



## Coğrafi bakımdan güneş enerji santrali (GES) için uygun yerlerin belirlenmesi: Van ili örneği

*Determining the suitable location selection for a solar power plant (SPP) in terms of geography: Van province example*

Bülent Matpay<sup>a\*</sup> 

<sup>a</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Güvenlik Meslek Yüksekokulu, Van, Türkiye.

ORCID: B.M. 0000-0002-2938-8913

### BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 24.02.2024

Kabul/Accepted: 28.04.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Güneş enerji santrali (GES)

Coğrafi bilgi sistemi (CBS)

Fiziki coğrafya

Analitik hiyerarşi süreci (AHS)

#### Keywords:

Solar power plant (SPP)

Geographic information system (GIS)

Physical geography

Analytical hierarchy process (AHP)

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(B. Matpay) bulentmatpay@yyu.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1442528



#### Atf/Citation:

Matpay, B. (2024). Coğrafi bakımdan güneş enerji santrali (GES) için uygun yerlerin belirlenmesi: Van ili örneği. *Türk Coğrafya Dergisi* (85), 7-19.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1442528>

### ÖZ/ABSTRACT

Güneş enerjisi santrali (GES) birçok enerji kaynağına kıyasla kurulumu/kullanımı kolay, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynağıdır. GES panellerinin yer seçiminde birçok faktör etkilidir. Bu faktörler coğrafi bilgi sistemleri yazılımlarına entegre edilerek santralin kurulabileceği yerler tespit edilebilir. Çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'nde eski adı Tuşba (Güneş Şehri) olan Van ili tercih edilmiştir. Solar radyasyonun yüksek olduğu Van için coğrafi bilgi sistemlerinden faydalanılarak çok kriterli karar alma analizi (ÇKKA) yöntemlerinden, analitik hiyerarşi süreci (AHY) kullanılmıştır. Bu doğrultuda sahanın kendine özgü fiziki coğrafi koşulları göz önüne alınarak On faktör (Solar radyasyon, yükselti, göl, eğim, baki, yol, akarsu, enerji hatları, fay hatları, yerleşim yerleri) kullanılarak Altı sınıftan oluşan uygunluk haritaları üretilmiştir. Sonraki aşamada kriterlerin ağırlıklı çakıştırılması (Weighted Overlay) yapılarak GES uygunluk haritası hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda GES için son derece uygun ve çok uygun yerlerin 635 Ha alan kapladığı, homojen dağılım göstermediği anlaşılmıştır. GES yer seçiminde son derece uygun yerlerin geniş alan kapladığı görülmüştür. Çalışmada ortaya konulan uygun noktalarla aktif kullanımda olan panellerin bulunduğu noktalar örtüşmektedir. Ayrıca Gevaş, Gürpınar-Başkale arasında GES için topoğrafyanın müsait olduğu anlaşılmıştır. Bu haliyle çalışma planlayıcılara yol göstericidir. Çalışmada kullanılan kriterlere ek olarak, multidisipliner yaklaşımla yeni kriterler analize eklenirse, GES için daha hassas yer seçiminde bulunulabilir.

*Solar power plant (SPP) is an environmentally friendly renewable energy source. Many factors are effective in choosing the location of solar power panels. by integrating these factors into geographic information systems software, places where the power plant can be installed can be determined. In the study, the province of Van, whose former name was "Tuşba" meaning "Sun City", in the Eastern Anatolia Region was preferred. for Van, where solar radiation is high, analytical hierarchy process, one of the multi-criteria decision-making analysis methods, was used by making use of geographical information systems. In this regard, six-category suitability maps were produced by using ten factors taking into account the specific physical geographical conditions of the field. In the next stage, the SPP suitability map was prepared by weighted overlay of the criteria. As a result of the study, it was understood that the extremely suitable and very suitable places for solar power plant cover an area of 635 Ha and do not show a homogeneous distribution. The appropriate points revealed in the study coincide with the points where the panels are in active use. In addition, it has been understood that the topography between Gevaş, Gürpınar, Başkale is very suitable for SPP.*

## Extended Abstract

### Introduction

Solar power plant (SPP) is an environmentally friendly renewable energy source that is easier to install and use compared to many energy sources. Many factors are effective in choosing the location of SPP. These factors can be integrated into geographic information systems (GIS) software to determine places where the power plant can be installed. In the study, the province of Van, whose former name was "Tuşba" meaning "Sun City", in the Eastern Anatolia Region of Turkey, was preferred. For Van,

### Data and Method

Analytical hierarchy process (AHP), one of the multi-criteria decisionmaking analysis (MCDA) methods, was used by making use of GIS. In this study, which was carried out to determine suitable places for SPP, first a literature review was conducted and similar studies were examined. Then, criteria were determined by taking into account the factors that affect the installation of SPP, especially the physical geography characteristics of Van province (elevation, slope, tectonics, etc.). These criteria and their importance levels were determined using field observation, research and expert opinion. The first stage in AHP is to define the decision-making problem. This is primarily the process of determining the alternatives to choose between. The alternatives are the administrative borders of Van province for this study. Secondly, it is the determination of the parameters that have an impact on the selection. The number of alternatives is considered as  $m$  and the parameters are considered as  $n$ . 10 parameters ( $n$ ) were used in this study. In the second stage, the comparison matrix between parameters is obtained. The diagonal points of the created  $n \times n$  dimensional comparison matrix take the value of 1 since they are the junction points of the same parameters and have the same importance criterion. Among other parameters, pairwise comparison matrix scoring is calculated based on importance. In this way, a score table of matrix elements was created. In the third stage, the percentage importance distributions of the parameters are obtained. In calculating the normalized binary comparison matrix element of the parameters, it is found by dividing each element in the comparison matrix to the total value of its column. When determining the priority, the sum of each row of the normalization matrix was obtained by dividing by the number of parameters used (10). The consistency of this method used involves a process. Consistency Ratio (CR) should be calculated here. For this, Consistency Indicator (CI) and RI (Randomness Indicator) data are needed. In this regard, the consistency of the pairwise comparisons made between the parameters is evaluated with the result of the  $CR = CI / RI$  ratio. If the CR value exceeds 0.10, decision makers should reconsider the values entered in the matrix due to inconsistency. However, the closer the CR value is to zero, the more accurate the consistency. In this study, the consistency rate was calculated below 0.1 and was found to be consistent. After these stages, the suitability classification of the parameters used was made. While creating this classification,

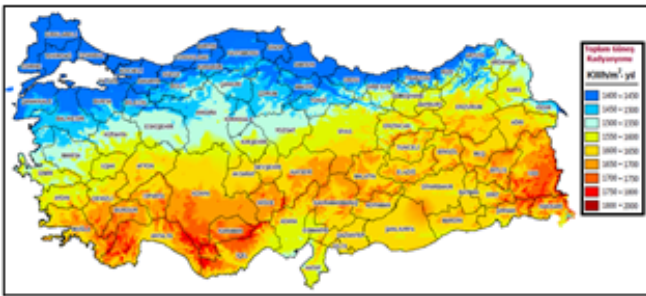
## Results and Discussion

Classification was deemed appropriate to divide the province of Van into 6 classes, taking into account its unique geographical features and previous studies. Finally, in the study, the suitability classification of 10 parameters of Van province was made using GIS software and AHY, one of the MCDA methods. Conformity classes were defined by reclassifying the used parameters in raster format. A weighted overlay of these 10 criteria, which were classified as suitability, was made. Thus, a spatial distribution map of places suitable for solar power installation was produced. If a holistic evaluation is made, it is clear that installing solar power plants in suitable locations in Van province will not only be suitable for human and environmental health, but also will make an economic contribution to the country. As a result of the study, it was understood that there are many suitable places for solar power plants and they are not distributed homogeneously. The appropriate points revealed in the study coincide with the points where the panels are in active use. In addition, it has been understood that the topography between Gevaş, Gürpınar and Başkale is very suitable for SPP. In this form, the study is a guide for planners. It is recommended that this potential be used and evaluated in the most effective way. However, if out-of-area criteria are included in the analysis in addition to the criteria used in the study, more precise solar energy site selection can be made. In addition, it can be said that successful results can be achieved by using GIS and AHY in order to make the right and economical investment in the SPP site selection process with a multidisciplinary approach, taking into account the opinions of experts and legislation.

