolları ağı olmak üzere sekiz kriter belirlenmiştir (Tablo 3).

Araştırmada,

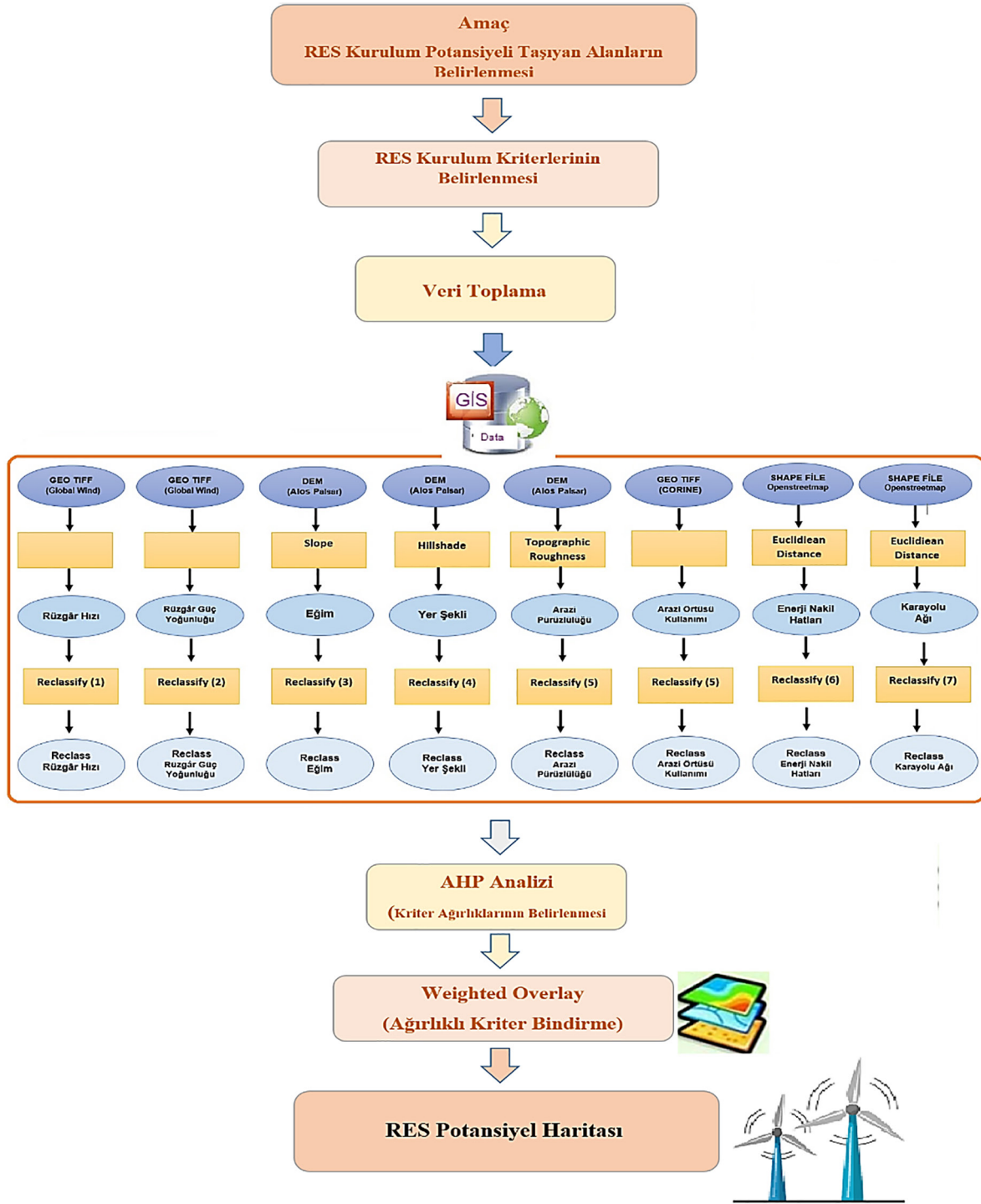
- Rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesi üzerinde en önemli faktörler arasında bulunduğu değerlendirilen ve her santral sahası için ancak yerinde yapılacak çalışmalarla oluşturulabilecek göçmen kuş rotaları haritası,
- Rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulacağı alanlar ve yakın çevreleri için yerinde yapılacak çalışmalarla oluşturulabilecek yasal olarak en az 1/1000 ölçekle jeolojik uygunluk haritası,
- Rüzgâr enerjisi santrallerinin temel kaynağını oluşturan rüzgâr hızı ve rüzgâr güç yoğunluğu kriterleriyle belirli oranda örtüşen ve üretimine anlamlı düzeyde etki etmediği değerlendirilen atmosfer yoğunluğu,
- Rüzgâr enerjisi santrallerinde kullanılacak rüzgâr türbinlerinin gücü ve teknolojisine bağlı olarak çok sayıda diğer değişken kullanılarak hesaplanan rüzgâr kapasite faktörü,
- Rüzgâr enerjisi santralleri kurulumuna ve üretimine anlamlı düzeyde etki etmediği değerlendirilen ve diğer kriterlerle dolaylı şekilde olsa örtüşüp bu nedenle birçok çalışmada dikkate alınmayan sıcaklık, yağış, bulutluluk, bakı, gibi iklimik unsurlar,
- Rüzgâr enerjisi santralleri kurulumuna ve üretimine önemli etkileri bulunan yer şekli ve pürüzlülük elemanlarıyla belli bakımdan örtüşen irtifa,

ana kriterler arasına alınamamış ve araştırma kapsamı dışında tutulmuştur.

Araştırmada, rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesine yönelik olarak yapılmış çalışmalar ve çevre alanlarda uygulanmış projelerde anılan yasal ve teknik nedenlerden dolayı doğrudan rüzgâr enerjisi santralleri kurulamayacak,

- Akarsu yatakları, Göller, Baraj gölleri ve 10 metre çevreleri,
- Kara ve Demir yolları, tesisleri ve 20 metre çevreleri,
- Doğal Koruma Alanları,

maskelenerek analizler dışında tutulmuştur.



Şekil 2. Araştırma Hiyerarşik Modeli
Figure 2. Research Hierarchical Model

4.1 Rüzgâr Hızı

Rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesinde kullanılacak en önemli iklimatik parametrelerin başında Rüzgâr Hızı gelmektedir. Rüzgârdan elektrik enerjisi üreten türbinlerin üretim yapabilmeleri için gerekli olan en düşük rüzgâr hızının 2,5 m/s, verimli ve ekonomik bir üretim yapması içinse 7 m/s ve üzerinde olması gereklidir (Koç, 1998).

Kars ili genelinde ortalama yıllık rüzgâr hızı 4,71 m/s olup Türkiye genelinde 5,2 m/s olan yıllık rüzgâr hızı ortalamasının altındadır (YEGM, 2022). Kars ilinde rüzgâr hızı heterojen bir

dağılım göstermektedir. Rüzgâr hızı ortalama 3000 metre irtifaya sahip ili batıdan çevreleyen Allahuekber Dağları ve güneyden çevreleyen Arasgüneyi dağlarının zirve hattı üzerinde 12 m/s ile en yüksek değerlerine ulaşırken, ilin büyük kısmını oluşturan ve ortalama 2000 metre irtifaya sahip Kars Platosu üzerinde 4 m/s civarına düşmektedir (Şekil 3).

