

DOI: 10.26650/JGEOG2023-1168805

COĞRAFYA DERGİSİ
JOURNAL OF GEOGRAPHY
2023, (46)

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


Kars İlinde Güneş Enerjisi Santrali Kurulum Potansiyeli Taşıyan Alanların, CBS Analizleri ve AHP Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi

Determination of Areas with Solar Power Plant Installation Potential in Kars Province by Using GIS Analysis and AHP Method

Mucip DEMİR¹ 

¹Doç. Dr., Kafkas Üniversitesi Dede Korkut Eğitim Fakültesi Sosyal Bilimler ve Türkçe Eğitimi Bölümü, Coğrafya Öğretmenliği Ana Bilim Dalı, Kars, Türkiye

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

ÖZ

Güneş enerjisi üretecek panel ve santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesi, oldukça karmaşık ve analizi güç bir mekânsal karar alma problemi dizisidir. Bu problem dizisinin çözülmesi için son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarına da entegre edilmiş Çok Kriterli Karar verme yöntemleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmasıyla Kars ilinde güneş enerjisi üretim potansiyeli taşıyan alanların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Araştırmada Kars ilindeki güneş enerjisi üretim potansiyeli taşıyan alanların yer seçimine etki eden belirlenmiş kriterlerin analizlerinin yapılmasına yönelik olarak çeşitli açık kaynaklardan raster ve vector formatlı ham veriler elde edilerek işlenmiş araştırma amacına yönelik tematik haritalar oluşturulmuştur. Bu haritalardan AHP analizleriyle hesaplanan kriter ağırlıkları baz alınarak CBS ortamında Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulumu için potansiyel taşıyan uygun alanlar haritalanarak belirlenmiştir.

Araştırma sonucunda Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulumuna çok uygun ve uygun potansiyeli taşıyan 54,581 km² alan tespit edilmiş olup bu araziler toplam 10,193 km² yüzölçümüne sahip il yüzölçümünün % 55'ini oluşturmaktadır. Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulumuna uygun potansiyel taşıyan araziler homojen bir dağılım göstermekte olup bu özellikteki arazilerin büyük kısmı Kağızman ilçesi sınırları dâhilindeki Aras vadisinde bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kars, Güneş Enerjisi, Yenilenebilir Enerji, AHP

ABSTRACT

Determining where to install solar panels and power plants is a very complex and difficult to analyze spatial decision-making problem series. In order to solve this series of problems, Multi-Criteria Decision-Making methods integrated into Geographic Information Systems software have been preferred in recent years.

This study aims to determine the areas with solar energy production potential in the Kars province. In the research, thematic maps were created for the purpose of processed research by obtaining data from various open sources in order to analyze the determined criteria that affect the location selection of areas with solar energy production potential. Based on the criteria weights calculated by AHP analysis from these maps, suitable areas with potential for solar power plant installation in the province of Kars were mapped in the GIS environment.

As a result of the research, an area of 54,581 km², which is very suitable and suitable for solar power plant installation in Kars province, has been determined and these lands constitute 55 % of the province's surface area with a total surface area of 10,193 km². The lands with potential for solar power plant installation in the Kars province show a homogeneous distribution.

Keywords: Kars, Solar Energy, Renewable Energy, Analytic Hierarchy Process (AHP)

Başvuru/Submitted: 31.08.2022 • **Revizyon Talebi/Revision Requested:** 21.12.2022 • **Son Revizyon/Last Revision Received:** 27.12.2022 •

Kabul/Accepted: 07.01.2022



Sorumlu yazar/Corresponding author: Mucip DEMİR / mucipdemir@hotmail.com

Atıf/Citation: Demir, M. (2023). Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulum potansiyeli taşıyan alanların, CBS analizleri ve AHP yöntemi kullanılarak belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, 46, 93-109. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2023-1168805>



EXTENDED ABSTRACT

Determining where to install solar panels and power plants is a very complex and difficult to analyze spatial decision-making problem series. In order to solve this series of problems, Multi-Criteria Decision-Making methods integrated into Geographic Information Systems software have been preferred in recent years.

In the research, raster and vector format raw data were obtained from various open sources for the AHP analysis of the determined criteria that affect the location selection of areas with solar energy production potential in Kars province. Based on the results, the potential areas for solar energy installation in the Kars province were determined in the GIS environment.

In line with the main purpose of the research, seven main criteria were determined by considering the literature studies and the results of the projects implemented in the research field. A preliminary decision questionnaire was created by using an importance scale with values ranging from 1 to 9, suggested by Saaty for AHP analysis based on binary mixing among the determined criteria. This decision questionnaire was submitted to the scoring of three expert decision makers who carried out implementation projects in the field, and the final decision weight questionnaire was created by taking the averages of the results obtained. By applying this questionnaire on the interactive software developed by Goepel, a pairwise comparison matrix was created and thus the weights of the research criteria were determined.

The consistency rate of the criteria considered for the study was calculated as $CR = 0,061$ and the (CR) baseline for such studies is below the 0,1 limit value. This shows that the research is appropriate in terms of reliability and pairwise comparisons are acceptable. As a result of the pairwise comparison matrix, it was determined that the Land Cover and Use Condition criterion had the highest weight with 35.3 % and the temperature criterion with the lowest weight with 2.4 % for Kars province.

According to the results, an area of 54,581 km² is very suitable for solar power plant installation in the Kars province, and these lands constitute 55 % of the province's surface area with a total surface area of 10,193 km². Most of the provincial land is reserved for agriculture and animal husbandry activities. Although it consists of high class soils, the amount of areas where solar power plants can be established is significantly high due to the low slope of the land and the possibility of establishing facilities in meadow and pasture areas. 1048 km², constituting 10 % of the 9860 km² area, which has the potential for the establishment of solar power plants in the Kars province, is very suitable, 44.2 % of it is suitable 4480 km² of which 44.2 % is suitable, 4332 km² of which 42.8 % is less suitable, and 263 km² of which 2.7 % is unsuitable.

The lands that have the potential for solar power plant installation in the Kars province show a heterogeneous distribution, and most of the lands with this feature are located in the Aras valley within the borders of the Kağızman district, where the relatively sloping lands of the province are located and the energy transmission lines are concentrated.

Since there are 8 district centers and 383 village settlements in the Kars province and these settlements show a homogeneous distribution, energy transmission lines also show a very homogeneous and frequent distribution in accordance with this distribution. Due to this situation, the distribution of energy transmission lines does not constitute a restriction in the location selection of solar power plants to be built in Kars. 54,581 km², constituting 55 % of Kars province's surface area, has a very suitable and suitable potential for solar power plant installation. However, this potential is almost never used, since only autoproducer commercial enterprises are allowed to be produced by EIAS, except for residential roof applications.

According to the Soil Conservation and Land Use Law No. 5403, "for solar energy production; absolute agricultural lands, special crop lands, planted agricultural lands, irrigated agricultural lands, irrigated-dry I, II, III, IV. Class agricultural lands and the surrounding lands should not cover the areas that disrupt the integrity of agricultural use". The majority of the lands found to be suitable for GES installation in this research conducted for the province of Kars, taking this provision as a criterion; pastures, natural meadows, sparsely vegetated lands. Despite this, in these areas where livestock activities are carried out in the province, based on natural and economic realities, the installation of SPP is not very suitable. For this reason, it is thought that it would be more appropriate to continue the SPP production in the province with panels to be installed on the roofs of industrial facilities and residences.

1. GİRİŞ

Türkiye’de meydana gelen ekonomik ve sosyal gelişimin, enerji ihtiyacını, talebini ve üretimini arttırmasının etkisiyle 2021 yılı itibariyle elektrik üretimimiz içinde fosil kökenli kaynakların payı % 30,9’u kömür, % 33,2’si doğal gaz olmak üzere toplam % 64,1’e ulaşmıştır. Bu kaynakların büyük kısmı ithalat yoluyla tedarik edilip önemli oranda dış ticaret açığına sebep olup diğer yandan da çevreye zarar vermektedir. Bu olumsuzluklar nedeniyle devlet politikası olarak uzun yıllardan beri süregelen şekilde elektrik enerjisi üretiminde yerli ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmektedir. Bu teşvikler sonucunda 2021 yılı itibariyle ihtiyaç duyulan ve üretilen elektrik enerjisi içinde alternatif enerji türlerinin payı, % 10,9’u rüzgâr, % 8,5’i güneş, % 1,7’si jeotermal ve % 2,4’ü ise diğer kaynaklar olmak üzere toplam % 23.5’e ulaşmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Alternatif ve yerli enerji kaynaklarından güneş enerjisi bakımından, Türkiye orta kuşakta bulunması ve yılın büyük bölümünde güneşli ve açık hava koşullarına sahip olması nedeniyle çok önemli düzeyde üretim potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin kullanılması ve ülkenin artan enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak devlet tarafından sağlanan destek ve teşvikler sonucunda mevcut enerji kaynakları üretim ve tüketimi içinde güneş enerjisinin payı sürekli artarak % 8,5’e ulaşmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Güneş enerjisi üretiminin her bakımdan büyük önemine rağmen güneş enerjisi üretecek santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesine, etki eden çok fazla, farklı tercih unsuru ve kriteri bulunmaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisi üretecek panel ve santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesi, oldukça karmaşık ve analizi güç bir mekânsal karar alma problemi dizisi oluşturmaktadır. Bu problem dizisinin çözülmesi ve güneş enerjisi santrallerinin kurulacağı en optimum koşullara sahip alanların belirlenmesi için son yıllarda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri tercih edilmektedir (Garni, ve Awasthi, 2017, s.1227) Bu yöntemde, belirlenmiş bir hedefe yönelik, 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 çözümlenmeyi yaparak optimum sonuçlar elde edilebilmektedir (Köksalan, Wallenius, Zions, 2011, s 4).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) 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 (MCDM) yöntemlerinden CBS ile en fazla entegre edilmiş ve en fazla kullanılanları; Analytic hierarchy process (AHP), Weighted Linear Combination (WLC), The Technique For Order Of Preference By Similarity To İdeal Solution (TOPSIS), Grey Cumulative Prospect Theory, and Elimination and Choice Translating Reality’dir (Garni, ve Awasthi, 2017, s.1228). Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağı saha koşulları ve ulaşılması istenen hedeflerin ortaya çıkardığı problemlere göre belirlenmektedir.