### 1.Giriş

Eskiden dünya ülkeleri enerji ihtiyacının karşılanmasında üretim-tüketim odaklı bir anlayışa sahipti (Şekeroğlu, Özkaynak, Alkan & Başkan, 2021, s.2). Ancak gün geçtikçe artan teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve nüfus artışı enerjiye rağbeti beraberinde getirmiştir (Akova, 2003, s.48; Erdoğan, 2020, s.277). Çünkü üretimin temel girdisi olan enerji, toplumların refah seviyesinin yükselmesinde gerekli bir unsur olup çoğu alanda kullanılmaktadır (Koç & Kaya, 2015, s.37). Bu durum enerji kaynaklarının azalmasına, tükenmesine ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu gibi olumsuzluklar ülkelerin alternatif enerji kaynak arayışına yönelmesine neden olmuştur. 1987' de Brutland raporunda gündeme alınan sürdürülebilirlik kavramıyla enerjinin yalnızca üretim-tüketim boyutunda değil aynı zamanda çevresel, iktisadi ve sosyal bakımdan bütünsel olarak dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir. Bu doğrultuda dünya ülkeleri enerji arz güvenliği kavramını vurgulayarak, politikalarında ve planlamalarında yenilenebilir enerji kaynaklarını ön planda tutmaya çalışmaktadır (Şekeroğlu vd., 2021, s.2). Doğal çevrim sürecinde aynen kalabilen, kullanımına rağmen azalmayan ve tükenmeyen kaynaklar yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanırken, bir defa kullanıldığında kendini yenileyemeyen enerji kaynakları ise yenilenemez enerji kaynakları olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle, dalga, gelgit ve hidrojenidir. Yenilenemez enerji kaynakları ise fosil (Kömür, petrol ve doğal gaz) ve çekirdek (uranyum ve toryum) kaynaklıdır (Koç & Kaya, 2015, s.37). Rezervleri sınırlı

olan yenilenebilir enerji kaynaklarının planlı bir şekilde kullanılmaması halinde kısa vadede tükeneceği gerçeğinden hareketle, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ulusların önemli politikalarından biri olmuştur. Uluslararası Enerji Ajansının verilerine göre 2021'den 2023'e kadar olan enerji yatırımlarında yenilenebilir enerji kaynakları %24, fosil yakıtlar ise %15 oranında bir artış göstermiştir (IEA, 2023, s.6). Gelişmiş birçok ülke ihtiyaç duydukları enerjiyi elde edebilmek için alternatif olarak güneşteki enerji üretim mekanizmasını yeryüzünde uygulamayı hedefleyen çalışmaları ilerletmektedir (Akova, 2003, s.54). Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir (Kapluhan, 2015, s.74). Bu enerji kaynağı yüksek düzeyli güneş ışınımına sahip olması, çevreye duyarlı, temiz bir kaynak olması nedeniyle cazip bir enerji kaynağıdır (Lee & Chang, 2018; Yaman vd., 2019, s.245; Karaaslan & Aydın, 2020, s.1355; Adjiski vd., 2023, s.188). Güneş enerji sistemlerinin teknolojik olarak ilerlemesi ve maliyetlerinin düşmesi, temiz bir enerji kaynağı olan Güneş enerjisinin önemini daha da artırmaktadır. Güneş ışınları vasıtasıyla yerküreye gelen bu enerjiden yararlanmak için güneş kolektörleri, güneş santralleri ve güneş pilleri (fotovoltaik piller) gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojiler sayesinde güneş enerjisi ısı enerjisi olarak doğrudan ya da elektrik enerjisine dönüştürülerek dolaylı olarak kullanılabilir (Koç & Kaya, 2015, s.41). Türkiye'de ise güneş enerjisinden elektrik üretimi çalışmalarında potansiyeli belirlemek, etkin kullanabilmek amacıyla Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) tarafınca Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (Şekil 1) hazırlanmıştır (ETKB, 2023). Türkiye'de ortalama yıllık toplam güneşlenme zamanı 2.741 saat ve ortalama yıllık toplam ışınım miktarı 1.527,46 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmış olup çoğu yerin güneş enerjisinden doğrudan veya dolaylı faydalandığı söylenebilir (ETKB, 2023). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli coğrafi konumu nedeniyle İspanya dışındaki tüm Avrupa ülkelerinden fazladır (Koç & Kaya, 2015, s.41). Ancak Türkiye önemli miktarda güneş enerjisi almasına rağmen güneş enerjisinden yeterince faydalanamamaktadır (Çiftçi & Altundağ, 2017, s.111).



Şekil 1. Türkiye güneş radyasyonu haritası (ETKB, 2023).

Figure 1. Turkey solar radiation map (ETKB, 2023).

Güneş enerjisi yönünden oldukça avantajlı konumda olan Türkiye, güneşlenme potansiyeli ve teknolojiyi de kullanarak küresel pazarda yerini alabilir. Bu bağlamda birçok araştırmacı tarafından güneş enerjisi santrallerinin kurulmasına uygun yer seçimi çalışmaları yapılmıştır (Güçlüer, 2010; Uyan, 2013, 2017; Eroğlu, 2018; Taktak & İli, 2018; Kum vd., 2019; Yalçın & Yüce, 2020; Oral, 2020; Uzar & Koca, 2020; Yolcan & Köse, 2020; Bilhan & Emikönel, 2021; Arca & Keskin Çitiroğlu, 2022; Demir, 2023). GES kurulumuna uygun yer seçiminde birçok araştırmacı

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve çok kriterli karar alma yöntemlerinden (ÇKKA) biri olan Analitik Hiyerarşi Modelini (AHY) kullanmıştır. Yapılan çalışmalarda GES için uygun yer seçimi belirlenirken kullanılan kriterler farklılaşmaktadır. Bunun nedenlerinden biri coğrafi özelliklerin homojen olmayıp yerden yere değişiklik göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu kriterlerden bazıları; yerleşim alanlarından uzaklık, trafo hattına uzaklık, arazi kullanımı, eğim, göl ve su kütlelerine uzaklık, litolojik özellikler, yerleşim durumu, topografik durum, eğim, baki, ve sismik veri kriterleridir. Bu kriterler belirlenirken doğal çevre hassasiyeti, ekosistem ve bu ekosistemde bulunan flora ve fauna habitatı, ekonomik enerji temini, risk değerlendirmesi, antropojenik faaliyetler gibi unsurlar dikkate alınmıştır. Araştırmacıların enerji verimliliği ve sürdürülebilirliği optimum düzeyde sağlamak için, GES yer seçiminde birçok kriter ve yöntem kullandığı anlaşılmaktadır.

Van ili güneş radyasyonu bakımından iyi bir konumdadır. Hatta yaz aylarında en fazla güneş enerjisi alan, Antalya ve Karaman illerinden sonra gelmektedir. Van ili için ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi ve toplam radyasyon ışınım şiddeti Türkiye ortalamasının çok üstündedir. Bu bağlamda global radyasyon değerleri ve güneşlenme süresi bakımından Van ili en verimli illerden biridir (Sarıkaya, 2009, s.6; Rüstemli & Dinçer, 2011, s.27; Yaman vd., 2019, s.246). Eski ismi Tuşba (Güneş Şehri) olan Van'da GES kurulumu için yeterli alan mevcuttur (Yaman vd., 2019, s.246). Van-Gevaş arası, Akdamar adası ve farklı birkaç lokasyonda GES mevcuttur. Bunlardan enerji sağlanmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı Van ilinde GES için uygun yerlerin ortaya konulması önemli bulunmuştur. GES kurulumuna uygun yer seçiminde CBS ve (ÇKKA) biri olan Analitik (AHY) tercih edilmiştir. Bu çalışmayla Van'ın kendine özgü coğrafi özellikleri dikkate alınmış olup, birçok kriter kapsam dahiline alınarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kriterler belirlenirken sadece kazanç odaklı değil çevresel yaklaşımlar da ön planda tutulmuştur. Böylece zengin yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olan Van ilinde sürdürülebilirliğin sağlanmasına katkı sunarak, yerli kaynakların kullanılması ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin ülke ekonomisine kazandırılması önemli görülmüştür. Bu doğrultuda Van ilinde GES için uygun yerlerin ortaya konulması çalışmanın amacını oluşturmuştur. Planlayıcılar tarafından çalışma çıktıları dikkate alınarak, çalışmada kullanılmayan alan dışı (teknik donanım, ekonomik kriterler, sosyokültürel doku, askeri alan, arkeolojik alan vb) unsurlar birlikte analiz edildiğinde GES için hassas yer seçimi tayin edilebilir.

## 2. Yöntem

GES kurulumuna uygun konumları belirlemede birçok araştırmacı CBS tekniklerinden ve çok kriterli karar alma yöntemlerinden (ÇKKA) biri olan Analitik Hiyerarşi Modelini (AHY) kullanmaktadır. Bu model 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından önerilmiştir (Demirci, 2019, s.47; Saaty, 1987, s.166). Van ilinin GES için uygun yerleri belirlemek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada da ÇKKA-AHY kullanılmıştır. Bu doğrultuda ilk öncelikle sorun tanımlanmış ve ulaşılmak istenen amaçlar belirlenmiştir. ÇKKA çok sayıda kriteri ve alternatifi içeren seçim ve sıralama problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Öztürk, 2011, s.63). Bu amaç doğrultusunda yöntemin ilk adımında kriter ve alt kriterler belirlenmiştir. Bunun için literatür araştırması, Van ilinin fiziki coğrafya özellikleri (yüksekti, eğim, tektonik vb), uzman görüşüne başvurulmuştur. Elde edi-

len sonuçların ortalaması doğrultusunda ikili matris oluşturulmuştur. On kriterin (n) ele alındığı çalışmada hiyerarşik bir model oluşturulmuştur. Bu doğrultuda kriterlerin ağırlığı ve tutarlı olup olmadığı ortaya konulmuştur. Hiyerarşinin oluşturulmasından sonraki adım, karşılaştırmalı yargıların veya ikili karşılaştırmaların yapılması olarak tanımlanmaktadır. Bir başka ifade ile hiyerarşideki elemanların bir üst kademedeki kriterlere kıyasla görece önemlerinin belirlenmesi için kendi aralarında ikili olarak ağırlıklı karşılaştırılması yapılmıştır. İkili karşılaştırmalı yargıların oluşturulmasında, bir başka ifade ile x kriterinin y kriterine göre ne kadar önemli olduğunu nicel (1-9 puanlı) olarak ortaya koymada Saaty (1987)'nin sunduğu önem ölçüğü tablosundan faydalanılmıştır (Tablo 1).

Bu çalışmada tercih edilen 10 kriter (n) kendi aralarında ikili olarak ağırlıklı karşılaştırılması önem derecesine göre matris şeklinde düzenlenmiştir. Oluşturulan n x n boyutlu karşılaştırma matrisinin köşegen noktaları aynı kriterlerin birleşim noktası olduğundan ve aynı önem ölçütünde olduğundan 1 değerini alır (Tablo 2).