Araştırmada, literatürdeki ve çevre alanlarda uygulanmış RES projelerinin sonuçları dikkate alınarak rüzgâr türbinlerin verimli ve ekonomik üretim yapabileceği yerden 100 metre yükseklikteki rüzgâr hızı (Köse vd., 2005) kriter olarak alınarak dört ağırlık sınıfı oluşturulmuştur (Tablo 3). Kars ilinde rüzgâr

Tablo 3. Araştırma Kriterleri, Ağırlık Dereceleri ve Ağırlık Sınıfları.**Table 3.** Research Criteria, Weight Grades and Weight Classes.

Kriter	Kriter Faktörleri	Ağırlık	Ağırlık Sınıfı
Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s) (Yerden 100 m yüksekte)	8,33 – 12,02	1	Çok Uygun
	7,51 - 8,32 m/s	2	Uygun
	3,51 - 7,50 m/s	3	Az Uygun
	1,50 - 3,5 m/s	4	Uygun Değil
Ortalama Rüzgâr Güç Yoğunluğu (W/m ²) (Yerden 100 m yüksekte)	1088 – 1766 kWh/m ²	1	Çok Uygun
	792 – 1087 kWh/m ²	2	Uygun
	251 – 791 kWh/m ²	3	Az Uygun
	11,2 - 250 kWh/m ²	4	Uygun Değil
Eğim	0 – 6°	1	Çok Uygun
	6 – 15°	2	Uygun
	15 - 24°	3	Az Uygun
	24°+	4	Uygun Değil
Yer Şekli	Dağ Yamaçlar Ve Zirve Hatları	1	Çok Uygun
	Plato Yüzeyleri	2	Uygun
	Akarsu Vadileri	3	Az Uygun
	Dağlık Taban Araziler	4	Uygun Değil
Arazi Pürüzlülüğü	Göl ve Akarsu Yüzeyleri	1	Çok Uygun
	Plato Yüzeyleri, Tarla, Mera, Çayır	2	Uygun
	Yerleşim Alanları	3	Az Uygun
	Ormanlık Araziler, Korular, Kayalıklar	4	Uygun Değil
Arazi	Doğal Çayırliklar, Seyrek Bitkili Arazi	1	Çok Uygun
	Bitki Değişim Alanı, Çıplak Kayalık	2	Uygun
	Kumsal, Kumluk	3	Az Uygun
	Diğer Arazi Örtüsü/Kullanımı Alanları	4	Uygun Değil
Enerji Nakil Hatları Mesafesi	0-1000 m	1	Çok Uygun
	1001-2000 m	2	Uygun
	2001-3000 m	3	Az Uygun
	3001 m+	4	Uygun Değil
Karayolu Mesafesi	0-20 m	4	Uygun Değil
	21-1000 m	1	Çok Uygun
	1001-2000 m	2	Uygun
	2001-3000 m	3	Az Uygun
	3001 m+	4	Uygun Değil

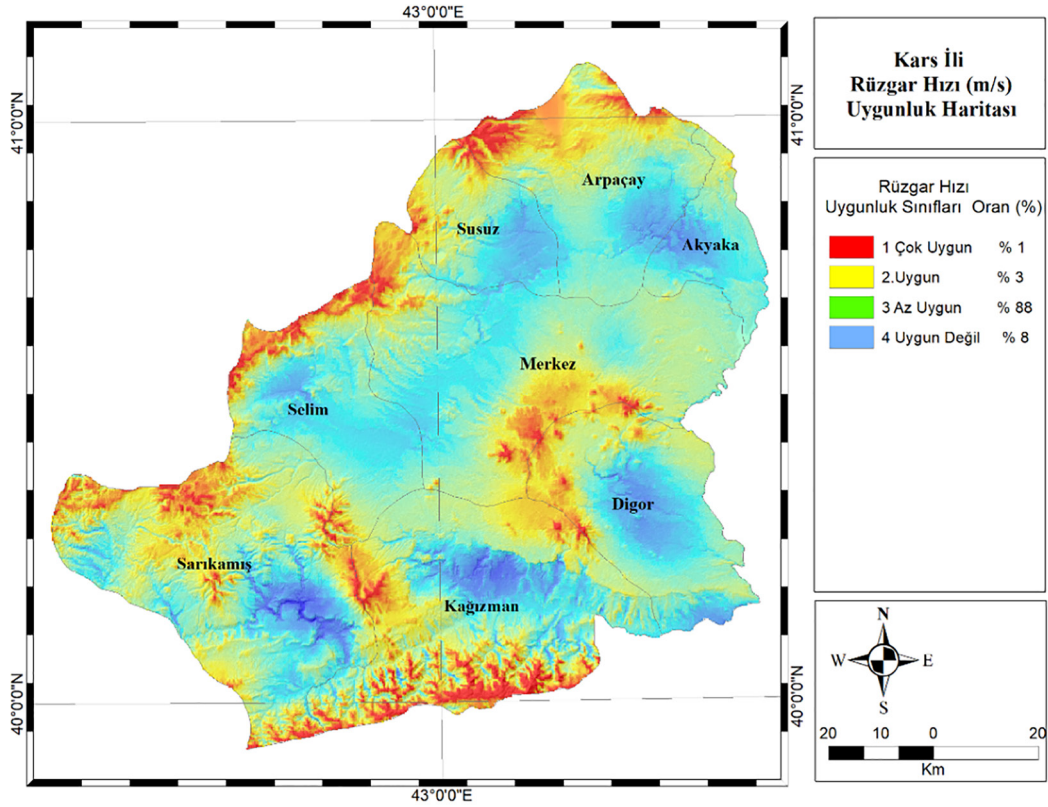
hızı uygunluk kriteri bakımından ağırlıklandırılmış arazilerin % 1'ini oluşturan 102 km²'si "1" ağırlık dereceli çok uygun ve % 3'ünü oluşturan 304 km²'si "2" ağırlık dereceli uygun, arazilerden oluşmaktadır (Şekil 3).

4.2 Rüzgâr Güç Yoğunluğu

Rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesinde kullanılacak en önemli iklimatik parametrelerin başında rüzgâr güç yoğunluğu gelmektedir. Rüzgâr enerjisi analizlerinde rüzgâr gücü yoğunluğu, rüzgâr hızına nispetle daha doğru bir göstergedir Rüzgârdan elektrik enerjisi üreten türbinlerin verimli ve ekonomik bir üretim yapması için rüzgâr gücü yoğunluğunun 1000 W/m² ve üzerinde olması önerilmektedir (YEGM, 2022).