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

1.1 Analytic Hierarchy Process (AHP), Nedir?

AHP, Saaty (1980) tarafından önerilen ÇKKV yöntemlerinden biri olup matematik ve psikolojiye dayalı karmaşık karar verme problemlerini organize etmek ve çözmek için yapılandırılmış bir tekniktir (Forman, vd., 2001. s, 472).

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, M., 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>i.</i> faktörün <i>j.</i> faktörden biraz daha önemli olması durumu,
5	<i>i.</i> faktörün <i>j.</i> faktörden fazla önemli olması durumu
7	<i>i.</i> faktörün <i>j.</i> faktöre göre çok güçlü bir öneme sahip olması durumu,
9	<i>i.</i> faktörün <i>j.</i> faktöre göre aşırı derecede önemli olması durumu,
2,4,6,8	Ara değerler.

Kaynak: Saaty, 1987; akt Uyan 2021 s.345

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. Tekrar tutarsızlık oranı hesaplanır ve hiyerarşik yapının tutarlılığı değerlendirilir

Adım 4. Kriterlerin yerel öncelikleri ve her bir kritere 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 kritere 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. (Tavana, M., vd. 2021).

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. (Prachi, 2021).

2. ARAŞTIRMA ALANININ KONUMU, SINIRLARI VE BAŞLICA ÖZELLİKLERİ

Araştırma alanını oluşturan Kars ili, Kuzeydoğu Anadolu'da yer almaktadır. İl; kuzeyde Ardahan, doğuda Ermenistan'ın Shirak yönetim bölümü, güneydoğuda Iğdır, güneyde Ağrı, batıda ise Erzurum İlleri idari alanları arasında 10.196 km² yüz ölçüme sahiptir (HGM, 2021).

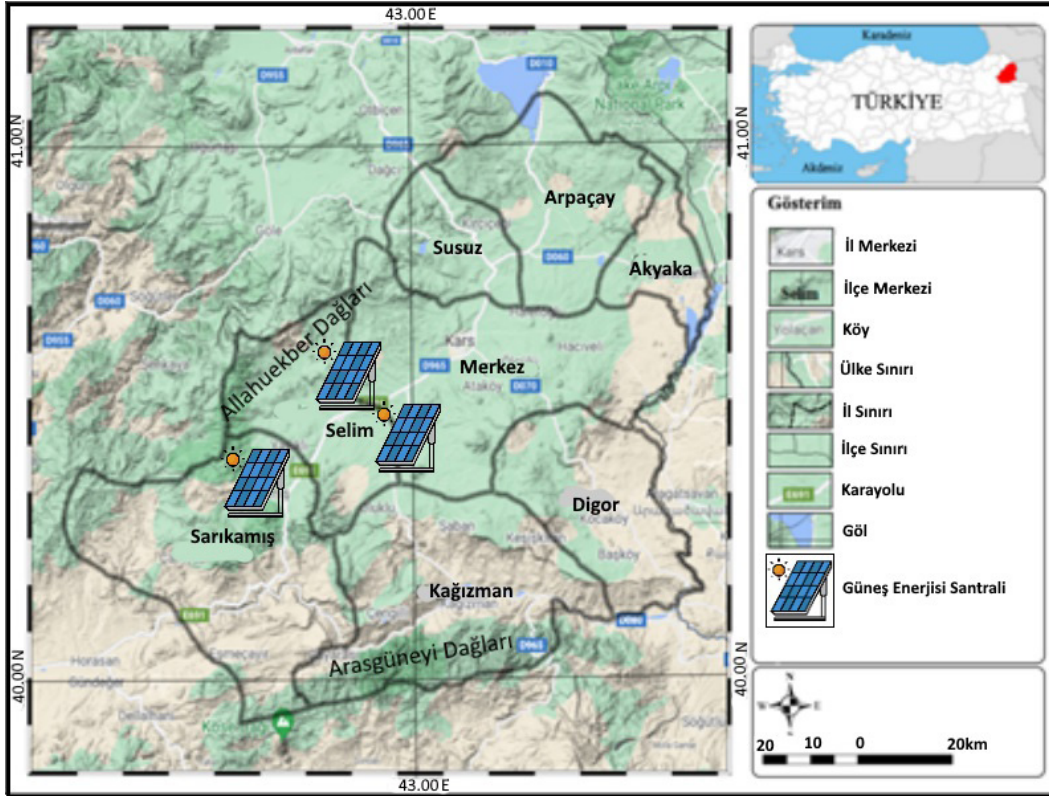
Kars ili idari alanındaki arazi 1971 metre ortalama irtifaya sahip olup büyük kısmı Kars platosu üzerinde bulunmaktadır. Buna rağmen Kars ili doğal ve beşeri özellikler bakımından; batı ve güneydeki dağlık alanlar, İlin merkezi kısmındaki bulunan yüksek plato sahası ve İlin güneyindeki Aras Vadisi olarak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

Kars ili, yüksek irtifa ortalamasına sahip olan arazisi ve karasal özelliklerin etkisiyle iklimik bakımdan sert karasal iklimin etkisinde bulunmaktadır. Bu nedenle beşeri ve ekonomik faaliyetler önemli oranda kısıtlanmış olup buna rağmen, il ekonomisi büyük oranda düşük verimli hayvancılık faaliyetlerine ve kamu istihdamına dayanmaktadır (Demir, 2015).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca Türkiye güneş enerjisi üretimine veri kaynağı oluşturması amacıyla hazırlanan, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, Kars ili genelinin ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1,472 kWh/m² olup Türkiye genelindeki 1527,46 kWh/m² ortalama değerinin altındadır (YEGM 2022). Buna rağmen Kars ilinde Selim ve Sarıkamış ilçeleri sınırları dâhilinde toplam 5,74 MWe güce sahip üç GES santrali üretim faaliyetlerine devam etmektedir (Şekil 1).

3. AMAÇ, VERİ ve YÖNTEM

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



Şekil 1: Kars İlinin Lokasyonu (www.mapsgoogle.com. verileri kullanılarak çizilmiştir).

Figure 1: Location of Kars Province

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

Araştırmada sırasıyla,

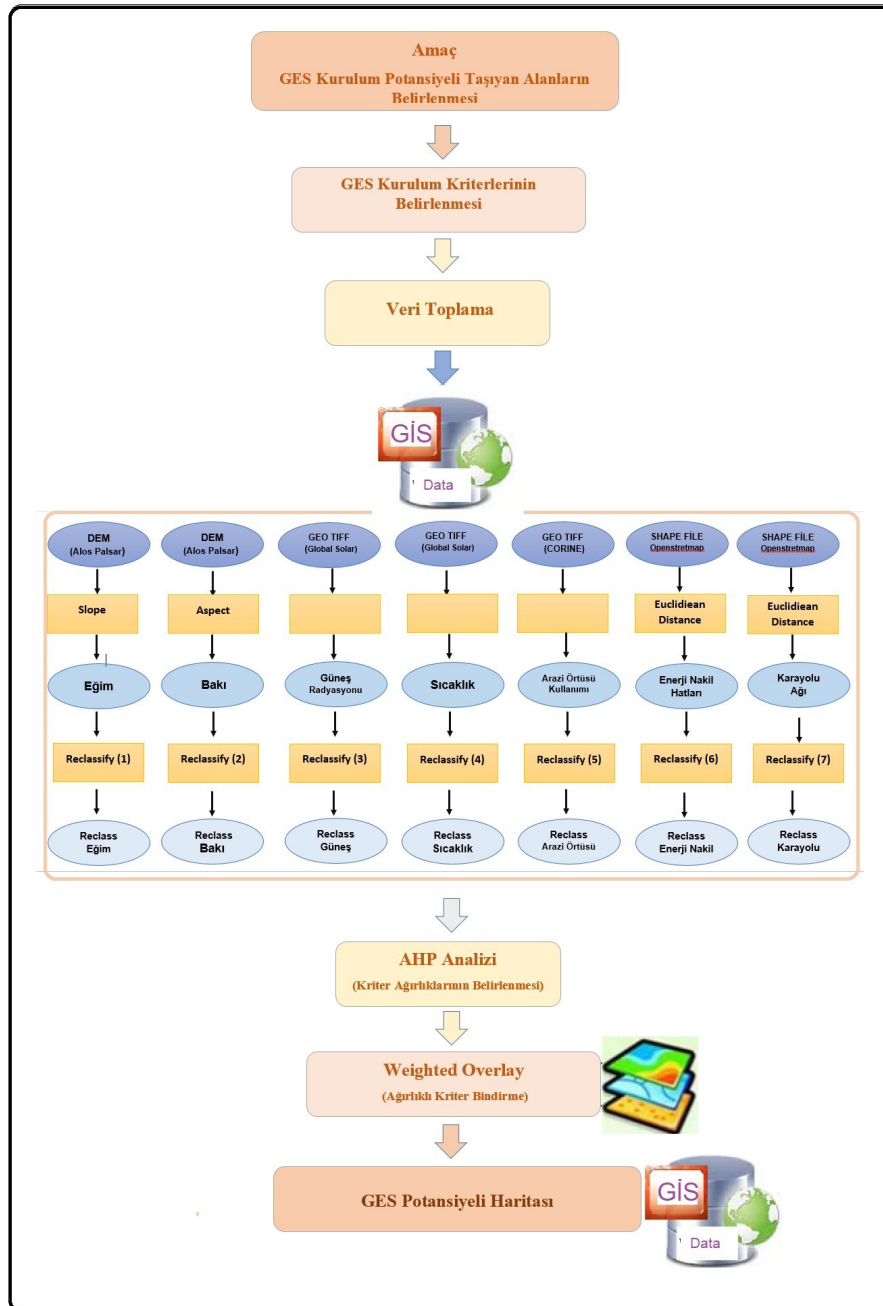
- Araştırmanın ana amacına uygun olarak birçok benzeri çalışmada da kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden (ÇKKV), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) modeli seçilmiştir.
- Araştırmanın ana amacı ve belirlenmiş AHP kriterlerinin analizine yönelik olarak çeşitli kaynaklardan raster ve vector formatlı ham veriler elde edilmiştir
- Araştırmada literatürde kabul gören araştırmalar ve çevre alanlarda uygulanmış projelerin sonuçları doğrultusunda kriterler belirlenmiştir
- Araştırmada kullanılacak raster ve vector formatlı ham veriler ARCGİS 10.5. yazılımı Data Management Tools