**Tablo 1.** AHY puanlama ölçeği (Saaty, 1987, s.163).

**Table 1.** AHY scoring scale (Saaty, 1987, p.163).

| Önem Derecesi   | Tanım                      |
|---|----------------------------|
| 1   | Eşit ölçüde önemli         |
| 3   | Orta ölçüde önemli         |
| 5   | Kuvvetli ölçüde önemli     |
| 7   | Çok kuvvetli ölçüde önemli |
| 9   | Mutlak ölçüde önemli       |
| 2,4,6,8   | Ara değerler               |
| Açıklama: x kriteri y ile kıyaslanırken değer k ise, aksi kıyaslamada değer 1/k olur. |                            |

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan kriterlerin karşılaştırma matrisi.

**Table 2.** Comparison matrix of the parameters used in the study.

| Kriterler         | a    | b    | c    | d    | e    | f    | g    | h    | i  | j    |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|
| (a) Solar rad.    | 1    | 2    | 3    | 5    | 5    | 7    | 7    | 8    | 8  | 7    |
| (b) Enerji hattı  | 1/2  | 1    | 3    | 4    | 5    | 6    | 6    | 7    | 7  | 8    |
| (c) Eğim          | 1/3  | 1/3  | 1    | 3    | 2    | 5    | 3    | 3    | 5  | 6    |
| (d) Faya uzaklık  | 1/5  | 1/4  | 1/3  | 1    | 3    | 4    | 4    | 5    | 6  | 1/2  |
| (e) Yola uzaklık  | 1/5  | 1/5  | 1/2  | 1/3  | 1    | 3    | 3    | 5    | 1  | 1/2  |
| (f) Akarsu        | 1/7  | 1/6  | 1/5  | 1/4  | 1/3  | 1    | 2    | 2    | 2  | 1/3  |
| (g) Göle uzaklık  | 1/7  | 1/6  | 1/3  | 1/4  | 1/3  | 1/2  | 1    | 2    | 3  | 1/2  |
| (h) Yükselti      | 1/8  | 1/7  | 1/3  | 1/5  | 1/5  | 1/2  | 1/2  | 1    | 2  | 1/3  |
| (i) Yerleşim yeri | 1/8  | 1/7  | 1/5  | 1/6  | 1    | 1/2  | 1/3  | 1/2  | 1  | 1/5  |
| (j) Bakı          | 1/7  | 1/8  | 1/6  | 2    | 2    | 3    | 2    | 3    | 5  | 1    |
| Toplam            | 2,91 | 4,53 | 9,07 | 16,2 | 19,9 | 30,5 | 28,8 | 36,5 | 40 | 24,4 |

Karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonraki aşamada ise özdeğerleri ve özvektörlerinin hesaplanmasına geçilmiştir. Özvektör karşılaştırma matrisinin öncelikler vektörünü temsil ederken, özdeğer ise karşılaştırmalar arasındaki tutarlılığın hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bunun için öncelikle her bir sütun değerinin, ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile normalleştirilmiş matris elde edilmiştir (Akdeniz, 2018, s.74). Daha sonra her bir kriterin satır değerinin toplamı bulunarak kriter sayısına (n=10) bölünmesiyle özvektör sonucu bulunmuştur (Tablo 3).

İkili karşılaştırma ve normalizasyon matrisi oluşturulduktan sonra tüm öncelikler matrisinin oluşturulması sağlanmıştır. Bu aşamada her kriterin karşılaştırma matrisindeki (Tablo 2) satır değeri öz vektör ortalamasına çarpılmasıyla tüm öncelikler matrisi elde edilmiştir (Tablo 4).

Bu aşamadan sonra tutarlılık matrisinde kullanılmak üzere  $\lambda_{max}$  (özdeğer) hesaplaması yapılmıştır. Bunun için tüm öncelikler matrisinde her kriter için hesaplanan satırın toplam değeri, o kritere ait öz vektör (öncelikler vektörü) elemanına bölünerek bir oran elde edilmiştir. Bulunan bu oran ise kriter sayısına (n=10) bölünerek yani ortalaması alınarak  $\lambda_{max}$  hesaplanmıştır.

Bu çalışma için  $\lambda_{max}$  11,18 olarak hesaplanmıştır. Bu aşamalardan sonra ikili karşılaştırma süreci esnasında karar verici tarafından formüle edilen yargıların tutarlılığı incelenmiştir. Bu doğrultuda Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio, CR) hesaplanmalıdır. Bunun için Tutarlılık Göstergesi (CI) ve RI (Rassallık İndeksi) verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda kriterler arasında yapılan ikili karşılaştırmalar ne derece tutarlı olduğu  $CR = CI / RI$  oranlaması sonucu ile değerlendirilmeye alınır. Eğer CR değeri 0,10' u aşarsa karar vericiler tutarsızlıktan dolayı matrise giren değerleri yeniden gözden geçirmelidir. Ancak CR değeri sıfıra ne kadar yakınsa tutarlılık o ölçüde doğrudur (Wind & Saaty, 1980, s.650). CI değeri  $\lambda_{max} - n / n - 1$  e oranlanması ile hesaplanmıştır. Hesaplama  $CI = 0,1315...$  hesaplanmıştır. RI ise çalışmada kullanılan kriter sayısına (n=10) göre referans alınan RI tablosuna bakıldığında (Tablo 5)  $RI = 1,49$  alınmıştır. Sonuç olarak  $0,1315 / 1,49$  oranlamasında  $CR = 0,0883$  bulunmuş olup tutarlı olduğu anlaşılmıştır.

Çalışmada kullanılan kriterlerin uygunluk sınıflaması oluşturulurken Van ilinin kendine özgü coğrafi özellikleri ve daha önce yapılmış çalışmalar (Hang vd., 2008; Charabi & Gastli, 2011; Effat, 2013; 233 Kengpol vd., 2013; Sánchez-Lozano vd., 2013; Uyan, 2013, 2017; Al Garni & Awasthi, 2017. 234 Uzar & Koca, 2020; Arca & Çitroğlu, 2022; Güner vd., 2021; Kum vd., 2019; Meral, 2022; 235 Demir, 2023) dikkate alınarak 6 sınıfa bölünmesi uygun görülmüştür (Tablo 6).

**Tablo 3.** Kullanılan kriterlerin normalizasyonu ve öncelik hesaplama tablosu.**Table 3.** Normalization of the used parameters and priority calculation table.

| Kriterler                       | a    | b    | c    | d    | e    | f    | g    | h    | i    | j    | Toplam | Özvektör | %      |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----------|--------|
| (a) Solar Radyasyon             | 0,34 | 0,44 | 0,33 | 0,31 | 0,25 | 0,23 | 0,24 | 0,22 | 0,20 | 0,29 | 2,86   | 0,286    | 28,55  |
| (b) Enerji iletim hattı uzaklık | 0,17 | 0,22 | 0,33 | 0,25 | 0,25 | 0,20 | 0,21 | 0,19 | 0,18 | 0,33 | 2,32   | 0,232    | 23,22  |
| (c) Eğim                        | 0,11 | 0,07 | 0,11 | 0,19 | 0,10 | 0,16 | 0,10 | 0,08 | 0,13 | 0,25 | 1,31   | 0,131    | 13,06  |
| (d) Faya uzaklık                | 0,07 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,15 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,02 | 0,95   | 0,095    | 9,51   |
| (e) Yola uzaklık                | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,62   | 0,062    | 6,24   |
| (f) Akarsu uzaklık              | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,36   | 0,036    | 3,61   |
| (g) Göle uzaklık                | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,08 | 0,02 | 0,36   | 0,036    | 3,56   |
| (h) Yükselti                    | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,26   | 0,026    | 2,58   |
| (i) Yerleşim uzaklık            | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,23   | 0,023    | 2,32   |
| (j) Bakı                        | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,07 | 0,08 | 0,13 | 0,04 | 0,74   | 0,074    | 7,35   |
| Toplam                          | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 10,00  | 1        | 100,00 |

**Tablo 4.** Kullanılan kriterlerin tüm öncelikler matrisi tablosu.**Table 4.** Table of all priorities matrix of criteria used

| Kriterler            | a    | b    | c    | d    | e    | f    | g    | h    | i    | j    | Toplam |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| (a) Güneş Radyasyonu | 0,29 | 0,46 | 0,39 | 0,48 | 0,31 | 0,25 | 0,25 | 0,21 | 0,19 | 0,51 | 3,34   |
| (b) Trafoya uzaklık  | 0,14 | 0,23 | 0,39 | 0,38 | 0,31 | 0,22 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,59 | 2,82   |
| (c) Eğim             | 0,10 | 0,08 | 0,13 | 0,29 | 0,12 | 0,18 | 0,11 | 0,08 | 0,12 | 0,44 | 1,64   |
| (d) Arazi Kullanımı  | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,10 | 0,19 | 0,14 | 0,14 | 0,13 | 0,14 | 0,04 | 1,03   |
| (e) Yola uzaklık     | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,06 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 0,02 | 0,04 | 0,67   |
| (f) Akarsu uzaklık   | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 0,38   |
| (g) Litoloji         | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,04 | 0,38   |
| (h) Faya uzaklık     | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,28   |
| (i) Yerleşim uzaklık | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,06 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,25   |
| (j) Bakı             | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,19 | 0,12 | 0,11 | 0,07 | 0,08 | 0,12 | 0,07 | 0,85   |
| Toplam               | 0,83 | 1,05 | 1,18 | 1,54 | 1,24 | 1,10 | 1,03 | 0,94 | 0,93 | 1,79 | 11,64  |

**Tablo 5.** Rassallık indeks tablosu (Akdeniz, 2018: 67).**Table 5.** Randomness index table (Akdeniz, 2018: 67).

| Kriter sayısı (n) | 1 | 2 | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------------------|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| RI                | 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

**Tablo 6.** Kullanılan kriterlerin uygunluk sınıflaması ve ağırlık yüzdesi.**Table 6.** Conformity classification and weight percentage of the criteria used.