Kars ili genelinde ortalama rüzgâr güç yoğunluğu 139,84 W/m² olup Türkiye genelinde 243.04 W/m² olan ortalamanın altındadır (YEGM, 2022). Kars ilinde rüzgâr güç yoğunluğu heterojen bir dağılım göstermektedir. Rüzgâr güç yoğunluğu 3000 metre irtifaya sahip ili batıdan çevreleyen Allahuekber Dağları ve güneyden çevreleyen Arasgüneyi dağlarının zirve hattı üzerinde 1766 W/m² en yüksek değerlerine ulaşabilirken, 2000 metre irtifaya sahip Kars Platosunda 114 W/m² civarına kadar düşebilmektedir (Şekil 4).

Araştırmada, literatürdeki ve çevre alanlarda uygulanmış RES projelerinin sonuçları dikkate alınarak rüzgâr türbinlerin verimli ve ekonomik üretim yapabileceği yerden 100 metre yükseklikteki rüzgâr güç yoğunluğu (W/m²) kriteri alınarak dört ağırlık sınıfı oluşturulmuştur (Tablo 3). Kars ilinde rüzgâr güç yoğunluğu uygunluk kriteri bakımından ağırlıklandırılmış ara-



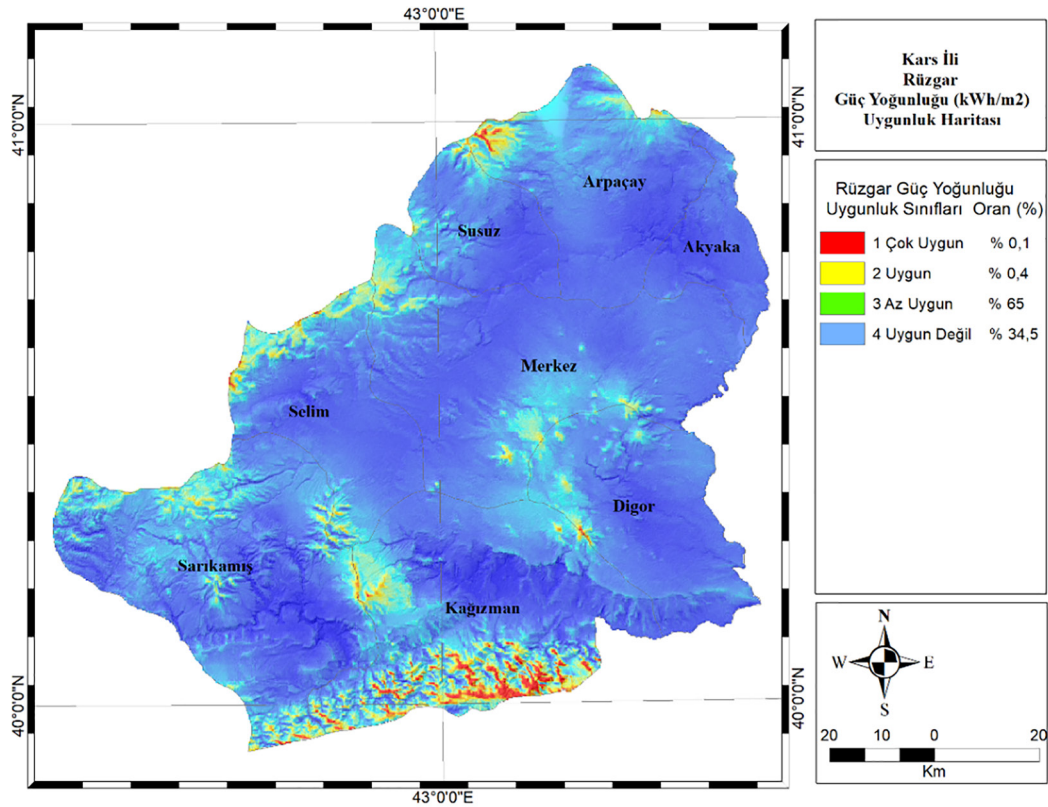
Şekil 3. Kars İli Yerden 100 m Yükseklikte Rüzgâr Hızı (m/s) Uygunluk Haritası.

Figure 3. Kars Province 100 m Above Ground Wind Speed (m/s) (m/sn) Suitability Map.

zilerin % 0,1'ini oluşturan 13,08 km²'si "1" ağırlık dereceli çok uygun, % 0,4'ünü oluşturan 43 km²'si "2" ağırlık dereceli uygun sınıfta bulunmaktadır (Şekil 4).

4.3 Yer Şekilleri

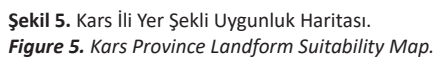
Yer şekillerinin rüzgâr enerjisi kaynağı üzerinde büyük etkisi vardır. Genel olarak ovalar, platolar, deniz ve göl gibi düze yakın yüzeylerle, dağlar, tepeler ve sırt hatlarında rüzgâr hızı ve

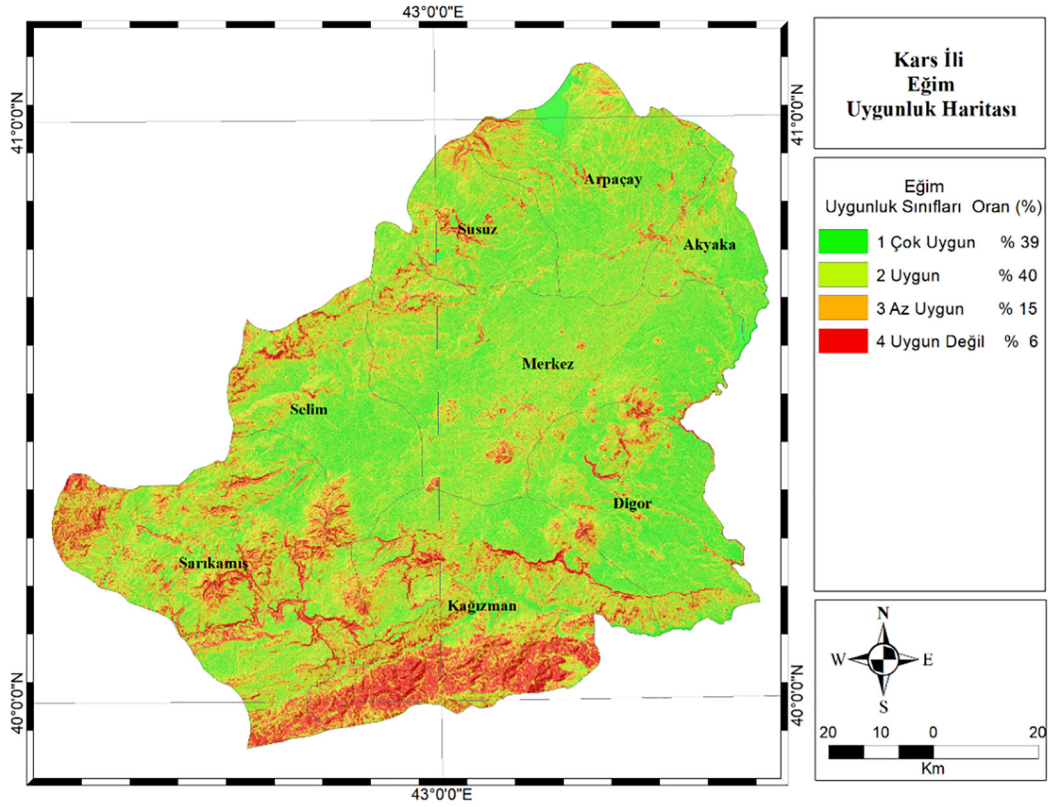


Şekil 4. Kars İli Yerden 100 m Yükseklikte Rüzgar Güç Yoğunluğu Uygunluk Haritası.