modülü kullanılarak Kars ili sınırlarına göre özelleştirilmiştir.

- Kars ili sınırlarına göre özelleştirilmiş raster ve vector veriler, ARCGİS 10.5. yazılımı Spatial Analyst Tools modülünde işlenecek; bakı, eğim, güneş radyasyonu, sıcaklık, arazi örtüş/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 ARCGİS 10.5. reclassify araç çubuğu kullanılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 2).
- Araştırmanın ana amacı doğrultusunda yapılacak AHP analizine yönelik olarak belirlenmiş kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisi, ve güvenilirlik CR değerleri, Goepel (2018) tarafından hazırlanmış online yazılım kullanılarak hesaplanmıştır.
- Araştırma probleminin çözülmesine yönelik olarak öncelik ağırlıkları belirlenen kriterler ARCGİS 10.5. yazılımı Spatial Analyst Tools modülündeki “Weighted Overlay” aracında birleştirilerek analize edilmiş, GES üretimi için uygun potansiyel alanlar mekânsal bakımdan belirlenerek haritalanmıştır (Şekil 2).

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

Kriter	Veri Seti	Dosya Tipi	Veri Yapısı	Veri Çöz.	Veri Kaynağı
Eğim	Alos Palsar DEM (12m resolution)	DEM	Raster	12.5 m	ASF
Güneş Radyasyonu	Global Solar Atlas, Turkey	GeoTiff	Raster	250→12 m	Global Solar
Sıcaklık	CORINE Arazi Örtüsü/Kullanımı	GeoTiff	Raster	30→12m	CORINE
Arazi Örtüsü/Kullanımı	Openstreetmap Turkey	GeoTiff	Raster	30→12m	Openstreetmap
Elektrik Enerjisi İletim Ağı	Openstreetmap Turkey	GeoTiff	Vektör	12.5 m	Openstreetmap
Karayolu Ulaşım Ağı	Openstreetmap Turkey	GeoTiff	Vektör	12.5 m	Openstreetmap



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

4. Araştırma Kriterleri

Araştırmada Kars ilindeki güneş enerjisi üretim potansiyelinin ve mekânsal dağılımının tespit edilmesine yönelik olarak literatürde kabul gören araştırmalar ve çevre alanlarda uygulanmış projelerin sonuçları doğrultusunda Güneş Radyasyonu Şiddeti, Sıcaklık, Eğim, Güneş Bakışı, Enerji İletim Ağı Karayolu Ulaşım Ağı, olmak üzere yedi kriter belirlenmiştir (Tablo 3).

Araştırmada;

- Güneş enerjisi santralleri kurulumuna ve üretimine anlamlı düzeyde etki etmediği değerlendirilen ve diğer kriterlerle dolaylı şekilde de olsa örtüşüp bu nedenle birçok çalışmada da dikkate alınmayan basınç ve rüzgâr gibi iklimatik unsurlar,
- Kars ili arazisinin uzun kış döneminde kar, kısa yaz döneminde ise çayır bitkileriyle örtülü olması nedeniyle güneş panellerinin üzerini örterek üretim verimliliğini etkileyen atmosferik toz polüsyonu düşük düzeyde olup atmosferik toz unsuru verileri,
- Kars ilinin büyük kısmının kalın bir volkanik örtüyle kaplı bulunması ve jeolojik durumun il genelinde güneş enerjisi santrallerinin kurulum yeri seçimi üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturmadığı değerlendirilmesi nedeniyle jeolojik kriter faktörü ve haritası,
- Kars ilinin büyük kısmının 1971 metre ortalama irtifaya sahip Kars platosu üzerinde yer alması ve önemli irtifa farklılıklarının bulunmamasının güneş enerjisi santrallerinin kurulum yeri seçimi üzerinde anlamlı düzeyde farklılık oluşturmaması nedeniyle irtifa uygunluk verileri ve haritası,
- Kars ili genelinin morfolojik bakımdan tekdüze bir görüntüye sahip olmasının yanı sıra arazi pürüzlülüğünün de güneş enerjisi santrallerinin kurulum yeri seçimi üzerinde anlamlı düzeyde etkisinin bulunmadığı değerlendirildiği için yer şekilleri ve arazi pürüzlülüğü verileri ve haritaları, ana kriterler arasına alınamamış ve araştırma kapsamı dışında tutulmuştur.

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

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

Kriter	Kriter Faktörleri	Ağırlık Derecesi	Ağırlık Sınıfı
Eğim	0-4	1	Çok Uygun
	4-10	2	Uygun
	10-14	3	Az Uygun
	14+	4	Uygun Değil
Bakı	Düz, Güney, Güneybatı	1	Çok Uygun
	Batı	2	Uygun
	Doğu, Güneydoğu, Kuzeybatı	3	Az Uygun
	Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzey	4	Uygun Değil
Güneş Radyasyonu	1230 – 1516 kWh/m ²	4	Uygun Değil
	1516 – 1599 kWh/m ²	3	Az Uygun
	1599 – 1633 kWh/m ²	2	Uygun
	1633 – 1698 kWh/m ²	1	Çok Uygun
Sıcaklık	-2,29 - 0,5 °C	4	Uygun Değil
	0,5 - 3,2 °C	3	Çok Uygun
	3,2 - 5,5°C	2	Uygun
	5,5 - 11,7°C	1	Az Uygun
Arazi Kullanımı	Meralar, Doğal Çayırliklar, Seyrek Bitki	1	Çok Uygun
	Bitki Değişim Alanları, Çıplak Kayalıklar	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
	3000 m+	4	Uygun Değil

- 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.

4.1. Güneş Radyasyonu Şiddeti

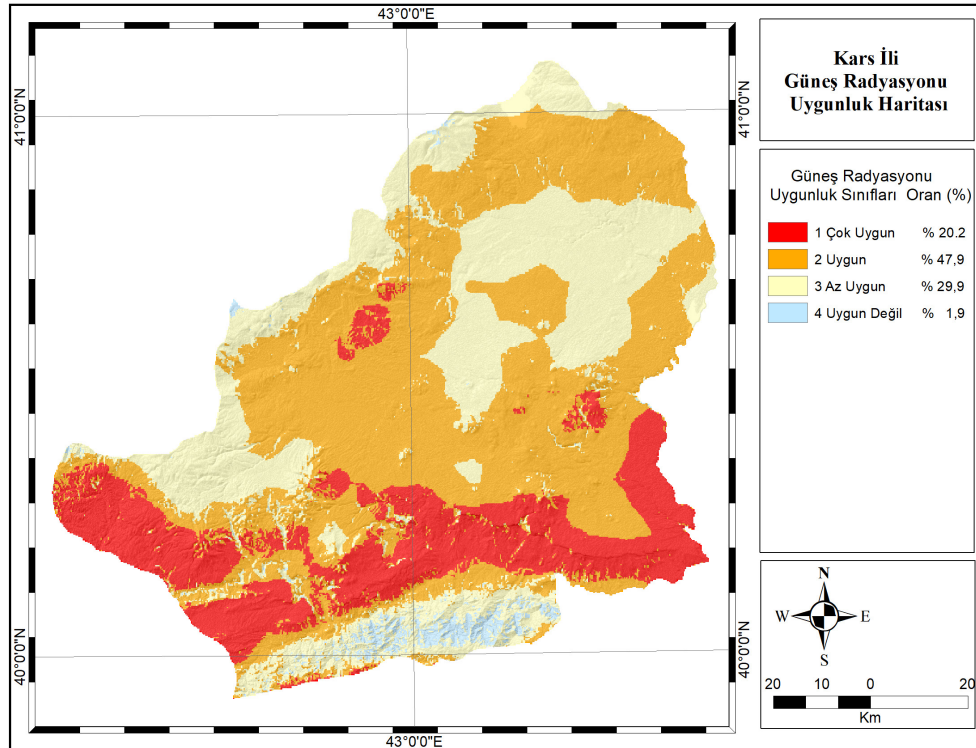
Güneş enerjisi santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesinde kullanılacak en önemli iklimatik parametrelerden biri Güneş Işınım Şiddetidir. YEGM mevzuatına göre verimli bir güneş enerjisi santralının tesis edileceği alanın 1500 kWh/m² üzerinde güneş ışınım değerine sahip olması önerilmektedir. (Ayday, vd. 2017, s,514). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, Kars İli genelinin ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1,472 kWh/m² olup Türkiye genelindeki 1527,46 kWh/m² olan aylık ortalama ışınım değerinin altındadır (YEGM, 2022). Kars illinin 40- 41 kuzey enlemleri arasında bulunması ve iklimatik bakımdan önemli farklılık taşımaması nedeniyle il genelinde güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu şiddeti dağılımı bakımından da anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır (Şekil 3). Buna rağmen İl idari alanının güneyinde yer alan Aras Vadisinin güneye bakan dik yamaçlarında güneş radyasyonu şiddeti 1600 kWh/m²'a ulaşırken Arasgüneyi Dağlarında bu değer 1200 kWh/

m² civarına düşebilmektedir (YEGM, 2022).