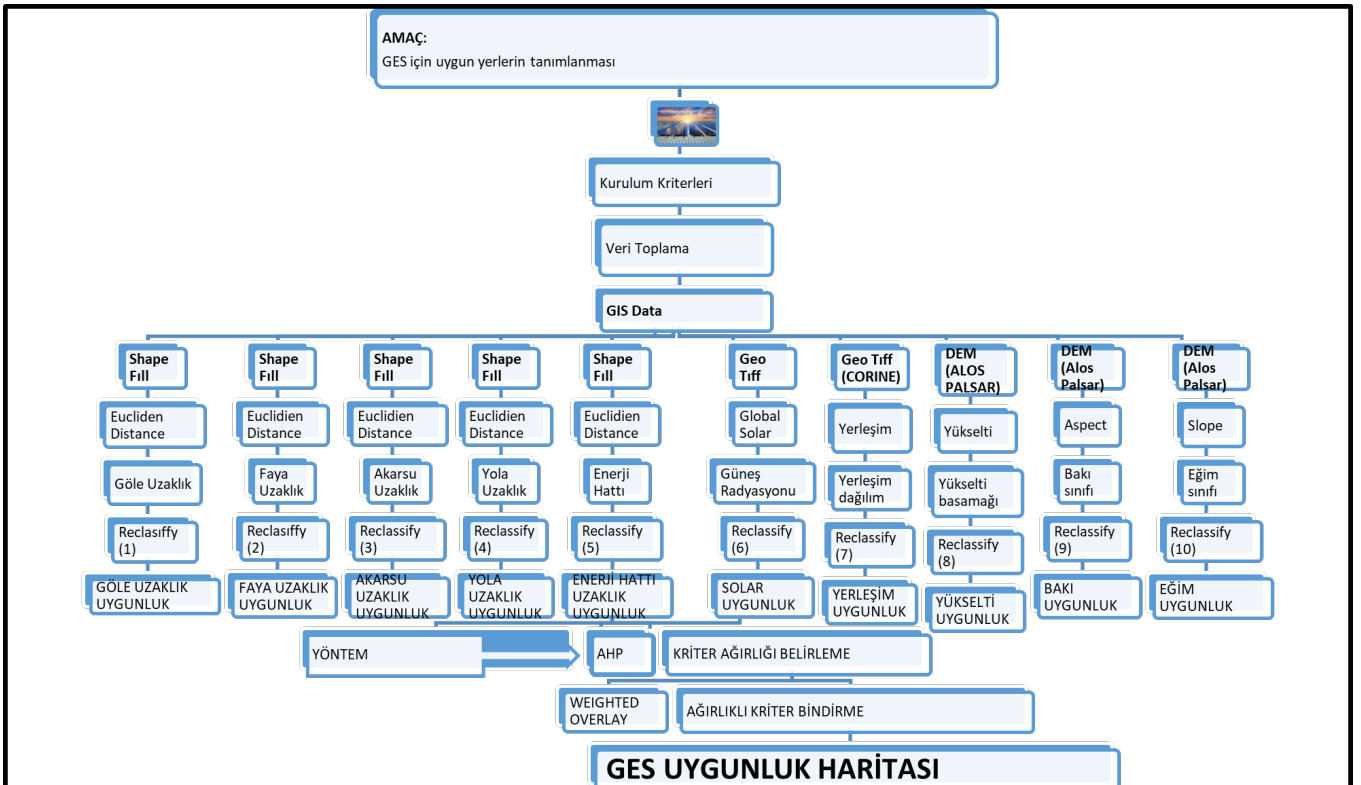
| Kriter ve Uygunluk aralığı            | Son Derece Uygun (6) | Çok Uygun (5) | Uygun (4) | Orta Derece Uygun (3) | Az Uygun (2) | Uygun Değil (1) |
|---------------------------------------|----------------------|---------------|-----------|-----------------------|--------------|-----------------|
| Solar Radyasyon (KWh/m <sup>2</sup> ) | > 1801               | 1751-1800     | 1701-1750 | 1601-1700             | 1501-1600    | 1269-1500       |
| Enerji Ağı (km)                       | <0,1-1               | 1-5           | 5-10      | 10-15                 | 15-25        | >25 ve <0,1     |
| Eğim (%)                              | 0-5                  | 5-10          | 10-15     | 15-20                 | 20-30        | >30             |
| Göle Uzaklık (km)                     | >15                  | 12-15         | 9-12      | 6-9                   | 3-6          | <3              |
| Yola Uzaklık (km)                     | 0,1-1                | 1-2           | 2-3       | 3-4                   | 4-10         | >10 ve <0,1     |
| Akarsu Uzaklık (km)                   | >15                  | 12-15         | 9-12      | 6-9                   | 3-6          | <3              |
| Yükselti (km)                         | 1,5-2                | 2-2,25        | 2,25-2,5  | 2,5-2,75              | 2,75-3       | >3 ve <1,5      |
| Faya Uzaklık (km)                     | >5                   | 4-5           | 3-4       | 2-3                   | 1-2          | <1              |
| Yerleşke Uzaklık (km)                 | >4                   | 3,5-4         | 3-3,5     | 2,5-3                 | 2-2,5        | <2              |
| Bakı (Yön)                            | G, GB                | GD, Düz       | B         | D                     | KB           | KD, K           |

Hava alanına uzaklık kriteri dikkate alınmamıştır. Hava alanının göl kıyısında bulunması ve bunun da göle uzaklık kriteri içinde değerlendirilmeye alınmasından dolayıdır. Keza demiryolları güzergâhı da benzer şekilde karayoluna, Vangölü'ne ve Erçek Gölü'ne 1km'den yakın mesafede bulunmasından itibaren uygulamaya alınmamıştır. Belirli bir ışık akışı belirlenerek (Şekil 2), kullanılan kriterler raster formatta yeniden sınıflandırması (Reclasify) yapılarak uygunluk sınıfları tanımlanmıştır. Uygunluk sınıflaması yapılan bu 10 kriterin ağırlıklı çakıştırılması (Weighted Overlay) yapılmıştır. Böylece GES kurulumuna müsait yerlerin dağılımı harita üzerinde gösterilmiştir.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Solar (güneş) Radyasyon

GES kurulumunun yapılacağı yerin solar radyasyon şiddeti, verimlilik ve ekonomik yatırımın yapılması hususunda önemli bir unsurdur (Charabi & Gastli, 2011; Effat, 2013; Kengpol vd., 2013; Sánchez-Lozano vd., 2013; Uyan, 2013; Eroğlu, 2018; Meral, 2022). Verimli bir GES tesis edilecek alanın 1500 kWh/m<sup>2</sup> üzerinde güneş ışınım değerine sahip olması göz önüne alındığında Van ilinin solar radyasyon potansiyeli

**Şekil 2.** İş akışı diyagramı.**Figure 2.** Work flow diagram.

bakımından iyi bir konumda olduğu söylenebilir. Bu çalışmada hazırlanan güneş radyasyonu uygunluk haritası sınıflaması literatür taraması ve bölgede yapılmış projeler referans alınarak hazırlanmıştır ( Gerçek, 2018; Kum vd., 2019; Aydıncioğlu, 2019; Aykaç, 2020; Meral, 2020; Demir, 2023). Van ilinin güneydoğusunda Gürpınar'dan Başkale'ye doğru gidilirken güneş bakan vadi yamaçlarında güneş radyasyon şiddetinin 1600 kWh/m<sup>2</sup> nin üstüne çıktığı görülmektedir. Keza Erçek gölü ile Vangölü arasında kalan kesimde güneş radyasyon şiddeti 1500 kWh/m<sup>2</sup> nin üstündedir. Buna karşın Bahcesaray ve Çatak 'ın kuzeybatı kesimi, Çaldıran ve Erciş'in kuzey kesimlerinde güneş radyasyonu bakımından "uygun değil" olup 1300 kWh/m<sup>2</sup> nin altına indiği görülmektedir (Şekil 3).

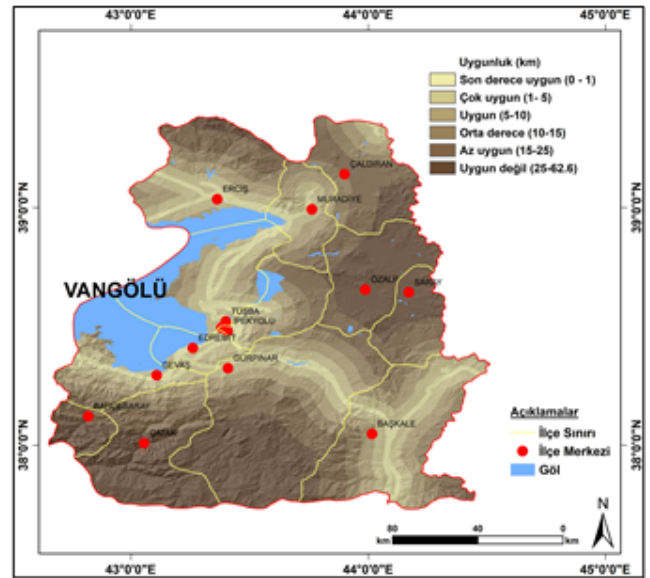
### 3.2. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık

GES yer seçiminde en önemli faktörlerden biri enerji iletim hatlarına olan mesafedir. GES ve enerji iletim hatları arasında mesafenin kısa olması istenmektedir. Bu durum maliyeti düşüreceği gibi (Yalçın & Yüce, 2020; Arca & Keskin Çıtroğlu, 2022) tesis işletme sürecinde elektrik iletiminde gelişen iç şebeke kayıplarının azalmasını sağlayacaktır. Bu yüzden yer seçiminde trafo merkezlerine olan uzaklığın 10 km'den fazla olması istenmez (Uyan, 2017). Çalışma alanında enerji hatlarından uzaklaştıkça uygunluk değeri düşük kabul edilmiş olup 6 kategoride sınıflandırılan sahanın 10 km'ye kadar son derece uygun, çok uygun ve uygun olduğu 10 km'den itibaren ise orta derece uygun, az uygun ve uygun değil sınıflaması yapılmıştır (Şekil 4). Çalışma alanında enerji iletim hatları homojen bir dağılım göstermemekle beraber Vangölü yakın kıyısı ve Van-Gürpınar-Başkale yolu güzergâhında yola yakın kesimde fazla olduğu görülmektedir. Bu alan eğimin az olduğu ve morfolojik olarak çoğu yerde düz alanlara denk gelmektedir. Sadece enerji nakil hattı referans alındığında Vangölü'ne kıyısı bulunan ilçeler ile Gürpınar ve Başkale'nin GES kurulumu bakımından uygun olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.3. Eğim

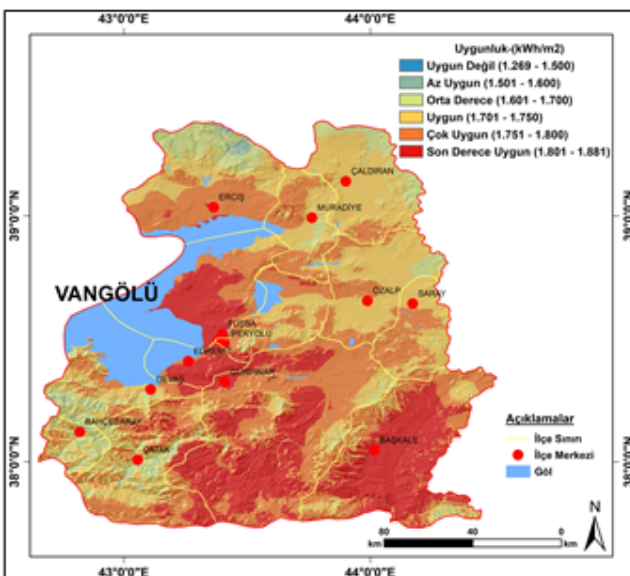
Eğim koşulları GES yerinin belirlenmesinde önemlidir. GES panelinin kurulacağı yerin eğim derecesinin düşük olması tercih

edilmektedir. Çünkü topoğrafik eğimin fazla olduğu yerde kurulan güneş panelleri birbiri üzerine gölge yapmakta ve verimi düşürmektedir (Effat, 2013; Noorollahi vd., 2016; Arca & Keskin Çıtroğlu, 2022). Keza eğimli yamaçta gerçekleşecek toprak erozyonu güneş panellerinin statik yapısını bozmakta ve işletme maliyetini artırmaktadır (Yolcan & Köse. 2020; Demir, 2023). Ayrıca yüksek eğim koşulları ulaşımı olumsuz etkileyeceği gibi panellerin taşınması, kurulması ve maliyeti artıracaktır. GES kurulabilecek arazilerin eğimi konusunda kesin bir tanımlama bulunmamakla beraber 1°-15° arası araziler genellikle uygun kabul edilmektedir (Brewer vd., 2015, s.829; Demir, 2023,s.101). Bu doğrultuda sahanın eğim uygunluk sınıflaması yapılırken, saha topoğrafyasının çok sarp, eğimli ve düz koşulları dikkate alınmıştır (Şekil 5). Çalışma alanına genel olarak bakıldığında Bahcesaray, Çatak ve Başkale'nin büyük kesimi ile Çaldıran-Erciş arasında ait morfolojide eğimin çok fazla olduğu ve GES için uygun olmadığı anlaşırlarken, Vangölü'nün doğu kesimi ile Saray, Dorutay ve Çaldıran ovalarının eğim şartları bakımından GES yapımına uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.



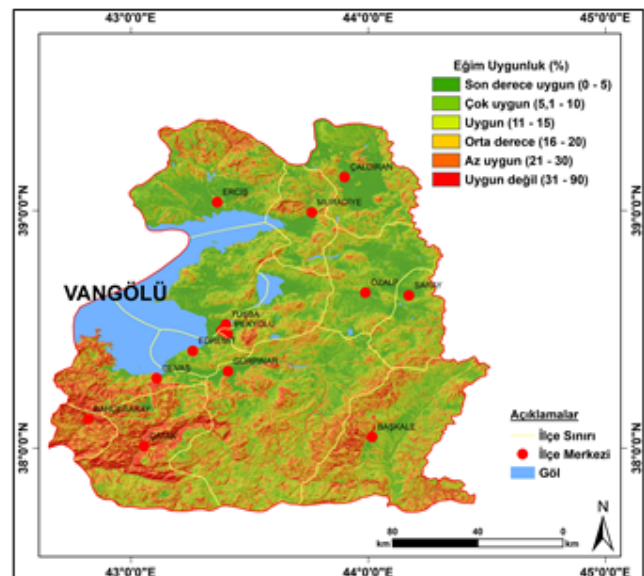
Şekil 4. Van ili enerji nakil hatları uygunluk haritası.

Figure 4. Van province energy transmission lines suitability map.



Şekil 3. Van ili solar radyasyon uygunluk haritası.

Figure 3. Van province solar radiation suitability map.



Şekil 5. Van ili eğim uygunluk haritası.

Figure 5. Van province slope suitability map.

### 3.4. Göle Uzaklık

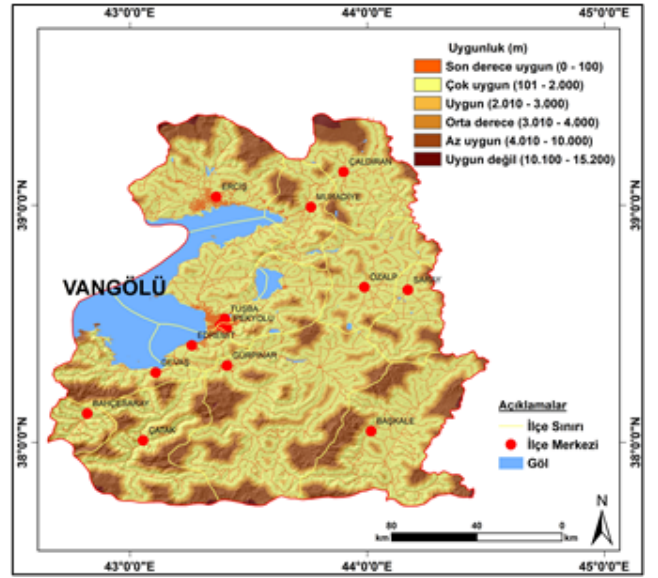
GES panellerinin göllerden belli bir mesafe uzaklıkta bulunması tercih edilir (Şekil 6). Göllerin korunması önemlidir (Can & Yücel, 2019; Ekiz vd., 2022). Çünkü göl ekosistemine ait flora ve faunanın varlığını sürdürmesinde göllerin rolünün olduğu bilinmektedir. Çalışma alanına ait göllerden bazıları kesin korunması gereken hassas göl niteliği (Akgöl, Kazlıgöl) taşımakla beraber kuşların konaklama merkezi niteliğindedir. Bunun yanında göl kıyılarında bazı endemik türlerinde olabileceği düşünülürse GES panellerinin belli bir mesafe uzakta kurulması uygundur. Ayrıca göl kıyıları turizm ve insan aktivite alanı olduğu dikkate alınarak, göle uzaklık uygunluk sınıflaması bu doğrultuda yapılmıştır.

### 3.5. Yola Uzaklık

GES yer seçiminde yola olan mesafenin optimum olması önemlidir. Yola yakınlık GES panellerinin kurulumunda rahatlık ve kolaylık sağlasa da trafikten kaynaklı oluşan atıklar güneş panellerini olumsuz etkileyeceği ve güvenlik zafiyeti oluşturacağı düşünülürse yola uygun uzaklığın 100 m'den yakın olması önerilmez (Uzar & Koca, 2020). Buna karşın yola çok uzak kurulan panellerin bakım ve onarım masraflarını artıracacağı, yeni yol yapım harcamaları oluşturacağı da bilinmektedir. Ayrıca GES panellerinin olduğu sahada daimi çalışanlar var ise iş sağlığı ve güvenliği bakımından şehir merkezine, medikal kuruluşlara koluk kuvvetleri ile GSM alt yapısının aktif olduğu uygun uzaklık tercih edilmelidir. Bu yüzden yola uzaklık doğru planlanmalıdır. Bu doğrultuda Van ilinin sarp ve engebeli topoğrafya koşulları da göz önünde bulundurularak GES yer seçiminde yola uzaklığı 100 m'den az olan kesimler ile 3 km'den fazla olan kesimlerin uygunluk sınıflaması az gösterilmiştir (Şekil 7).