Figure 4. Kars Province 100 m Above Ground Wind Power Density Suitability Map.

Enerji santrali kurulacak arazilerin 1-15° arası eğimli olması uygun kabul edilmektedir (Brewer vd. 2015, s.829). Arazi eğim derecesi arttıkça RES tesis inşaatların kurulumu güçleşip





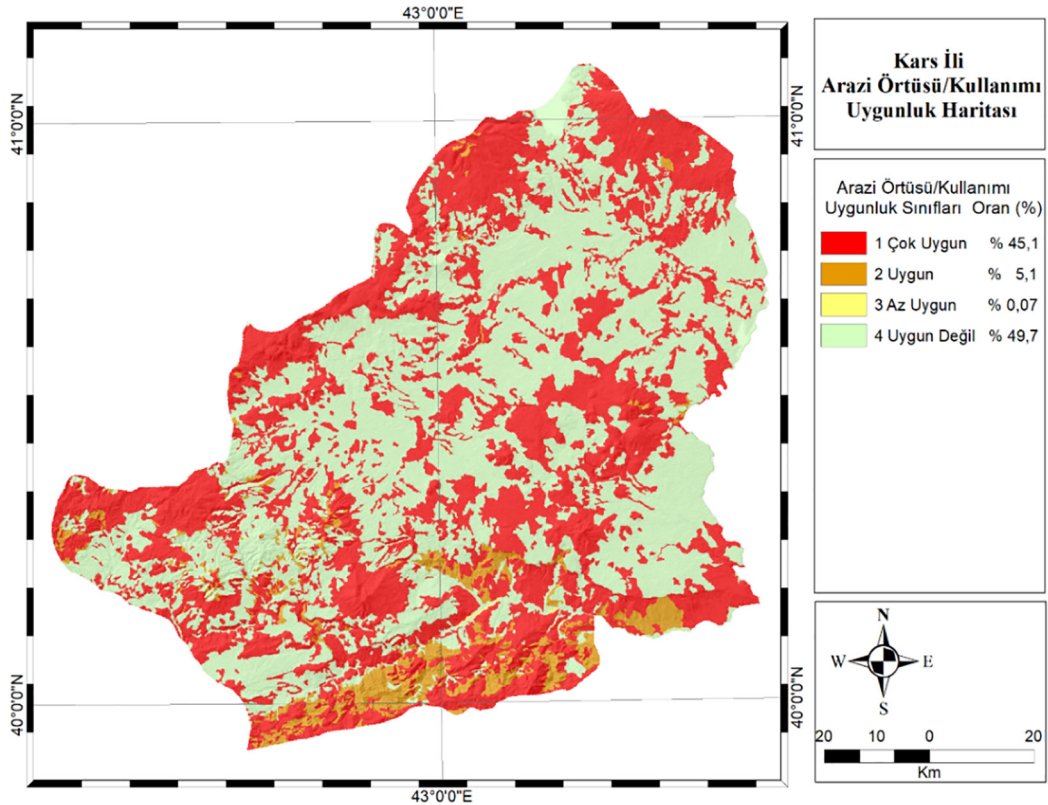
Şekil 7. Kars İli Arazi Eğimi Uygunluk Haritası.

Figure 7. Kars Province Land Slope Suitability Map.

lerinin sonuçları dikkate alınarak dört alt kritere bölünmüştür. Bu kapsamda % 34,5'ini oluşturan 0-1000 metre mesafedeki araziler "1" ağırlık dereceli çok uygun, % 23,9'unu oluşturan 1001-2000 metre mesafedeki araziler "2" ağırlık dereceli uygun, sınıfına alınmıştır (Şekil 9); (Tablo 3).

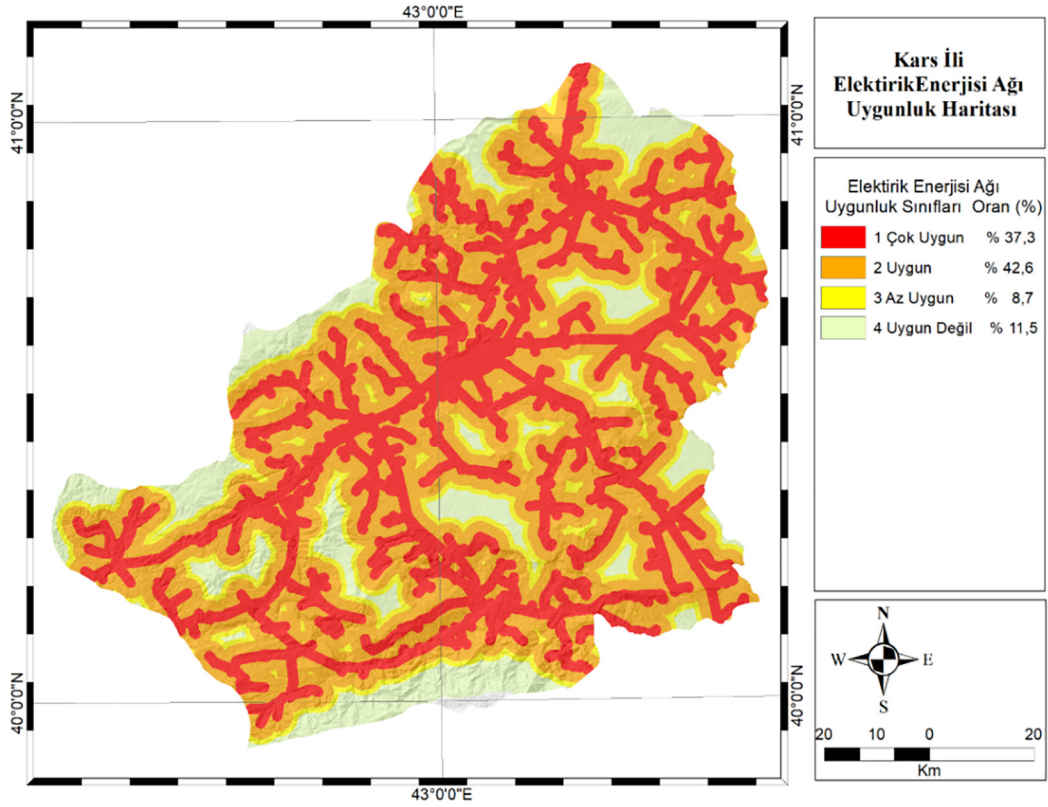
4.8. Karayolu Ulaşım Ağı

Karayolu ulaşım ağının gelişmiş olması gerek enerji santrallerinin tesis kurulum ve inşaat aşamasını kolaylaştırıp maliyetinin düşmesini sağlarken gerekse tesisin işletme aşamasında personel ve diğer lojistik ihtiyaçlarının kolayca karşılanarak sürdü-



Şekil 8. Kars İli CORINE Arazi Örtüsü/Kullanımı Uygunluk Haritası (2018).