Araştırmada güneş radyasyonu, kriteri, literatürdeki ve çevre alanlarda uygulanmış GES projelerinin sonuçları ve uzman görüşleri dikkate alınarak dört alt kritere bölünmüştür. Bu kapsamda İl arazilerinin % 20,2'sini oluşturan 2060 km²'si 1633 – 1698 kWh/m² arasında "1" ağırlık dereceli çok uygun, % 48'ini oluşturan 4900 km²'si 1599 – 1633 kWh/m² arasında ışınım değerine sahip "2" ağırlık dereceli uygun, sınıfına alınmıştır (Tablo 3), (Şekil 3).

4.2. Sıcaklık

Güneş enerjisi santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesinde kullanılacak en önemli iklimatik parametrelerden biri de hava sıcaklığının yıl içindeki dağılışıdır. Güneş enerjisi santrallerinin kurulmasına yönelik yapılmış araştırmalar çok düşük ve yüksek sıcaklıkların güneş enerjisi panellerinin üretim verimini olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Nitekim Kereush ve Perovych, (2017), tarafından yapılan bir araştırmada güneş enerjisi panellerinin elektrik üretimi için optimum sıcaklıkların günlük 10°C civarında olmasının uygun, 25°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise hücre sıcaklığındaki her 1°C'lik artış için üretilen enerji miktarının yaklaşık % 0,4 - % 0,5 oranında azaldığını göstermiştir.



Şekil 3: Kars İli Güneş Radyasyonu Uygunluk Haritası.
Figure 3: Kars Province Solar Radiation Suitability Map.

Kars ilinin büyük kısmının yüksek irtifalı Kars platosu üzerinde bulunması nedeniyle sıcaklık genel olarak homojen dağılmaktadır. Buna rağmen ili kuzeybatıdan ve güneyden çevreleyen yüksek dağlık alanlarda günlük sıcaklık ortalaması 0°C ve altında seyrederken, İlin güneyinde irtifa düşük Aras Vadisinde sıcaklık ortalaması 12°C civarındadır (DMİGM, 2021).

Araştırmada, sıcaklık kriteri literatürdeki ve çevre alanlarda uygulanmış GES projelerinin sonuçları ve uzman görüşleri dikkate alınarak dört alt kritere bölünmüştür. Bu kapsamda İl arazilerinin % 49'unu oluşturan 4,997 km²'si 5,5 - 11,7 °C arası sıcaklığa sahip "1" ağırlık dereceli çok uygun, % 34'ünü oluşturan 3,425 km²'si 3,2 - 5,5 °C arası sıcaklığa sahip "2" ağırlık dereceli uygun, sınıfına alınmıştır (Tablo 3), (Şekil 4).

4.3. Güneş Bakısı

Bakı, genel olarak bir arazinin güneşe bakış yönü olup güneşlenme süresini de etkiler Türkiye'nin bulunduğu kuzey yarımküredeki arazilerde güneş bakısı güney yönlüdür. Buna rağmen en çok güneş alınan yön, mevsime ve enleme göre de değişmektedir. Türkiye'de güneşin kış mevsiminde güneydoğudan doğup güneybatıdan batması ve gündüz süresinin kısa olması nedeniyle verimli güneş bakısı güney, güneybatı yönlü iken yaz mevsiminde ise güneşin kuzeydoğudan doğup kuzeybatıdan batması ve gündüz süresinin uzaması nedeniyle verimli güneş

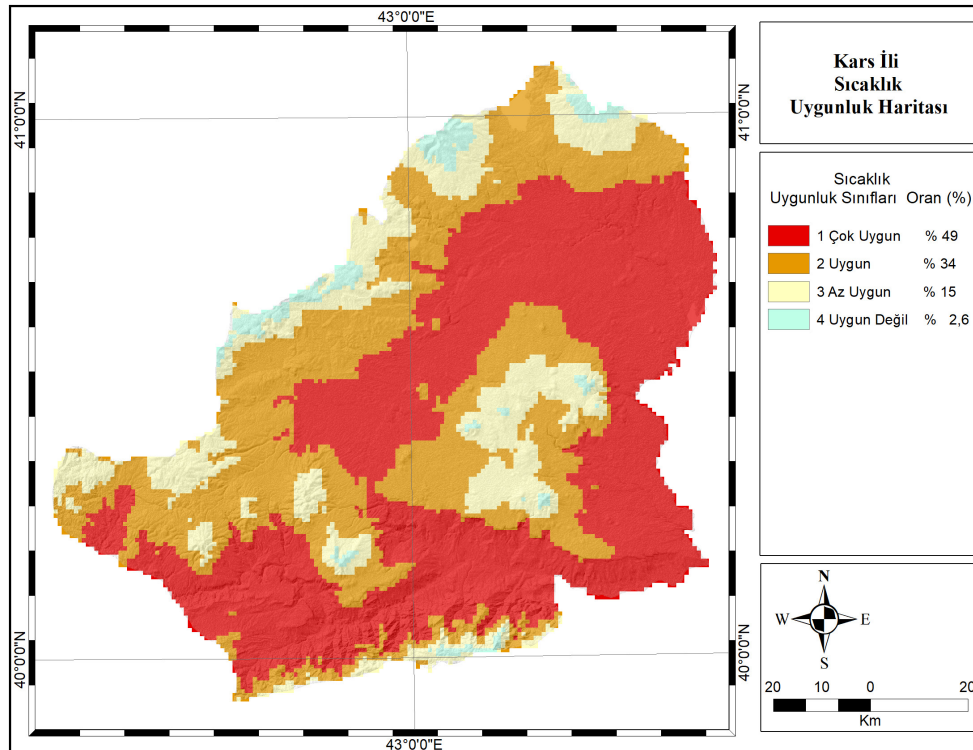
bakısı güneydoğu, güney ve güneybatı yönlüdür (DMGM, 2020).

Kars ilinde güneş enerjisi santrallerinin kurulmasına güneş bakısı bakımından en uygun olabilecek güney yönlü arazilerin büyük kısmı düşük eğimli plato sahasında bulunmaktadır. İl genelinde güneş bakısı bakımından en elverişsiz olabilecek kuzey yönlü araziler ise Aras Vadisinin güneyinde doğu batı yönünde uzanan Aras Güneyi Dağlarının kuzeye bakan yamaçlarının yanı sıra ilin plato sahasındaki volkanik konilerin kuzeye bakan yamaçlarıdır.

Araştırmada güneş bakısı kriteri literatürdeki ve çevre alanlarda uygulanmış GES projelerinin sonuçları ve uzman görüşleri dikkate alınarak dört alt kritere bölünmüştür. Bu kapsamda İlin % 27,6'sını oluşturan 2819 km²'si düz, güney, güneybatı yönlü "1" ağırlık dereceli çok uygun, % 9,5'ini oluşturan 968 km²'si ise batı yönlü "2" ağırlık dereceli uygun, uygun sınıfına alınmıştır (Tablo 3), (Şekil 5).

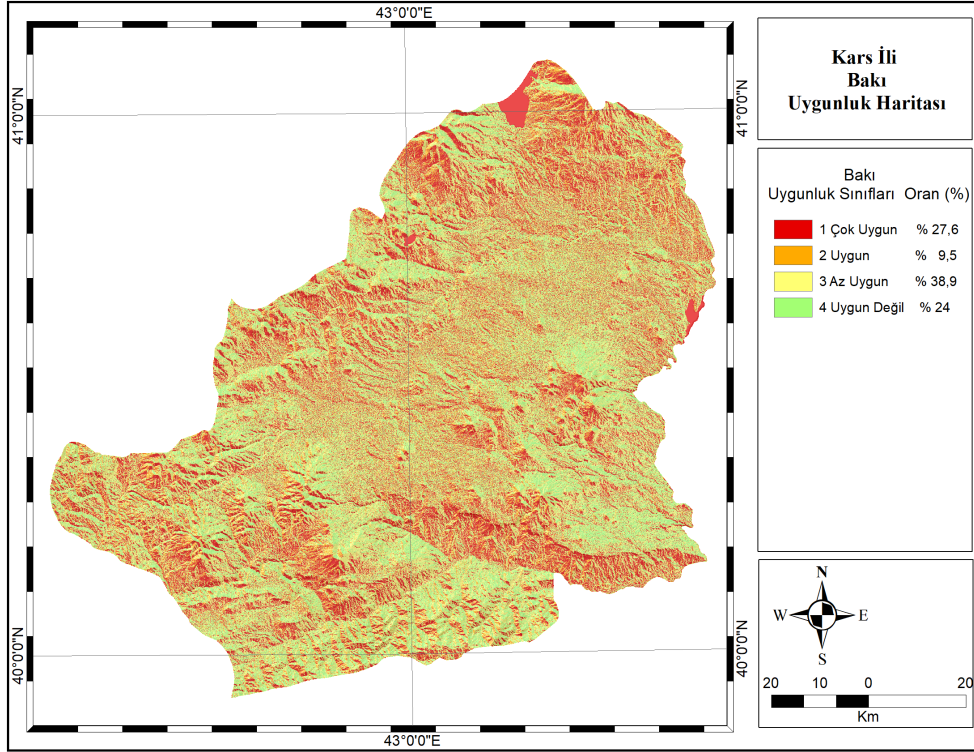
4.4. Arazi Eğimi

Güneş enerjisi santrali kurulabilecek arazilerin eğimi konusunda kesin bir tanımlama bulunmamakla beraber 1-15° arası araziler genellikle uygun kabul edilmektedir (Brewer vd. 2015, s.829). Arazi eğimin artması GES tesis inşaatlarını ve güneş panellerin optimum açısını ayarlayabilmeyi zorlaştırıp üretim maliyetini arttırırken eğimli yamaçlar üzerinde