### 3.6. Akarsulara Uzaklık

Hidrografik bakımdan Vangölü kapalı havzası içinde bulunan çalışma alanı bazı zamanlarda sel ve taşkınlara maruz kalmaktadır. Bu yüzden GES yer seçimi, su baskınlarından etkilenmeyecek şekilde planlanmalıdır. Keza akarsuya yakın kesimler yoğun arazi kullanımı, tarımsal aktivite, bitki örtüsü ve yerleşke



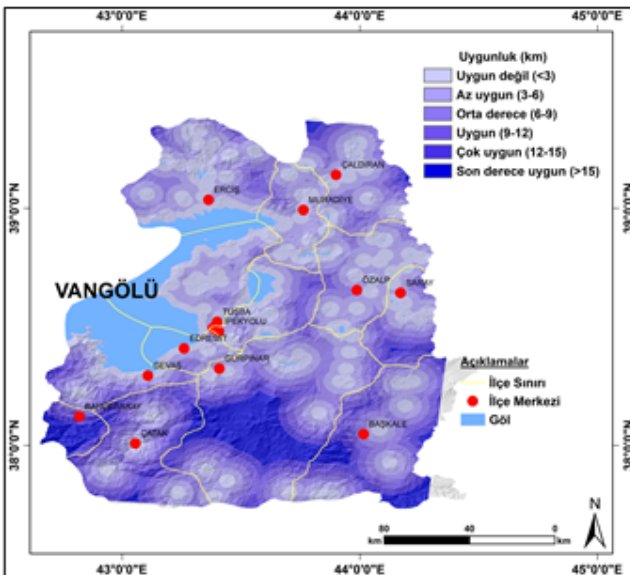
Şekil 7. Van ili yola uzaklık uygunluk haritası.

Figure 7. Distance to road suitability map in Van province.

gibi özelliklerinden dolayı GES kurulumuna uygun değildir. GES kurulumu planlanan yerin su baskınlarından etkilenmemesi için akarsu yatağından en az 400 m uzak olması önerilmektedir (Uzar & Koca, 2020; Arca & Keskin Çıtroğlu, 2022). Bu bağlamda bakıldığında eğimin az olduğu ana akarsu kollarının 1. Teraçe düzeyleri (S1) ve taşkın yatakları GES kurulumuna uygun olmayacağı söylenebilir. Çalışma alanında akarsular tarafından derin yarılmış vadiler olduğu gibi morfolojik olarak geniş vadi tabanlarına denk gelen kesimler, akarsu sekileri ve akarsuya yakın olan az eğimli yamaçlar mevcuttur. Bu alanda taşkınların meydana gelmesi ve buranın tarım/hayvancılık faaliyetlerinde kullanıldığı göz önünde bulundurularak akarsulara uzaklık uygunluk mesafesi belli aralıklar verilerek 6 sınıfta değerlendirilmiştir (Şekil 8).

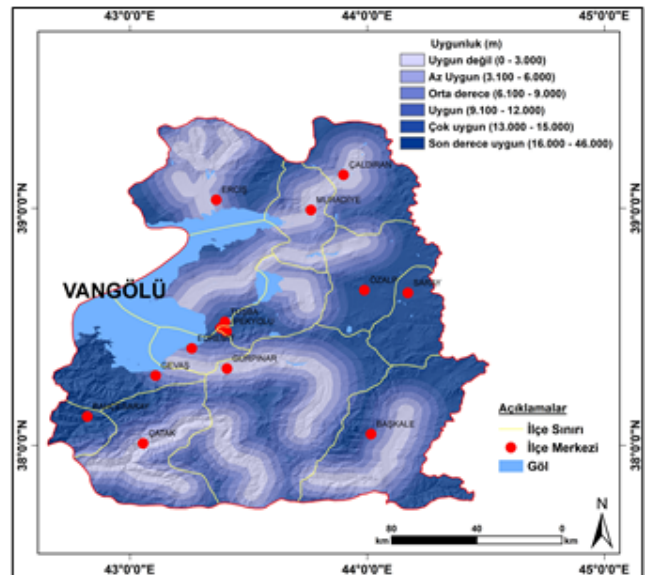
### 3.7. Yükselti

GES yapım yeri seçiminde yükselti önemli bir faktördür (Aykaç, 2020, s.24). Çünkü yükselti koşulları ve iklim koşulları arasında yakın bir bağ vardır. Zorlu hipotermik koşullar (kalıcı kar sınırı ve karlı gün sayısı, buzullaşma gibi) santral kurulumu üzerinde



Şekil 6. Van ili göle uzaklık uygunluk haritası.

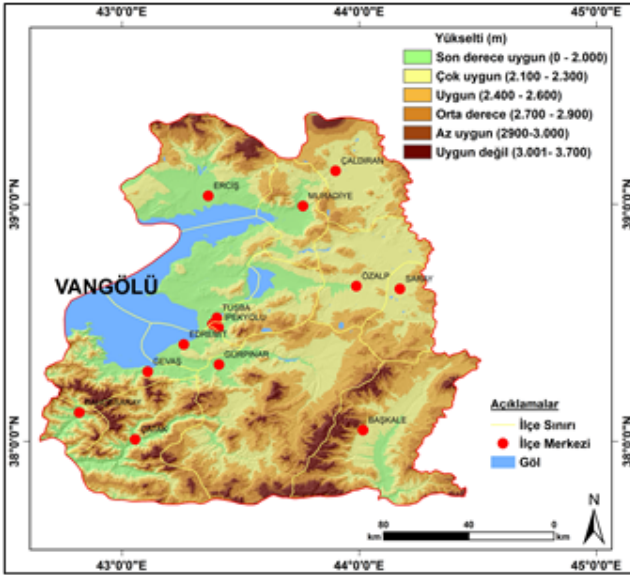
Figure 6. Van province distance suitability map to the lake.



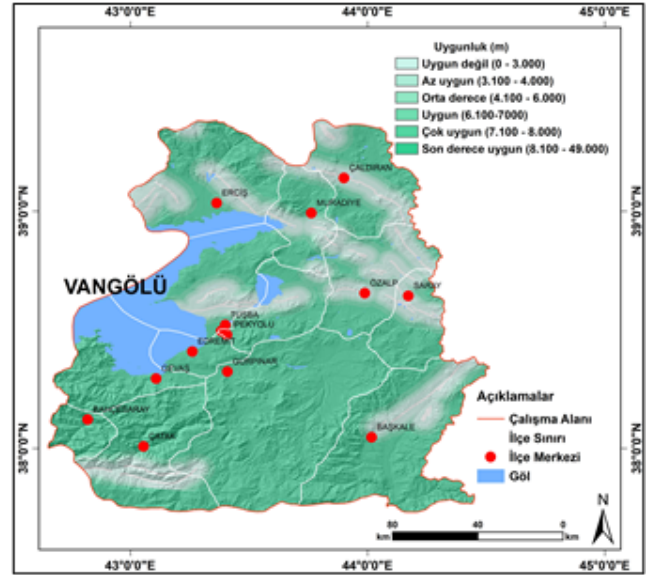
Şekil 8. Van ili akarsu uzaklık uygunluk haritası.

Figure 8. Van province stream distance suitability map.





Şekil 9. Van ili yükselti uygunluk haritası.  
Figure 9. Van province elevation suitability map.



Şekil 10. Van ili faya uzaklık uygunluk haritası.  
Figure 10. Van province fault distance suitability map.

sakıncalı olacağı açıktır. Çalışma alanının içinde bulunduğu Doğu Anadolu bölgesi Orta Miyosen'de Bitlis Kenet kuşağında kıta-kıta çarpışmasıyla rejim değişikliğine geçerek dikey yükselmeye geçmiştir (Şaroğlu & Güner, 1981, s.47). Bu doğrultuda bölgenin ortalama yükseltisi 2000 m'nin üzerindedir (Gümrükçüoğlu, 1986, s.4). Bu durum Van ilinde morfolojinin kısa mesafede değişmesine çoğu yerde dağlık sahalara denk gelen kubbeleşme ve göllere, ovalara denk gelen çanaklaşma şeklinde görülmektedir. Bu durum iklim özelliklerine yansımaktadır. Van ovasında yılın 85 günü yağışlı geçer. Bu yağışlı günlerin 35' inde kar yağar. Kasımda başlayan kar yağışları, mayıs başına kadar devam eder. Yağan kar, uzun süre, 2.5 aydan fazla (79 gün) ovayı örter. Ovadaki kar kalınlığı, zaman zaman 1 m.'yi (en fazla 106 cm) geçer (Kalelioğlu, 1991, s.163). Yükselti koşullarının fazla olduğu yerlerde yağışın kar şeklinde olacağı göz önünde bulundurulduğunda GES panellerinin olumsuz etkileneceği kaçınılmazdır. Bu doğrultuda sahanın yükselti koşulları fiziki coğrafya özellikleri göz önünde bulundurularak 6 kategoride sınıflandırılmıştır (Şekil 9).

### 3.8. Faya Uzaklık

Fay Hatlarına yakın mesafede GES kurulumu sakıncalıdır (Arca & Keskin Çıtroğlu, 2022). Olası depremlerde santralin hasar görme ve çevreye zarar verme ihtimali daha fazla olacağı açıktır. Bu yüzden GES kurulum yeri belirlenirken fay hatlarına olan mesafe dikkate alınmaktadır. Çalışma alanında Çaldıran- Muradiye civarında bulunan KB-GD uzanımlı fay hattına yakın alanda GES kurulumu uygun değildir. Çalışma alanına ait fay hatlarına uzaklık uygunluk haritası aşağıdaki gibidir (Şekil 10).

Buna göre Çaldıran ve Muradiye arası GES kurulumu bakımından risklidir. Van ilinin tektonizma bakımından aktif bir bölgede yer aldığı dikkate alınarak faya uzaklık 6 sınıfa ayrılmıştır.