Figure 8. Kars Province CORINE Land Cover/Use Suitability Map (2018).



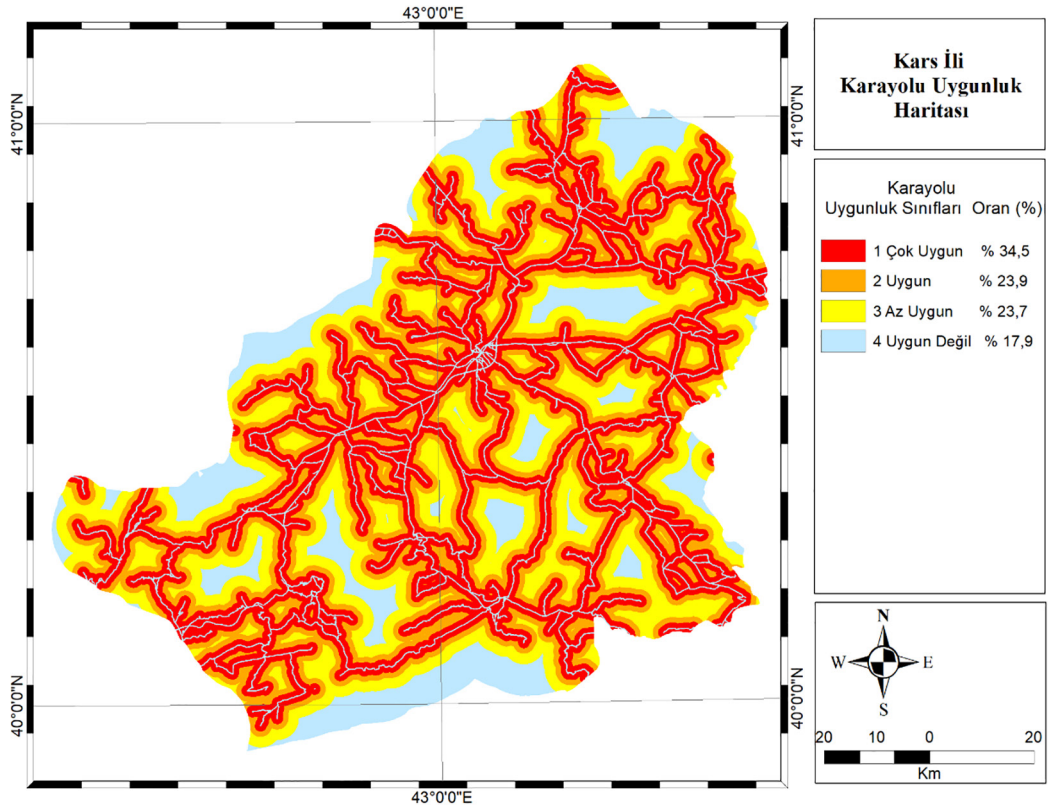
Şekil 9. Kars İli Elektrik Enerjisi İletim Hatları Ağ Uygunluk Haritası.

Figure 9. Kars Province Electric Power Transmission Lines Network Suitability Map.

rülebiliirliğinin sağlanması bakımından önemli bir yere sahiptir (Sánchez vd., 2013).

Kars ilinin büyük kısmının düz ve düze yakın plato sahasında yer alması nedeniyle genel olarak oldukça yaygın bir karayolu

ağı bulunmaktadır (Şekil 10). Kars ilinde kara yolu ulaşımı bakımından en elverişsiz alanları ili güneyden sınırlandıran Aras güneyi dağları ve Aras vadisi ile ili batıdan sınırlandıran Allahuekber dağlarıdır. İlin bu alanlarında eğim değerlerinin artması ve yerleşim sayısının azalmasına bağlı olarak karayolu ulaşım



Şekil 10. Kars İli Karayolu Ağ Uygunluk Haritası.

Figure 10. Kars Province Highway Network Suitability Map.

ağı seyreklemektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2021; Kars İl Özel İdaresi, 2021); (Şekil 10).

Araştırmada karayolu ulaşım ağı mesafesi kriteri, literatürdeki ve çevre alanlarda uygulanmış RES projelerinin sonuçları dikkate alınarak dört alt kriterle bölünmüştür. Bu kapsamda il arazisinin % 37,3'ünü oluşturan karayoluna 21-1000 metre mesafedeki araziler "1" ağırlık dereceli çok uygun, % 42,6'sını oluşturan karayoluna 1001-2000 metre mesafedeki araziler "2" ağırlık dereceli uygun, sınıfına alınmıştır (Tablo 3).

5. Analiz ve Bulgular

5.1. Kriterlerin Analizi

Araştırmanın ana amacı doğrultusunda literatür çalışmaları ve araştırma sahasında uygulanmış projelerin sonuçları dikkate alınarak sekiz ana kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterler arasında ikili karşıtımlara dayalı AHP analizi yapılmasına yönelik olarak Saaty, (2008) tarafından önerilen ve 1 ile 9 arasında değişen değerlere sahip önem ölçeği kullanılarak ön karar anketi oluşturulmuştur. Bu karar anketi internet üzerinden araştırma sahası ve çevre illerde RES uygulama projeleri yürüten

dört uzman mühendisin yanıtlanmasına sunulmuş, elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak nihai karar ağırlık anketi oluşturulmuştur (Şekil 11). Bu anket Goepel (2018) tarafından geliştirilen yazılım üzerinde uygulanarak ikili karşıtımlar matrisi oluşturulmuş ve böylece araştırma kriterlerinin ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 5).

Araştırma için dikkate alınan kriterlerin tutarlılık oranı CR = 0,058 olarak hesaplanmış olup bu tip çalışmalarda baz alınan (CR) 0.1 sınır değerinin altındadır. Bu durum araştırmanın güvenilirlik bakımından uygun ve ikili karşıtımların kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Tablo 4).

İkili karşıtımla matris sonucu Kars ili için en yüksek ağırlığa % 38.6 ile rüzgâr güç yoğunluğu kriteri, en düşük ağırlığı ise % 2.2 ile arazi pürüzlülüğü kriterinin sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 5).

Daha önceden sınıflandırılmış ve ağırlıkları belirlenmiş kriterler, karar verme probleminin çözülmesine yönelik olarak ARCGIS 10.8. yazılımı Spatial Analiz modülündeki Weighted Overlay bindirme işlemiyle analiz edilerek Kars ilinde rüzgâr

AHP öncelikleri ile ilgili olarak , hangi kriter daha önemlidir ve 1'den 9'a kadar bir ölçekte ne kadar daha önemlidir?