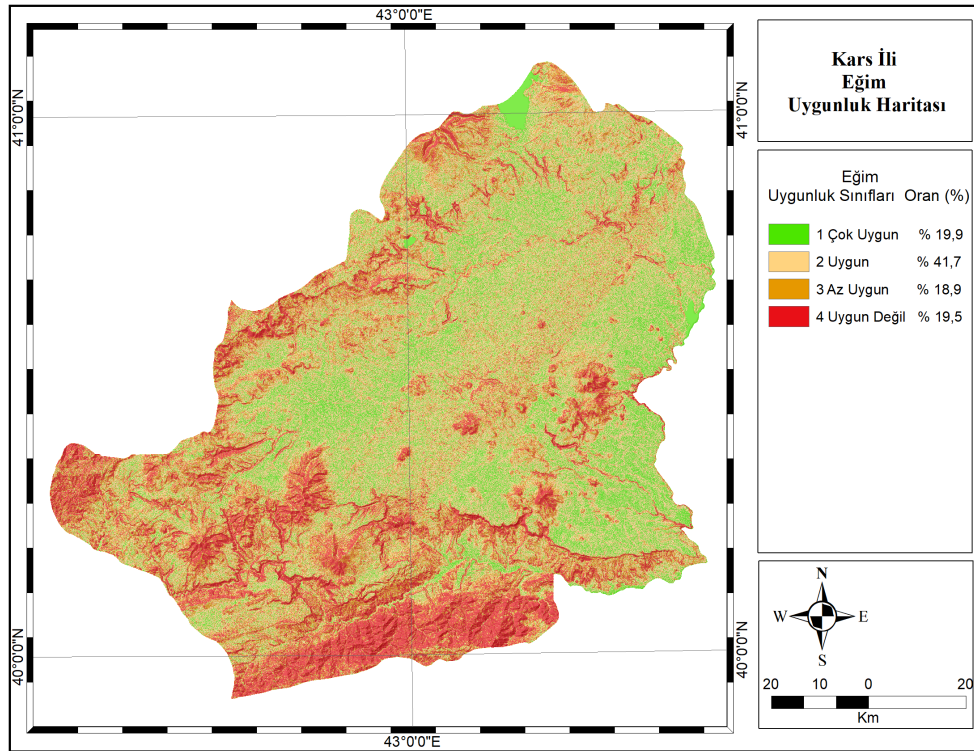


Şekil 4: Kars İli Sıcaklık Uygunluk Haritası.

Figure 4: Kars Province Temperature Suitability Map



Şekil 5: Kars İli Güneş Bakısı Uygunluk Haritası
Figure 5: Kars Province Sun Aspect Suitability Map



Şekil 6: Kars İli Eğim Uygunluk Haritası
Figure 6: Kars Province Slope Suitability Map

oluşabilecek toprak erozyonu ise GES tesis unsurlarının statik yapısını bozarak tesisi işlemez hale getirerek işletme maliyetleri arttırıp ekonomik karlılığı düşürebilmektedir. (Yolcan ve Köse. 2020).

Kars ilinin % 79'u güneş enerjisi santralleri için inşaat, maliyet ve işletme bakımından uygun özellik taşıyan 1-15° arası eğimli arazilerden oluşmakta olup bu özellikteki arazilerin büyük kısmı Kars Platosu üzerinde bulunmaktadır (**Şekil 1**). Buna rağmen İlde, bu özellikteki arazilerin 1. ve 2. Sınıf tarım topraklarından oluşması ve 5403 sayılı toprak koruma kanunu hükümlerine göre bu faaliyetleri dışında kullanımına izin verilmemesi nedeniyle bu topraklar üzerinde GES kurulumu uygunluk düzeyi düşüktür.

Araştırmada eğim kriteri, literatürdeki ve çevre alanlarda uygulanmış GES projelerinin sonuçları ve uzman görüşleri dikkate alınarak dört alt kritere bölünmüştür. Bu kapsamda Kars ilinin % 19,9'unu oluşturan 2030 km²'si 0-4° arası eğimli "1" ağırlık dereceli çok uygun arazilerden, % 41,7'ini oluşturan 4255 km²'si 4-10° arası eğimli "2" ağırlık dereceli uygun, sınıfına alınmıştır (**Şekil 6**), (**Tablo 3**).

4.5. Arazi Kullanım Durumu

5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanununda yer alan "Çatı uygulaması haricindeki güneş enerjisi üretim için; mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri, sulu tarım arazileri, sulu-kuru I, II, III, IV. sınıf tarım arazileri ve çevre arazilerde tarımsal kullanım bütünlüğünü bozan alanları kapsamaması gerekmektedir". hükmünce GES kurulumuna meralar, doğal çayırliklar, seyrek bitkili, çıplak kayalık ve kumluk sınıfındaki arazilerde izin verilmektedir (Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, 2005)

İlde GES kurulumuna uygun bu tür arazilerden seyrek bitkili alanlar, çıplak kayalık arazi eğimin arttığı bitki bakımından yoksun bulunan Aras güneyi dağları, Aras Vadisi yamaçları ve Allahuekber Dağları üzerinde, doğal çayırliklardan oluşan mera arazileri ise ilin plato sahasında yoğunlaşmaktadır.

Araştırmada arazi kullanım durumu kriteri literatürdeki araştırmalar ve çevre alanlarda uygulanmış GES projelerinin sonuçları dikkate alınarak dört alt kritere bölünmüştür. Bu kapsamda GES kurulumuna kanunen uygun görülen ve tesis izni verilen il arazilerin % 45,1'ini oluşturan meralar, doğal çayırliklar, seyrek bitkili araziler "1" ağırlık dereceli çok uygun, % 5,1'ini oluşturan çıplak kayalık araziler "2" ağırlık dereceli uygun, sınıfına alınmıştır (**Şekil 7**).

4.6. Elektrik Enerjisi İletim Ağı Mesafesi

Güneş enerjisi santrallerinin yer seçiminde en önemli faktörlerde birisi elektrik iletim hatlarının mesafesi ve konumudur. Güneş enerjisi santralleri ile elektrik enerjisi iletim ağı arasında mesafesinin mümkün olduğu kadar kısa olması gerektiğini göstermektedir. Elektrik iletim hatlarına fiziki mesafesinin kısa olması tesis inşaatının kolaylaşp yatırım maliyetinin düşmesine gerekse tesis işletme sürecinde elektrik iletimi sırasında meydana gelen iç şebeke kayıplarının azalmasına neden olmaktadır (Charabi ve Gastli, 2011; akt. Yolcan ve Köse. 2020).

Kars ilinde mevcut 8 ilçe merkezi 383 köy yerleşimi bulunması ve bu yerleşimlerin il geneline homojen bir dağılımı bulunması nedeniyle ilde enerji nakil hatları da bu dağılıma uygun olarak oldukça homojen ve sık bir dağılım göstermektedir. İlde enerji nakil hatları, nüfus ve yerleşimlerinin büyük kısmının bulunduğu plato düzlüklerinde yoğunlaşmaktadır (**Şekil 8**).

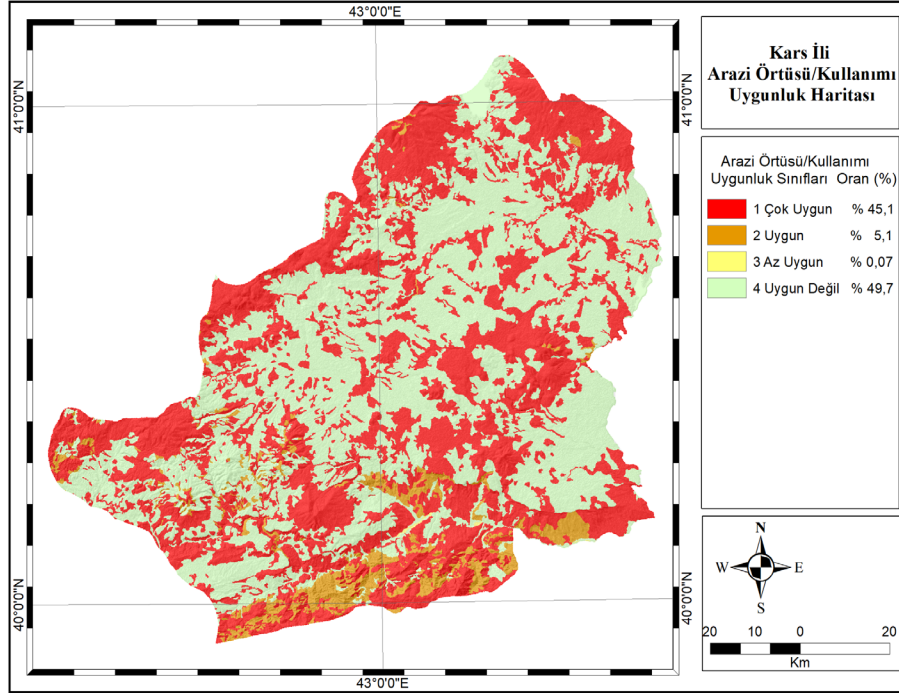
Araştırmada elektrik enerjisi iletim ağı mesafesi kriteri, literatürdeki araştırmalar ve çevre alanlarda uygulanmış GES projelerinin sonuçları dikkate alınarak dört alt kritere bölünmüştür. Bu kapsamda il arazisinin % 37,3'ünü oluşturan enerji nakil hatlarına 0-1000 metre mesafedeki araziler "1" ağırlık dereceli çok uygun, % 42,6'sını oluşturan 1001-2000 metre mesafedeki araziler "2" ağırlık dereceli uygun, sınıfına alınmıştır (**Şekil 8**). (**Tablo 3**).