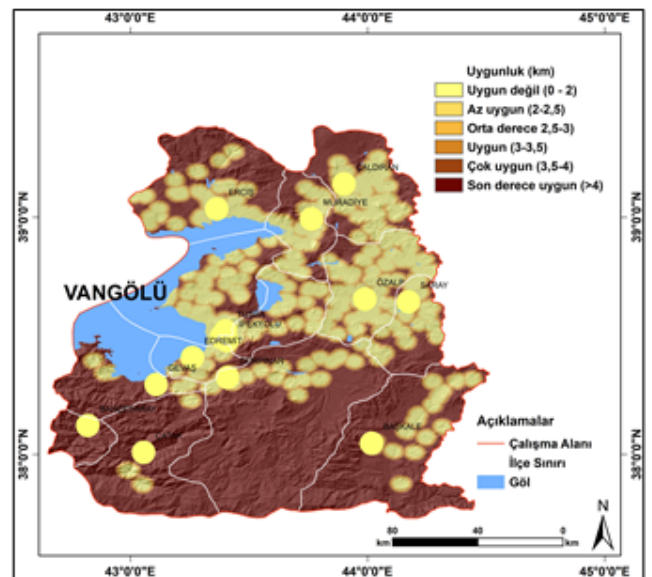
### 3.9. Yerleşim yerlerine Uzaklık

GES panellerinin yerleşim yerlerine çok yakın kurulması önerilmemektedir (Arca & Keskin Çıtroğlu, 2022). Panellerin aydınlatma ve ışık yansımaları gibi etkileri olduğundan yerleşmeye uzak

kurulması yerleşim yeri termal konfor koşulları bakımından önemlidir. Bu durum genel olarak sosyal kabulle ilgili bir durum görülse de başka açılardan da sakıncalı olabilir. Buna karşın GES'in yerleşim yerinden çok uzak olması da enerji iletim masrafını artıracaktır. Bu yüzden GES'in kurulum noktası optimum planlanmalıdır (Eroğlu, 2018). Nüfusun ve yerleşim yerlerinin sayısının gün güne arttığı veya artacağı göz önüne alındığında yerleşim yerinden uzak olan GES panellerinin kısa bir zaman sonra yerleşim yerlerinin arasında kalabileceği göz önüne alınarak yerleşim yeri uzaklık sınıflandırılması yapılmıştır (Şekil 11).

### 3.10. Bakı Uygunluk

GES kurulum yönü, panellerin kurulacağı yerin konumuna göre planlanmalıdır. Türkiye gibi kuzey yarım kürede bulunan ülkelerde güneş paneli güneye doğru yönlendirilir (Aykaç, 2020, s. 24). Yer seçiminde güneşten maksimum fayda görülecek güney sektörlü cephelerin tercih edilmesi önerilir (Gerçek, 2018; Arca & Keskin Çıtroğlu, 2022). Bu bilgiler ışığında bakı uygunluk



Şekil 11. Van ili yerleşke uzaklık uygunluk haritası.  
Figure 11. Van province residential area distance suitability map.

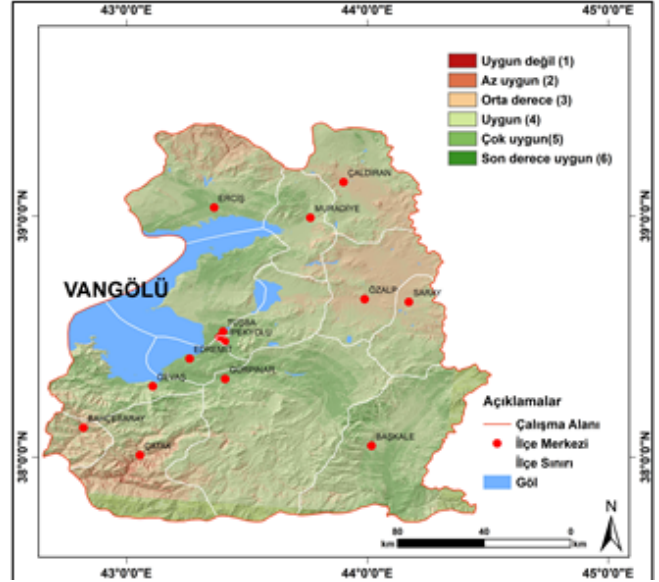


Şekil 12. Van ili bakı uygunluk haritası.

Figure 12. Van province aspect suitability map.

sınıflaması yapılan çalışma sahasının uygunluk haritası üretilmiştir (Şekil 12). Genel olarak bakıldığında uygun bakı alanının fazla olmakla beraber homojen dağılım göstermediği görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan her kriterin tek başına analizi yapılarak uygunluk haritası üretilmiştir. Bu kriterler bir araya getirilip CBS ortamında GES kurulumu uygunluk haritası üretilmiştir. Bu çalışmada elde edilen harita "son derece uygun", "çok uygun", "uygun", "orta derece uygun", "az uygun", "uygun değil" olmak üzere altı (6) sınıfa ayrılmıştır. Farklı araştırmacılar değişik konularda GES (Güneş Enerjisi Santrali) uygunluk haritasının ortaya konulmasında farklı sınıflandırmalar ve farklı kriterler kullanmışlardır. Majumdar & Pasqualetti (2019) çalışmalarında yaban hayatına mesafe, kültürel ve tarihi yerlere mesafe, rekreasyon alanlarına mesafe gibi kriterleri de göz önünde bulundurmuşlardır. Van ili için bu kriter, kullanılan kriterlerden sonrageldiği için dikkate alınmamıştır. Ali vd (2019) & Watson & Hudson (2015) çalışmalarında tarım alanlarına uzaklık kriterini GES uygunluk analizine eklemişlerdir. Özdemir & Şahin (2018) & Uyan (2013) yaptıkları çalışmada kuş göç yollarını da araştırmaya eklemişlerdir. Van ilinde kuş konaklama istasyonları sulak alanlar ve göl kıyıları kapsadığı için göle uzaklık kriterinin kullanılması yeterli görülmüştür. Keza GES panellerinin RES panelleri gibi kuşlara olumsuz etkileri olmadığından çalışmaya dahil edilmemiştir. Yalçın & Yüce (2020) çalışmasında 4 kriter kullanarak 4 uygunluk sınıflaması yapmıştır. Arca & Keskin Çitiroğlu (2022) çalışmasında Karabük için uygun GES yer seçiminde solar radyasyon, yön, eğim, yola ve akarsuya olan uzaklık, faya uzaklık, litoloji, arazi kullanımı, yerleşmeye uzaklık ve enerji hattına uzaklık faktörlerini kullanarak GES kurulabilecek sahaları ortaya koymuştur. Bu kriterlerin ağırlıklı çakıştırması sonucunda 4 adet uygunluk sınıflaması tanımlamışlardır. Meral (2022) çalışmasında Bingöl İli GES Alanlarının Uygunluk Analizi için yaptığı çalışmada 6 adet uygunluk sınıflaması tanımlamıştır. Van için ise farklı olarak yükselti ve göle uzaklık faktörü çalışmamızda kullanılmıştır. Demir (2023) çalışmasında 7 kriter (eğim, bakı, solar radyasyon, arazi kullanımı, trafo hattına uzaklık, yola uzaklık ve sıcaklık) kullanarak 4 adet uygunluk sınıflaması yapmıştır. Ancak Van'ın morfolojik ve tektonik özellikleri



Şekil 13. SPP uygunluk haritası.

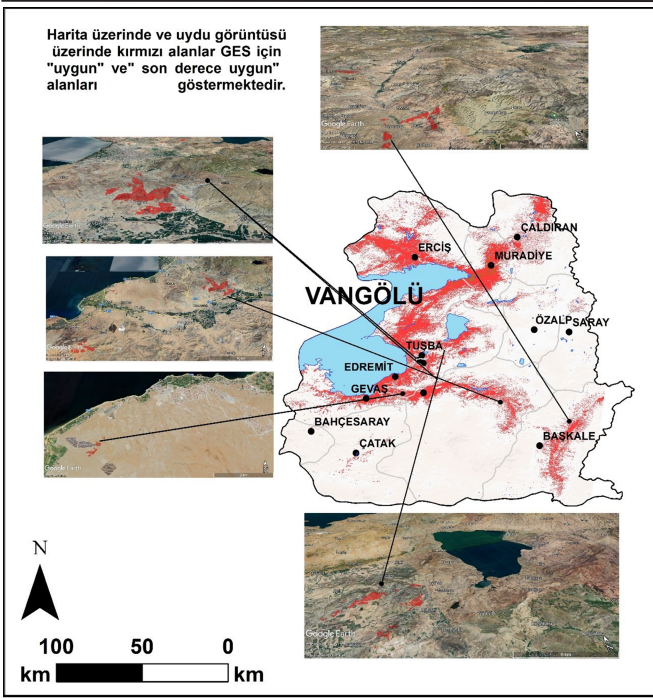
Figure 13. SPP suitability map for Van province.

göz önünde bulundurularak ek olarak göl, yükselti, fay kriterleri kullanılmıştır. Arazi kullanımı tercih edilmemiştir. Van'da hayvancılık ve tarımsal faaliyetler ön planda olduğu, CORINE'den elde edilen verilerin sahada tam karşılığı olmayacağı göz önünde bulundurularak bu kriter için özel bir analiz yapılmamasında fayda olacağı düşünülmüştür. Yapılan çalışmalarda seçilen kriterler o yerin coğrafi özelliklerine göre tercih edildiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada da kriterler ve önem derecesi belirlenirken başta Van ilinin coğrafi özelliklerinden (neotektonikle değişen jeoloji ve jeomorfoloji özellikleri), uzmanlardan sözlü görüş, saha gözlemleri, benzer coğrafi koşullara sahip yerlerde yapılmış çalışmalar ile diğer literatürden fikir edinilerek belirlenmiştir. Nihayetinde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinden faydalanılması temiz ve sağlıklı bir çevre ve ucuz enerji temini açısından dünyaya katkı sağlayacaktır.