A - wrt AHP öncelikleri - veya B?		Eşit	Daha ne kadar?
1	☐ Rüzgar Hızı	☒ Rüzgar Güç Yoğunluğu	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
2	☒ Rüzgar Hızı	☐ Arazi Eğimi	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☒ 8 ☐ 9
3	☒ Rüzgar Hızı	☐ Yerçekli	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
4	☒ Rüzgar Hızı	☐ pürüzlülük	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☒ 8 ☐ 9
5	☒ Rüzgar Hızı	☐ Arazi Kullanımı Örtüsü	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☒ 7 ☐ 8 ☐ 9
6	☒ Rüzgar Hızı	☐ Enerji İletim Hatlarına Mesafe	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☒ 7 ☐ 8 ☐ 9
7	☒ Rüzgar Hızı	☐ Karayollarına Olan Mesafe	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
8	☒ Rüzgar Güç Yoğunluğu	☐ Arazi Eğimi	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☒ 8 ☐ 9
9	☒ Rüzgar Güç Yoğunluğu	☐ Yerçekli	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☒ 8 ☐ 9
10	☒ Rüzgar Güç Yoğunluğu	☐ pürüzlülük	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☒ 9
11	☒ Rüzgar Güç Yoğunluğu	☐ Arazi Kullanımı Örtüsü	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
12	☒ Rüzgar Güç Yoğunluğu	☐ Enerji İletim Hatlarına Mesafe	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
13	☒ Rüzgar Güç Yoğunluğu	☐ Karayollarına Olan Mesafe	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☒ 8 ☐ 9
14	☒ Arazi Eğimi	☐ Yerçekli	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
15	☒ Arazi Eğimi	☐ pürüzlülük	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
16	☐ Arazi Eğimi	☒ Arazi Kullanımı Örtüsü	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
17	☐ Arazi Eğimi	☒ Enerji İletim Hatlarına Mesafe	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
18	☐ Arazi Eğimi	☒ Karayollarına Olan Mesafe	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
19	☒ Yerçekli	☐ pürüzlülük	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
20	☒ Yerçekli	☐ Arazi Kullanımı Örtüsü	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
21	☐ Yerçekli	☒ Enerji İletim Hatlarına Mesafe	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
22	☐ Yerçekli	☒ Karayollarına Olan Mesafe	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
23	☐ pürüzlülük	☒ Arazi Kullanımı Örtüsü	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
24	☐ pürüzlülük	☒ Enerji İletim Hatlarına Mesafe	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
25	☐ pürüzlülük	☒ Karayollarına Olan Mesafe	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
26	☐ Arazi Kullanımı Örtüsü	☒ Enerji İletim Hatlarına Mesafe	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
27	☒ Arazi Kullanımı Örtüsü	☐ Karayollarına Olan Mesafe	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
28	☒ Enerji İletim Hatlarına Mesafe	☐ Karayollarına Olan Mesafe	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CR = %5.8

Şekil 11. İkili Karşıtımla Modülü .

Figure 11. Binary Comparisons Module.

enerjisi üretimi için uygun potansiyel alanlar, mekânsal bakımdan belirlenmiştir.

5.2 Bulgular

Kars ilinde tüm araştırma kriterleri bakımından rüzgâr enerjisi santrali kurulumuna çok uygun ve uygun potansiyeli taşıyan 183 km² alan bulunmakta olup bu araziler toplam 10,193 km² yüzölçümüne sahip il yüzölçümünün ancak %1,8'ini oluşturmaktadır (Şekil 12).

Kars ilinin 10.189 km² olan yüzölçümünün tüm araştırma kriterleri bakımından rüzgâr enerjisi santrali kurulumuna uygun potansiyeli bakımından % 0,07'sini oluşturan 7,3 km²'si çok uygun, % 1,72'sini oluşturan 176 km²'si uygun, % 92,4'ünü oluşturan 9334 km²'si az uygun, % 5,8'ini oluşturan 585 km²'si ise uygun olmayan arazilerden oluşmaktadır (Şekil 12).

Literatür kaynakları ve rüzgâr enerjisi projelerinin uygulama sonuçları, rüzgâr enerjisi santrallerinin yer seçiminde temel kaynağı oluşturan rüzgâr hızı ve rüzgâr güç yoğunluğu ana kriterlerinin ağırlıklarının diğer çevresel kriterlerin ağırlıklarına göre oldukça baskın olduğunu göstermektedir. Bu duruma paralel olarak araştırmada, Kars ilinde de rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulumuna uygun alanların, rüzgâr hızı ve rüzgâr güç yoğunluğu bakımından elverişlilik gösteren dağlık alanların zirve hatlarında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bu araziler ili güneyden sınırlandıran oldukça yüksek ve eğimli Arasgüneyi dağları, ili kuzeybatıdan sınırlandıran Allahuekber Dağları, ilin kuzeydoğusundaki Kısır, Akbaba, ilin merkezi kısmında yer alan Aladağ, Yağlıca, Tarhan ve Dumanlıdağ volkanik konileri üzerinde bulunmaktadır.

Tablo 4. Araştırma Kriterleri İçin, İkili Karşılaştırma Matrisi.

Table 4. Pairwise Comparison Matrix for Research Criteria.

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.50	8.00	6.00	8.00	7.00	7.00	6.00
2	2.00	1	8.00	8.00	9.00	6.00	7.00	8.00
3	0.12	0.12	1	1.00	2.00	0.33	0.17	0.50
4	0.17	0.12	1.00	1	4.00	1.00	1.00	1.00
5	0.12	0.11	0.50	0.25	1	0.50	0.20	0.20
6	0.14	0.17	3.00	1.00	2.00	1	0.50	1.00
7	0.14	0.14	6.00	1.00	5.00	2.00	1	1.00
8	0.17	0.12	2.00	1.00	5.00	1.00	1.00	1

Tablo 5. Araştırma Kriterleri İçin, İkili Karşılaştırmalara Dayalı Olarak Elde Edilen Ağırlıklar.