4.7. Karayolu Ulaşım Ağı

Karayolu ulaşım ağının gelişmiş olması gerek güneş enerjisi santrallerinin tesis kurulum ve inşaat aşamasını kolaylaştırıp maliyetinin düşmesini sağlarken gerekse tesisin işletme aşamasında personel ve diğer lojistik ihtiyaçlarının kolayca karşılanarak sürdürülebilirliğinin sağlanması bakımından önemli bir yere sahiptir (Sánchez, vd. 2013 s.485).

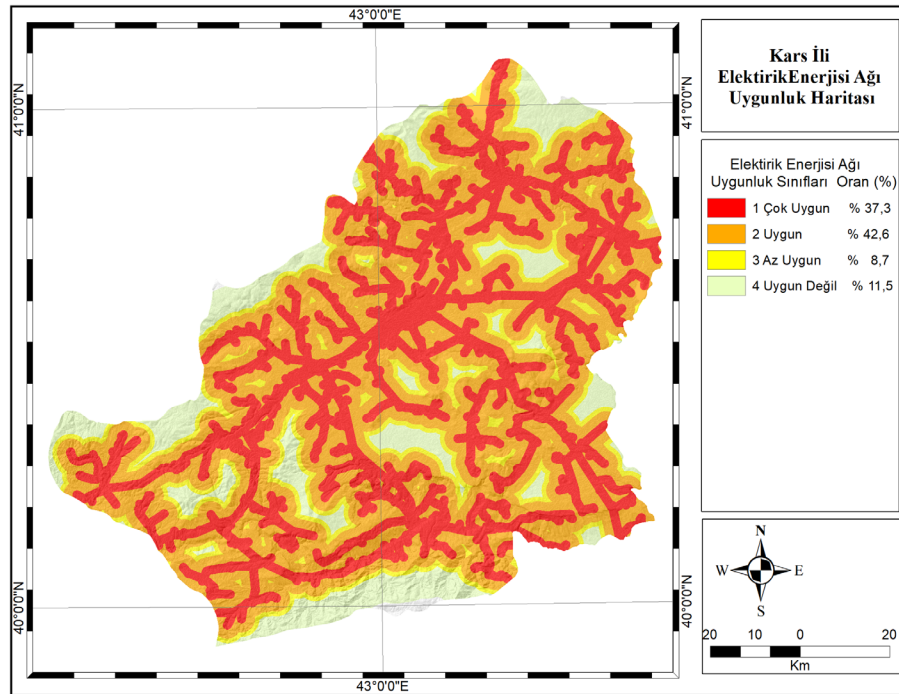
Tablo 4: Araştırma Kriterleri İçin, İkili Karşılaştırma Matrisi.
Table 4: Pairwise Comparison Matrix for Research Criteria.

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



Şekil 7: Kars İli CORİNE Arazi Örtüsü/Kullanımı Uygunluk Haritası (2018).

Figure 7: Kars Province CORINE Land Cover/Use Suitability Map (2018).

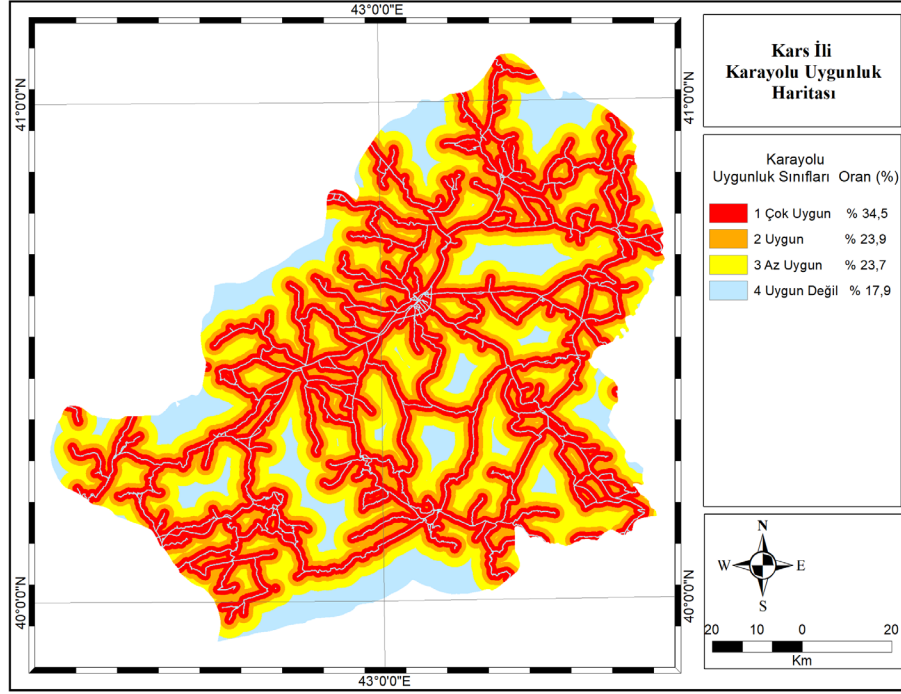


Şekil 8: Kars İli Elektrik Enerjisi İletim Hatları Ağı Uygunluk Haritası (2018).

Figure 8: Kars Province Electric Power Transmission Lines Network Suitability Map (2018).

Kars ilinin büyük kısmının düz ve düze yakın plato sahasında yer alması nedeniyle genel olarak oldukça yaygın bir karayolu ağı bulunmaktadır. Kars ilinde kara yolu ulaşımı bakımından en elverişsiz alanları Aras Güneyi Dağları ve Aras vadisi

Allahuekber dağlarıdır. İlin bu alanlarında eğim değerlerinin artması ve yerleşim sayısının azalmasına bağlı olarak karayolu ulaşım ağı seyrekleşmektedir (KGM, 2021; Kars İl Özel İdaresi 2021); (Şekil 9).



Şekil 9: Kars İli Karayolu Ağı Uygunluk Haritası (2018).

Figure 9: Kars Province Highway Network Suitability Map (2018).

Araştırmada karayolu ulaşım ağı mesafesi kriteri literatürdeki ve çevre alanlarda uygulanmış GES projelerinin sonuçları ve uzman görüşleri dikkate alınarak dört alt kriterle bölünmüştür. Bu kapsamda il arazilerinin % 58,4'ünü oluşturan, karayollarına 21-2000 metre mesafedeki araziler "1" ağırlık dereceli çok uygun ve "2" ağırlık dereceli uygun, % 17,9'unu oluşturan karayolları ve 20 metre çevreleri ile karayollarına 3000 metreden daha uzak mesafedeki araziler ise "4" ağırlık dereceli uygun değil, sınıfına alınmıştır (Tablo 3).

5. ANALİZ ve BULGULAR

5.1. Kriterlerin Analizi

Araştırmanın ana amacı doğrultusunda literatür çalışmaları ve araştırma sahasında uygulanmış projelerin sonuçları dikkate alınarak yedi 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 ölçüğü kullanılarak ön karar anketi oluşturulmuştur. Bu karar anketi sahada uygulama projeleri yürüten üç uzman karar vericinin puanlamasına sunulmuş, elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak nihai karar ağırlık anketi oluşturulmuştur (Şekil 10). Bu anket Goepel (2018) tarafından geliştirilen interaktif yazılımı üzerinde uygulanarak ikili karşıtımlar matrisi oluşturulmuş ve böylece araştırma kriterlerinin ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 5).

Araştırma için dikkate alınan kriterlerin tutarlılık oranı $CR = 0,061$ 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 % 35.3 ile Arazi Örtüsü ve Kullanım Durumu kriteri, en düşük ağırlığı ise % 2.4 ile sıcaklık kriterinin sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 5).

Daha önceden sınıflandırılmış ve ağırlıkları belirlenmiş kriterler, karar verme probleminin çözülmesine yönelik olarak ARCGIS 10.5. yazılımı Spatial Analiz modülündeki Weighted Overlay bindirme işlemiyle analiz edilerek Kars ilinde güneş enerjisi üretimi için uygun potansiyel alanlar mekânsal bakımdan belirlenmiştir.

5.2 Bulgular

Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulmasına çok uygun ve uygun potansiyeli taşıyan 54,581 km² alan bulunmakta olup bu araziler toplam 10,193 km² yüzölçümüne sahip il yüzölçümünün % 55'ini oluşturmaktadır (Şekil 11).

With respect to AHP priorities, which criterion is more important, and how much more on a scale 1 to 9?

A - wrt AHP priorities - or B?		Equal	How much more?
1 <input checked="" type="radio"/> Güneşlenme Şiddeti	<input type="radio"/> Sıcaklık	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 <input checked="" type="radio"/> 7 O 8 O 9
2 <input checked="" type="radio"/> Güneşlenme Şiddeti	<input type="radio"/> Arazi Eğimi	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 <input checked="" type="radio"/> 7 O 8 O 9
3 <input type="radio"/> Güneşlenme Şiddeti	<input checked="" type="radio"/> Güneş Bakışı Yönü	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 <input checked="" type="radio"/> 7 O 8 O 9
4 <input type="radio"/> Güneşlenme Şiddeti	<input checked="" type="radio"/> Arazi Örtüsü ve Kullanım Durumu	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 <input checked="" type="radio"/> 6 O 7 O 8 O 9
5 <input type="radio"/> Güneşlenme Şiddeti	<input checked="" type="radio"/> Enerji İletim Hatlarına Mesafe	O 1	<input checked="" type="radio"/> 2 O 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 O 9
6 <input checked="" type="radio"/> Güneşlenme Şiddeti	<input type="radio"/> Karayolu Ulaşım Ağı Mesafesi	O 1	<input checked="" type="radio"/> 2 O 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 O 9
7 <input type="radio"/> Sıcaklık	<input checked="" type="radio"/> Arazi Eğimi	<input checked="" type="radio"/> 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 O 9
8 <input type="radio"/> Sıcaklık	<input checked="" type="radio"/> Güneş Bakışı Yönü	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 <input checked="" type="radio"/> 7 O 8 O 9
9 <input type="radio"/> Sıcaklık	<input checked="" type="radio"/> Arazi Örtüsü ve Kullanım Durumu	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 <input checked="" type="radio"/> 9
10 <input type="radio"/> Sıcaklık	<input checked="" type="radio"/> Enerji İletim Hatlarına Mesafe	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 <input checked="" type="radio"/> 7 O 8 O 9
11 <input type="radio"/> Sıcaklık	<input checked="" type="radio"/> Karayolu Ulaşım Ağı Mesafesi	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 <input checked="" type="radio"/> 7 O 8 O 9
12 <input type="radio"/> Arazi Eğimi	<input checked="" type="radio"/> Güneş Bakışı Yönü	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 O 7 <input checked="" type="radio"/> 8 O 9
13 <input type="radio"/> Arazi Eğimi	<input checked="" type="radio"/> Arazi Örtüsü ve Kullanım Durumu	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 <input checked="" type="radio"/> 7 O 8 O 9
14 <input type="radio"/> Arazi Eğimi	<input checked="" type="radio"/> Enerji İletim Hatlarına Mesafe	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 <input checked="" type="radio"/> 7 O 8 O 9
15 <input type="radio"/> Arazi Eğimi	<input checked="" type="radio"/> Karayolu Ulaşım Ağı Mesafesi	O 1	O 2 O 3 O 4 O 5 <input checked="" type="radio"/> 6 O 7 O 8 O 9
16 <input checked="" type="radio"/> Güneş Bakışı Yönü	<input type="radio"/> Arazi Örtüsü ve Kullanım Durumu	<input checked="" type="radio"/> 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 O 9
17 <input checked="" type="radio"/> Güneş Bakışı Yönü	<input type="radio"/> Enerji İletim Hatlarına Mesafe	O 1	<input checked="" type="radio"/> 2 O 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 O 9
18 <input checked="" type="radio"/> Güneş Bakışı Yönü	<input type="radio"/> Karayolu Ulaşım Ağı Mesafesi	O 1	O 2 <input checked="" type="radio"/> 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 O 9
19 <input checked="" type="radio"/> Arazi Örtüsü ve Kullanım Durumu	<input type="radio"/> Enerji İletim Hatlarına Mesafe	<input checked="" type="radio"/> 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 O 9
20 <input checked="" type="radio"/> Arazi Örtüsü ve Kullanım Durumu	<input type="radio"/> Karayolu Ulaşım Ağı Mesafesi	O 1	O 2 <input checked="" type="radio"/> 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 O 9
21 <input type="radio"/> Enerji İletim Hatlarına Mesafe	<input checked="" type="radio"/> Karayolu Ulaşım Ağı Mesafesi	<input checked="" type="radio"/> 1	O 2 O 3 O 4 O 5 O 6 O 7 O 8 O 9

Şekil 10: İkili Karşılaştırma Modülü .

Figure 10: Binary Comparisons Module

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	Güneş Radyasyonu	7.5%	5
2	Sıcaklık	2.4%	7
3	Arazi Eğimi	3.5%	6
4	Güneş Bakışı	28.8%	2
5	Arazi Örtüsü ve Kullanım Durumu	35.3%	1
6	Enerji İletim Hatlarına Mesafe	12.6%	3
7	Karayolu Ulaşım Ağına Mesafe	9.9%	4

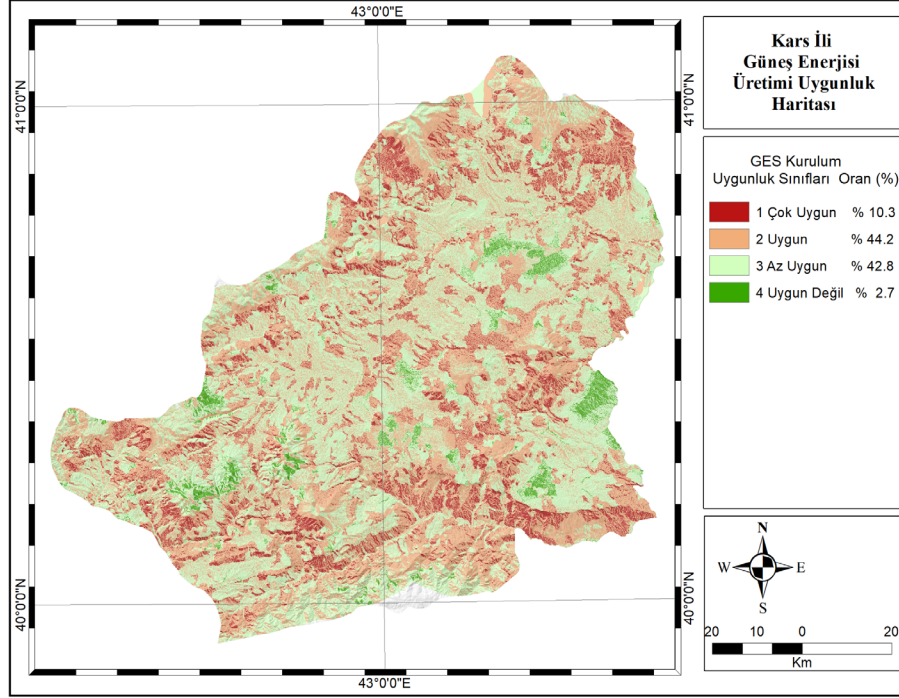
Kars İl arazisinin büyük kısmının tarım ve hayvancılık faaliyetleri için ayrılmış 1.2. sınıf topraklardan oluşmasına rağmen arazi eğiminin azlığı, çayır ve mera alanlarında da tesis kurulmasına izin verilebilmesi nedeniyle güneş enerjisi santrallerinin kurulabileceği alanların miktarı önemli oranda yüksek çıkmaktadır (Şekil 11).

Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulmasına uygun potansiyel taşıyan 9860 km² alanının % 10'unu oluşturan 1048 km²'si çok uygun, % 44,2'sini oluşturan 4480 km²'si uygun, % 42,8'ini oluşturan 4332 km²'si az uygun, % 2,7'sini oluşturan 263 km²'si ise uygun olmayan arazilerden oluşmaktadır (Şekil 11).

Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulmasına uygun potansiyel taşıyan araziler heterojen bir dağılım göstermekte olup bu özellikteki arazilerin büyük kısmı ilin nispeten eğimli arazilerinin yer aldığı ve enerji iletim hatlarının da yoğunlaştığı, Sarıkamış, Selim, Susuz Kağızman ve Arpaçay ilçelerinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 11).

5.3. Tartışma

Kars ilinde güneş enerjisi santrali (GES) kurulmasına uygun potansiyel taşıyan arazilerin belirlenmesine yönelik olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar ile il genelinde uygulama projeleri yapılarak halen faal olarak üretim halinde bulunan güneş enerjisi santrallerinin kurulum yerleriyle büyük oranda örtüşmektedir. Bu durum araştırmanın güvenilirlik ve geçerliliğini doğrulamaktadır.



Şekil 11: Kars İli Güneş Enerjisi Üretimi Uygunluk Haritası (2018).

Figure 11: Kars Province Photovoltaic Energy Production Suitability Map (2018).

Kars ilinde güneş enerjisi santrali (GES) kurulumuna uygun potansiyel taşıyan arazilerin belirlenmesine yönelik olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanmış Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) analiz sonuçları büyük oranda örtüşmektedir. Bu durum araştırmanın güvenilirlik ve geçerliliğini göstermektedir.

Araştırmada kullanılan güneş radyasyonu ve sıcaklık verileri Global Solar Atlas kaynağından elde edilmiş olup bu verilerin hüresel çözünürlüğü ve hassasiyeti diğer araştırma verilerine nispetle çok yüksek değildir. Buna rağmen bu veriler kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ile il genelinde faal haldeki güneş enerjisi santrallerinin kurulum yerleri ve 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 da araştırmanın güvenilirlik ve geçerliliğini göstermektedir.