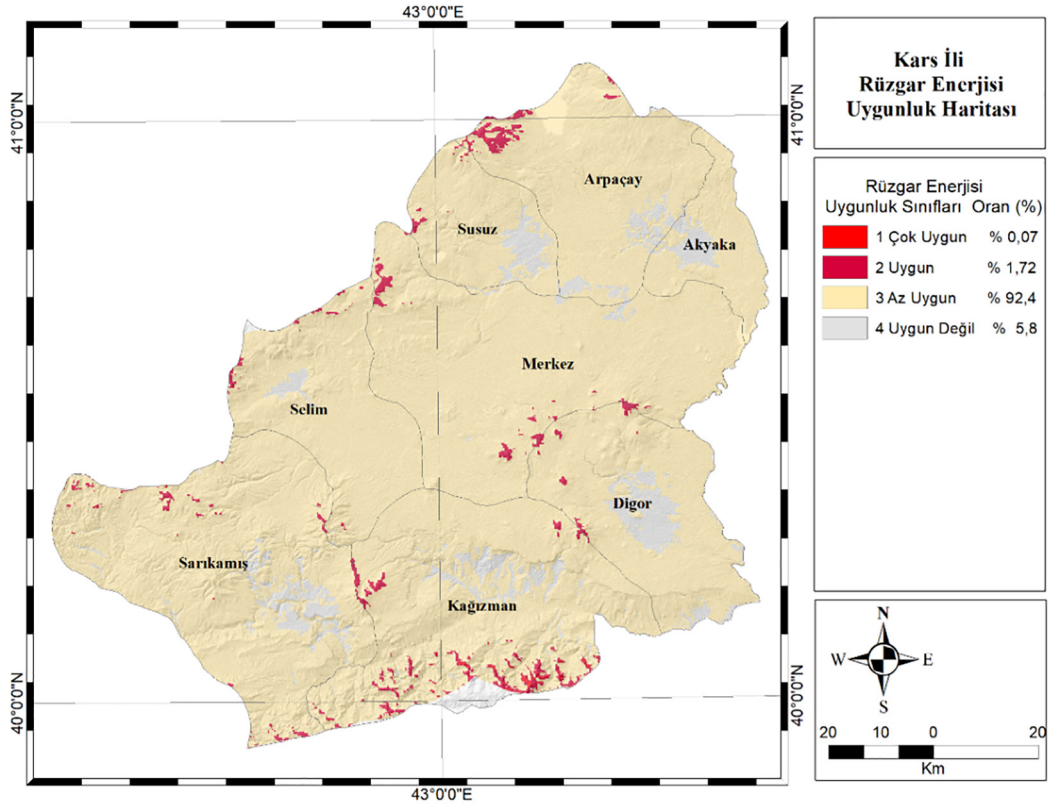
Table 5. Weights Obtained Based on Pairwise Comparisons for Research Criteria.

Sıra	Kriter	Öncelik Ağırlığı	Sıralama
1	Rüzgâr Hızı	% 30.4	2
2	Rüzgâr Güç Yoğunluğu	% 38.6	1
3	Arazi Eğimi	% 3.3	7
4	Yer Şekli	% 5.5	5
5	Arazi Pürüzlülüğü	% 2.2	8
6	Arazi Örtüsü ve Kullanım Durumu	% 5.4	6
7	Enerji İletim Hatlarına Mesafe	% 8.4	3
8	Karayolu Ulaşım Ağına Mesafe	% 6.2	4

6.Tartışma

Kars ilinde rüzgâr enerjisi santrali kurulumuna uygun potansiyel taşıyan arazilerin belirlenmesine yönelik olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada Global Wind Atlas kaynağından elde edilerek kullanılan rüzgâr hızı ve rüzgâr güç yoğunluğu verilerinin hücresel çözünürlüğü ve hassasiyeti çok yüksek değildir. Buna rağmen bu veriler kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanmış hassasiyeti daha yüksek verilere dayalı Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) analiz sonuçları büyük oranda örtüşmekte olup bu durum araştırmanın güvenilirlik ve geçerliliğini doğrulamaktadır.

Araştırmanın ana amacı doğrultusunda literatür çalışmaları ve araştırma sahasında uygulanmış projelerin sonuçları dikkate alınarak belirlenen ana kriterlerin ağırlıkları, ikili karşılaştırmalara dayalı olarak yapılan AHP analizi sonucunda hesaplanmıştır. Bu analizler sonucunda rüzgâr hızı ve rüzgâr güç yoğunluğu ana kriterlerinin ağırlığı, araştırma toplam kriter ağırlığının % 69'unu oluşturmakta olup bu kriter ağırlık dağılımına paralel olarak ildeki rüzgâr enerjisi üretim potansiyeli taşıyan alanlar rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu bakımından elverişli durumdaki ilin dağlık alanlarında toplanmıştır. Araştırmada kriterlerin ağırlıkları ve coğrafi dağılımı bakımından dengesiz ve tutarsız görünen bu duruma rağmen, ilde ve yakın çevresinde proje ve ÇED süreçleri devam eden rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulum yerlerinin bu araştırmada belirlenmiş alanlarla paralellik göstermesi, genel olarak araştırmada kullanılan AHP yönteminin ve elde edilen sonuçların güvenilirlik ve geçerliliğini doğrulamaktadır.



Şekil 12. Kars İli Rüzgâr Enerjisi Üretimi Uygunluk Haritası.

Figure 12. Kars Province Wind Energy Production Suitability Map.

7. Sonuç

Kars ilinde sadece rüzgâr kaynağı bakımından rüzgâr enerjisi santrali kurulumuna uygun potansiyel taşıyan araziler il yüzölçümünün % 2'sine denk gelen 183 km² alana sahip olup heterojen bir dağılım göstermektedir. Bu özellikteki arazilerin büyük kısmı ulaşım ve enerji nakil hatlarının seyrekleştiği ili güneyden sınırlandıran Aras güneyi dağları, ili batıdan sınırlandıran Allahuekber Dağları ve ilin merkezi kısmında yer alan Aladağ, Yağlıca, Tarhan ve Dumanlıdağ volkanik konileri üzerinde bulunmaktadır. Bu durum RES kurulumu için gerekli olan diğer kriterlerle de büyük oranda uyuşmamasına rağmen bu alanlarda ekonomik getiri potansiyelinin yüksek olması yatırımlar için yine de cazibe oluşturmaktadır. Nitekim Kars ili, Aladağ, Gümüştepe alanında 20 MWe üretim kapasitesine sahip olacak bir rüzgâr enerjisi santralinin kurulum çalışmaları devam etmekte olup bu durumu pratik olarak teyit etmektedir.

Kars ili geneli ortalama yıllık rüzgâr hızı 4,71 m/s olup Rüzgârdan verimli ve ekonomik bir üretim yapılabilmesi için gerekli olan 7 m/s'nin altındadır. Bu durum nedeniyle Kars ilinde belirlenmiş alanlar dışında rüzgâr enerjisi üretimi amacıyla kurulacak santrallerin verimliliğinin düşük ve fazla ekonomik olmayacağı anlaşılmaktadır.

Kars ilinde rüzgâr enerjisi santrali kurulumuna uygun potansiyel taşıyan arazilerin tamamen yakını yerleşim, doğa koruma, tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin sürdürüldüğü alanlardan oldukça uzaktaki seyrek bitkili, çıplak arazilere denk gelmektedir. Bu durum, rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulumunu teknik ve yasal bakımdan da kolaylaştırmakta olup yatırımlar için de cazibe oluşturmaktadır.

Kars ilinde elektrik enerjisi nakil hatları oldukça homojen ve yoğun bir dağılım göstermektedir. Bu durum nedeniyle Kars ilinde yapılacak rüzgâr enerjisi santrallerinin yer seçiminde enerji nakil hatlarının dağılımı bir kısıtlama oluşturmamaktadır.

Kars ilinin büyük kısmının düz ve düze yakın plato sahasında yer alması nedeniyle çevresindeki komşu illere nispetle genel olarak oldukça yaygın bir karayolu ağı bulunmaktadır. Bu karayolu ağının nitelikleri son yıllarda yapılan çalışmalarla belirli bir standardın üzerine çıkarılmış olup bu durum gerek rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulum sürecinde gerekse işletme döneminde lojistik bakımdan avantaj oluşturmaktadır.