Kars ilinde güneş enerjisi santrali (GES) kurulumuna uygun potansiyel taşıyan arazilerin belirlenmesine yönelik olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada literatür çalışmaları ve araştırma sahasında uygulanmış projelerin sonuçları dikkate alınarak belirlenen ana

kriterlerin ağırlıkları, ikili karıştırmalara dayalı olarak yapılan AHP analizi sonucunda hesaplanmıştır. Bu analizlerde güneş bakışı ve arazi örtüsü ve kullanım durumu ana kriterlerinin ağırlığı, araştırma toplam kriter ağırlığının % 64,1'ini oluşturmaktadır olup bu kriter ağırlık dağılımına paralel olarak ildeki güneş enerjisi üretim potansiyeli taşıyan alanlar güneş bakışı ve arazi örtüsü ve kullanımı bakımından elverişli durumdaki Sarıkamış, Selim, Susuz Kağızman ve Arpaçay ilçelerinin dağlık alanlarında yoğunlaşmaktadır. Araştırmada kullanılan kriterlerin ağırlıkları ve coğrafi dağılımı bakımından dengesiz ve tutarsız görünen bu duruma rağmen, ildeki güneş enerjisi santrallerinin kurulum yerlerinin bu araştırmada belirlenmiş alanlarla paralellik göstermesi, genel olarak araştırmada kullanılan AHP yönteminin ve elde edilen sonuçların güvenilirlik ve geçerliliğini göstermektedir.

6. SONUÇ

Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulumuna çok uygun ve uygun potansiyeli taşıyan 54,581 km² alan bulunmaktadır olup bu araziler toplam 10,193 km² yüzölçümüne sahip il yüzölçümünün % 55'ini oluşturmaktadır. Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulumuna uygun potansiyel taşıyan 9860 km² alanının % 10'unu oluşturan 1048 km²'si çok uygun, % 44,2'sini oluşturan 4480 km²'si uygun, % 42,8'ini oluşturan 4332 km²'si az uygun, % 2,7'sini oluşturan 263 km²'si ise uygun olmayan arazilerden oluşmaktadır.

5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunda yer alan “güneş enerjisi üretim için; mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri, sulu tarım arazileri, sulu-kuru I, II, III, IV. sınıf tarım arazileri ve çevre arazilerde tarımsal kullanım bütünlüğünü bozan alanları kapsamaması gerekmektedir”. hükmü kriter alınarak Kars ili için yapılan bu araştırmada GES kurulumuna uygun olduğu tespit edilen arazilerin büyük kısmı; meralar, doğal çayırliklar, seyrek bitkili, arazilere denk gelmektedir. Buna rağmen il ekonomisinin temelini oluşturan hayvancılık faaliyetlerinin sürdürüldüğü bu alanlarda doğal ve ekonomik gerçekliklere dayalı olarak GES kurulumu çok uygun değildir. Bu nedenle İlde GES üretiminin halen fiilen uygulanmaya devam edildiği gibi sanayii faaliyetlerinin sürdürüldüğü belirlenmiş alanlarda ve konut çatılarında yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Kars ilinde mevcut 8 ilçe merkezi 383 köy yerleşimi bulunması ve bu yerleşimlerin homojen bir dağılımı göstermesi nedeniyle enerji nakil hatları da bu dağılıma uygun olarak oldukça homojen ve sık bir dağılım göstermektedir. Bu durum nedeniyle Kars ilinde yapılacak güneş enerjisi santrallerinin yer seçiminde enerji nakil hatlarının dağılımı bir kısıtlama oluşturmamaktadır.

İlde, 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı kanununun doğrudan zorunluluk nedeniyle güneş enerjisi santrali kurulabilecek ham toprak hali ve marjinal arazilerin büyük kısmı oldukça eğimli yamaçlar üzerinde bulunmaktadır. Bu olumsuzluk ilde bu özellikteki araziler güneş enerjisi santrallerine ait tesis kurulumunu ve sürdürülebilirliğini zorlaştırırken, inşaat maliyetlerini arttırmaktadır.

Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulumuna çok uygun ve uygun potansiyeli taşıyan il yüzölçümünün % 55’ini 54,581 km² alan bulunmakta buna rağmen, EİAŞ tarafından konut çatı uygulamaları dışında yalnızca, otoprodüktör ticari işletmelere üretim izni verilmesi, diğer doğal ve ekonomik kısıtlayıcılıklar nedeniyle bu potansiyel neredeyse hiç kullanılamamaktadır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

KAYNAKÇA/REFERENCES

ASF (2022). ALOS PALSAR RTC_HI_RES. <https://search.asf.alaska.edu/#/?zoom=6.812¢er=41.223,38.571&polygon> adresinden 15 Haziran 2022 tarihinde edinilmiştir

- Ayday. C., Yaman. N., Sabah. L., Höke. O. (2016). Güneş enerji santrali yer seçiminde açık kaynak kodlu CBS kullanımı-Eskişehir il örneği, *6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS2016)*, s:510-520, 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Brewer, J., Ames, D.P., Solan, D., Lee, R., Carlisle, J., Using (2015). GIS Analytics And Social Preference Data to Evaluate Utility-Scale Solar Power Site Suitability. *Renewable Energy S 81 S 825- 836*.
- Britannica Encyclopedia, (2022). <https://www.britannica.com/science/solar-energy> adresinden 11 Nisan 2022 tarihinde edinilmiştir.
- Charabi, Y., Gastli, A., PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy S 36 S 2554-2561*, 2011.
- COPERNICUS, CORINE (2018). <https://land.copernicus.eu/paneuropean/CORINE-land-cover>, adresinden 11 Nisan 2022 tarihinde edinilmiştir.
- Demir, M. (2021). CORINE Sistemine Göre Kars İlde Arazi Örtüsü/ Arazi Kullanımı, Değişimi ve Projeksiyonu. *Coğrafya Dergisi*, (43), 93-110.
- Demir, M. (2015). Kars İlının Nüfus Gelişimi ve Başlıca Demografik Özellikleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 20(34), 127-156.
- DMİGM (2016). Ankara: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KARS> adresinden 15 Haziran 2022 tarihinde edinilmiştir
- DMİGM (2016). Ankara: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/kitaplar/klimatoloji1.pdf> adresinden 15 Haziran 2022 tarihinde edinilmiştir
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022). <https://enerji.gov.tr/> adresinden 15 Haziran 2022 tarihinde edinilmiştir
- Esmap. (2019). Global Solar Atlas 2.0 Technical Report. Washington, DC: World Bank. <https://globalsolaratlas.info/download/turkey> adresinden 6 Haziran 2022 tarihinde edinilmiştir
- Forman, Ernest H.; Saul I. Gass (2001). “The analytical hierarchy process an exposition”. *Operations Research*. 49 (4): 469-487. doi: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, Elsevier*, vol. 206(C), pages 1225–1240
- Greene, R., Devillers, R., Luther, J. E., & Eddy, B. G. (2011). GIS-based multiple-criteria decision analysis. *Geography compass*, 5(6), 412-432. <http://dx.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*, Vol. 10 Issue 3 2018, pp 469-487,
- Googlemaps (2021) <https://www.google.com/maps> adresinden 18 Haziran 2022 tarihinde edinilmiştir
- Gülşen, K., Sönmez, M. E., & Karabaş, M. (2019). Gaziantep İlde Güneş Enerjisi Potansiyelinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (AHP) İle Belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, (39), 61-72.
- HGM (2021) Harita Genel Müdürlüğü. <https://www.harita.gov.tr/urun/il-ve-ilce-yuz-olcumleri/176> adresinden 18 Haziran 2022 tarihinde edinilmiştir

- Kars İl Özel İdare (2021). <http://www.karsozelidare.gov.tr/kurumlar/karsozelidare.gov.tr/faaliyetler/2021-FAALIYET-RAPORU-SON2.pdf>.adresinden 18 Ağustos 2022 tarihinde edinilmiştir
- Kereush, D., Perovych, I., (2017) Determining Criteria For Optimal Site Selection For Solar Power Plants, *Geomatics, Landmanagement and Landscape C 4 S 39-54*,
- KGM (2021). Karayolları Genel Müdürlüğü. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Bolgeler/18Bolge/YolAgi.aspx> adresinden 26 Mayıs 2022 tarihinde edinilmiştir
- Köksalan, M. M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2011). Multiple criteria decision making: from early history to the 21st century. World Scientific.
- Kum, G., Sönmez, M., & Karabaş, M. (2019). Gaziantep İlinde Güneş Enerjisi Potansiyelinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (AHP) İle Belirlenmesi. *Coğrafya dergisi (e-dergi)*, (39), 61-72.
- Open Street Map (2022) <https://www.openstreetmap.org/#map=9/40.4908/42.6736> adresinden 10 Mayıs 2022 tarihinde edinilmiştir
- Prachi Juneja, (2021) What is Analytical Hierarchy Process (AHP) and How to Use it <https://www.managementstudyguide.com/analytical-hierarchy-process.htm>. adresinden 18 Ağustos 2022 tarihinde edinilmiştir
- 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.
- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill. Pittsburgh: RWS Publications
- Saaty T.L. (1990). “How To Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process”. *European Journal Of Operational Research*, 48(1), 9-26,
- Saaty, T.L. (1994) ‘How to make a decision: the analytic hierarchy process’, *Interfaces*, Vol. 24, No. 6, pp.19–43
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Sánchez L, Henggeler, A., García, C, Dias L. (2013) GIS-based photovoltaic solar farms site selection using Electre-Tr: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. *Renew Energy* 2014;66:478–94..
- Tavana, M., Soltanifar, M., & Santos-Arteaga, F. J. (2021). Analytical hierarchy process: revolution and evolution. *Annals of Operations Research*, 1-29.
- Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu (2005) Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Yönetmelik Bölüm 4. Tarım Arazilerinin Tarımsal veya Tarım Dışı Amaçlarla Kullanım Esasları Kanun Numarası : 5403 Sayı : 25880
- Uyan. M., (2017). Güneş Enerjisi Santrali Kurulabilecek Alanların AHP Yöntemi Kullanılarak CBS Destekli Haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351.
- YEGM (2022). Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü “Güneş Potansiyel Atlası <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/36.aspx> adresinden 15 Haziran 2022 tarihinde edinilmiştir
- Yolcan, O. O., & Ramazan, K.. (2020). Türkiye’nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215.