Çıkar Çatışması – Conflict of Interest : Yazar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bildirilmemiştir. *No potential conflict of interest was reported by the author.*

Veri erişebilirliği/Data availability : Arazi kullanım türü verileri için Çevresel Bilginin Koordinasyonu (CORINE) envanterinden <https://land.copernicus.eu/paneuropean/CORINE-land-cover> bağlantısı ile yararlanılmıştır. Araştırma sahası konum verileri için Google Maps envanterinden <https://www.google.com/maps> bağlantısı ile yararlanılmıştır. Araştırma sahası konum verileri için OpenStreetMap envanterinden <https://www.openstreetmap.org/#map=9/40.4908/42.6736> bağlantısı ile yararlanılmıştır. *For land use type data, the Coordination of Environmental Information (CORINE) inventory <https://land.copernicus.eu/paneuropean/CORINE-land-cover> was used with its connection. For the research area location data, Google Maps inventory was used with the link <https://www.google.com/maps>. From OpenStreetMap inventory for research site location data it was used with the link <https://www.openstreetmap.org/#map=9/40.4908/42.6736>.*

Kaynakça

- ASF (2022 Temmuz 7). *Alos Palsar Maps of Kars Province [Veri seti]*. <https://doi.org/10.5067/NXY378J3DFZQ>
- Can, G., & Yücel, M. A. (2019, Nisan 25-27). *Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak rüzgâr enerji santralleri için yer tespiti [Konferans Sunumu]*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Ankara, Türkiye.
- Charabi, Y., & Gastli, A. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36 (9), 2554-2561. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.037>
- CORINE, COPERNICUS Land Monitoring Service (2022, Temmuz 9). *CORINE, COPERNICUS land use land cover maps [Veri seti]*. <https://land.copernicus.eu/paneuropean/CORINE-land-cover>
- Demir, M. (2013). *Kars kent coğrafyası*. (Yayın no: 326848) [Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi], Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.
- Demir, M. (2015). Kars ilinin nüfus gelişimi ve başlıca demografik özellikleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 20(34), 127-156. <https://doi.org/10.17295/dcd.76933>
- Demir, M. (2021). CORINE sistemine göre Kars ilinde arazi örtüsü/ arazi kullanımı, değişimi ve projeksiyonu. *Coğrafya Dergisi*, (43), 93-110. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2021-887753>
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2020). *Gümüştepe rüzgâr enerji santrali, ni-hai ÇED raporu* (Yayın No. 24840). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2020). *İpektepe rüzgâr enerji santrali, ni-hai ÇED raporu* (Yayın No. 24840). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (2021). *Meteorolojik veri-bilgi sunum ve satış sistemi*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. <https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Workspace>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022). *Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli atlası*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/KARS-REPA.pdf>
- Esmap. (2022 Temmuz 7). *Global Wind Atlas 2.0 [Veri seti]*. <https://globalwindatlas.info/download/turkey>
- Forman, Ernest H. Saul I. Gass (2001). "The analytical hierarchy process an exposition". *Operations Research*. 49 (4): 469-487. <https://doi.org/10.1287/opre.49.4.469.11231>
- Garni A., Hassan Z., & Awasthi A (2017) Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 1225-1240 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>
- Greene, R., Devillers, R., Luther, J. E., & Eddy, B. G. (2011). GIS-based multiple-criteria decision analysis. *Geography compass*, 5(6), 412-432. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2011.00431.x>
- Goepel, K.D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3) pp 469- 487. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- Googlemaps (2022, Temmuz 7). *Google Maps of Kars Province [Veri seti]*. <https://www.google.com/maps>
- Gouneres, D. (1982). *Wind power plants; theory and design*. Elsevier.
- Harita Genel Müdürlüğü (2021). *İl ve ilçe yüzölçümleri*. T.C. Millî Savunma Bakanlığı, Harita Genel Müdürlüğü. <https://www.harita.gov.tr/urun/il-ve-ilce-yuz-olcumlari/176>
- Juneja, P (2022, Temmuz 19). *What is Analytical Hierarchy Process (AHP) and How to Use it*. <https://www.managementstudyguide.com/analytical-hierarchy-process.htm>
- Kars İl Özel İdaresi (2021). *Faaliyet raporları Kars Valiliği, Kars İl Özel İdaresi*. <http://www.karsozelidare.gov.tr/kurumlar/karsozelidare.gov.tr/faaliyetler/2021-faaliyet-raporu-son2.pdf>
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2021). *Karayolu ağı*. T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Bolgeler/18Bolge/YolAgi.aspx>
- Koç, T. (1998). Ayvalık'ta rüzgâr enerjisi potansiyeli. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 1-18. <https://dergi-park.org.tr/tr/pub/baunsobed/issue/50357/652262>
- Köksalan, M. M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2011). *Multiple criteria decision making: from early history to the 21st century*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Köse, F., & Özgören, M. (2005). Rüzgâr enerjisi potansiyeli ölçümü ve rüzgâr türbini seçimi. *Mühendis ve Makina*, 46(551), 20-30.
- Lacroix, A., & Manwell, J. F. (2000). Wind energy: Cold weather issues. *Renewable Energy* (11), 1-17
- OpenStreetMap (2022, Temmuz 7). *OpenStreetMap of Kars Province map [Veri seti]*. <https://www.openstreetmap.org/#map=9/40.4908/42.6736>
- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. (2013). Rüzgâr Enerji Santrallerinin (RES) kuruluş yeri seçiminin CBS ile analizi: Hatay Örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 1-18. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/21531/230992>
- Pereira, J. M., & Duckstein, L. (1993). A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. *International journal of geographical Information science*, 7(5), 407-424. <https://doi.org/10.1080/02693799308901971>
- Saaty, T.L. (1980). *Analytic hierarchy process*. RWS Publications.
- Saaty T.L. (1990). "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process". *European Journal Of Operational Research*, 48(1), 9-26, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saaty, T.L. (1994) How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24(6), 19-43. <http://www.jstor.org/stable/25061950>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSci.2008.01759>
- Sánchez L, Henggeler, A., García, C., & Dias L. (2013). GIS-based photovoltaic solar farms site selection using Electre-Tri: evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. *Renew Energy* (66):478-494. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.038>
- Tavana, M., Soltanifar, M., & Santos-Arteaga, F. J. (2021). Analytical hierarchy process: Revolution and evolution. *Annals of Operations Research*, 1-29. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04432-2>
- Tarım ve Orman Bakanlığı (2005). *Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Yönetmelik* (Kanun Numarası: 5403 Sayı: 25880). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/12/20171209-3.htm>
- Uyan, M., (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/30878/334967>
- YEGM (2022). *Rüzgâr potansiyel atlası*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/36.aspx>
- Yolcan, O. O., & Köse. R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 196-215. <https://doi.org/10.34186/klujes.793471>