Ayrıca gerçekleştirilen bu çalışma CBS tabanlı ÇKKA ve AHY yöntemlerinin de uygun yer seçimi ve haritalarının üretilmesinde oldukça etkili bir yöntem olduğunu ortaya koyması bakımından önem sunmaktadır. Bu çalışmada ÇKKA yöntemlerinden AHY'nin kullanımı, anlaşılması ve uygulaması kolay olması, hızlı bir şekilde çözüme gitmesi, kendi içinde kontrol mekanizması sunması ve yukarıda da ifade edildiği gibi birçok çalışmada tercih edilmiş olmasıdır. Nihai olarak GES kurulumuna müsait olan ve olmayan yerleri gösteren uygunluk haritası üretilmiştir (Şekil 13).

#### 4. Sonuçlar

CBS ve AHY, bu tip çalışmalarda kullanılabilecek etkili bir yöntemdir. Çalışma sonucunda solar radyasyon şiddetinin yüksek olduğu Van ilinde GES kurulumuna müsait alanların tespiti için ek kriterlerin (eğim, bakı, yerleşim yeri, akarsu, yol, göl, enerji hatları, fay, yükselti) değerlendirmeye alınması sonucunda üretilen GES uygunluk haritasında Van ilinde GES için uygun yerlerin fazla olduğu görülmektedir. Keza mevcut GES olan yerler ile bu çalışmadan elde edilen uygun yerlerin örtüştüğü görülmektedir (Şekil 14). Öyle ki GES için "son derece uygun" ve "çok uygun" yerlerin 635 Ha alan kapladığı, homojen dağılım göstermediği anlaşılmıştır.



Şekil 14. Van ili için GES kurulumuna "çok uygun, uygun" ve "son derece uygun" bazı yerlerin harita ve uydu görüntüsü.

Figure 14. Map and satellite view of "suitable" and "extremely suitable" places for SPP in Van province.

Genel olarak bakıldığında Vangölü havzasının güneydoğu kesimi, Gevaş, Gürpınar-Başkale istikametinde uzanım gösteren az eğimli vadiler, yol, enerji hattı, yerleşim yeri ve drenaj ağlarına optimum uzaklıkta bulunan yerler GES için uygun olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın eğimin çok fazla, topoğrafyanın girtintili ve çıkıntılı olduğu, yükseltinin fazla ve kalıcı kar sınırının fazla olduğu Bahçesaray ve Çatak'ın yüksek kesimleri GES için "uygun değil" sınıfında bulunmaktadır. Ancak ilin ekonomisinin temel unsurlarından biri olan tarımsal faaliyetler ve hayvancılık dikkate alındığında GES kurulumu uygunluk sahasına denk gelen mera ve çayır gibi ot-çalı formasyonlarını barındıran yerlerin tarımsal ve hayvancılık faaliyetinde dezavantaj oluşturacağı açıktır. Bu minvalde GES kurulumu planlamasında tarım ve hayvancılık için özgün bir analiz yapılmasında fayda vardır. Nihayetinde bütünsel olarak bir değerlendirme yapılırsa burada dikkate alınmayan diğer hususlarda kapsama alınarak uygun yerlere GES kurulması Van'da insan ve çevre sağlığı için uygun ortam ayrıca ülkeye ekonomik katkı sunacağı açıktır. Van ili GES için yer seçimi analizi yapılan bu çalışmada, coğrafi bakışla güneş enerjisi için önemli derecede potansiyeli olan bir il olduğu sonucuna varılmıştır. Bu potansiyel kullanılıp, etkili şekilde değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu çalışmada kullanılan coğrafi kriterlere ek olarak diğer disiplinlerinde bakış açısıyla genişletilerek hassas bulgulara ulaşılabilir. Kısacası konu uzmanlarının görüşleri ve mevzuatlar dikkate alınarak multidisipliner bir yaklaşımla GES yer seçimi sürecinde doğru ve ekonomik yatırımın yapılabilmesinde başarılı sonuçların elde edilebileceği söylenebilir.

**Çıkar Çatışması/Conflict of interest:** Yazarherhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. *The author declare that there is no conflict of interest.*

## Kaynakça

- Adjiski, V., Kaplan, G., & Mijalkovski, S. (2023). Assessment of the solar energy potential of rooftops using LIDAR datasets and GIS based approach. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 188-199. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1112274>
- Akdeniz, E. (2018). AHP yöntemi ile bir işletmede en iyi çalışanın seçilmesi: BT sektöründe bir organizasyon incelemesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (31), 61-90.
- Akova, İ. (2003). Dünya enerji sorunu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, 11, 47-73.
- Al Garni, H. Z. & Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206, 1225-1240. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>
- Ali, S.V & Taweekun, J. & Techato, K. & Waewsak, J. & Gyawali, S. (2019). GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy*, 132, 1360-1372. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.035>
- Arca, D. & Keskin Çıtroğlu, H. (2022). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik*, 7(1), 17-25. <https://doi.org/10.29128/geomatik.803200>
- ASF, (2023). *Alaska Satellite Palsar*. <https://asf.alaska.edu/datasets/daac/alos-palsar/>
- Ayday, C. & Yaman, N. & Sabah, L. & Höke, O. (2016). Güneş enerji santrali yer seçiminde açık kaynak kodlu CBS kullanımı-Eskişehir il örneği. İçinde Maktav, D., & Berberoğlu, S. (Eds.), 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu Bildiriler Kitabı (UZAL-CBS 2016)*, (ss. 510-520).
- Aydıncioğlu, M. (2019). *Van ili güneş enerji santralleri raporu*, Van ve Ticaret Sanayi Odası, Van.
- Aykaç, Y.E. (2020). *Güneş enerji santrali yer seçimi için iki aşamalı bir model önerisi: Tunceli örneği* (Tez No. 659189) [Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi]. Yök Tez Merkezi.
- Bilhan, A. & Emikönel, S. (2021). Nevşehir ili güneş enerji potansiyelinin analizi ve kurulu güneş enerji santralleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 289-294.
- Brewer, J. & Ames, D. P. & Solan, D. & Lee, R., & Carlisle, J. (2015). Using GIS analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability. *Renewable energy*, 81, 825-836.
- Can, G. ve Yücel, M. A. (2019, 25-27 Nisan). *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 multicriteria evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561.
- Çiftçi, A. ve Altundağ, E. (2017). Burdur bölgesi güneş enerjisi potansiyelinin elektrik üretiminde kullanılabilirliği. *Mesleki Bilimler Dergisi*, 6(2), 111 - 120.
- 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>

- Demirci, A. (2019). Kuruluş yeri seçiminde analitik hiyerarşik süreç yöntemi: sağlık kurumlarında bir uygulama. *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 5(1), 39-55. <https://doi.org/10.29131/uiibd.539058>
- Effat H A (2013). Selection of potential sites for solar energy farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and multicriteria analysis. *International journal of advanced remote sensing and GIS*, 2(1), 205-220.
- Ekiz, S. & Şirin, A. ve Erener, A. (2022). En uygun rüzgâr enerji santrali yerlerinin bakanlığı bilgi sistemlerinin belirlenmesi: Kocaeli ili örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 9(1), 59-79. <https://doi.org/10.9733/JGG.2022R0005.T>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), (2023). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
- Erdoğan, S. (2020). Enerji, çevre ve sera gazları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 277-303. <https://doi.org/10.18074/ckuiibfd.670673>
- Eroğlu, H. (2018). Güneş enerji santralleri için uygunluk haritasının elde edilmesi: bir uygulama. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(4), 97-106.
- Gerçek Y (2018). *Güneş enerji santralleri için CBS ile en uygun yer tayini: Malatya ili örneği* (Tez No. 503441) [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. [Yök Tez Merkezi](https://tez.izmir.edu.tr/tez/503441).
- Güçlüer, D. (2010). Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS-çok ölçütlü karar analizi yöntemi ile belirlenmesi (Tez No. 296834) [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Yök Tez Merkezi.
- Gümrükçüoğlu, M. (1994). *Türkiye’de topografyanın yağış miktarı ve dağılımı üzerindeki etkileri* [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Güner, E. D. & Tekin, S. & Çilek, M., & Çilek, A. (2021). Güneş enerjisi santrali için uygun alanların CBS tabanlı AHP yöntemi ile belirlenmesi: Mersin ili örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36, 11-24. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.933209>
- Hang Q, Jun Z, Xiao Y & Junkui C (2008). Prospect of concentrating solar power in China— the sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2505-2514.
- International Energy Agency (IEA) (2023). World Energy Investment. <https://www.iea.org/reports/world-energyinvestment-2023>
- Kalelioğlu, E. (1991). Van Ovasının iklim özellikleri. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 35(2), 155-166.
- Kapluhan, E. (2015). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: Güneş enerjisinin Dünya’daki ve Türkiye’deki kullanım durumu. *Coğrafya Dergisi*, (29), 70-98.
- Karaaslan, A. & Aydın, S. (2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirilmesi: Türkiye örneği. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(4), 1351-1375. <https://doi.org/10.16951/atauniibd.749466>
- Kengpol, A, & Rontlaong, P. & Tuominen, M. (2013). A decision support system for selection of solar power plant locations by applying fuzzy AHP and TOPSIS: An empirical study. *Journal of Software Engineering Application*, 6(9),470-481.
- Koç, E. & Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Kum, G. & Sönmez, M. E. & Karabaş, M. (2019). Gaziantep ilinde güneş enerjisi potansiyelinin analitik hiyerarşik süreci yöntemi (AHP) ile belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, (39), 61-72. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2019-0031>
- Lee, H. C. & Chang, C. T. (2018). Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 883-896.
- Majumdar, D. & Pasqualetti, M. J. (2019). Analysis of land availability for utility-scale power plants and assessment of solar photovoltaic development in the state of Arizona, USA. *Renewable Energy*, 134, 1213-1231. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.064>
- Meral, A. (2022). Yenilenebilir enerji sistemlerinde CBS kullanımı; Bingöl ili GES (güneş enerji sistemleri) alanlarının uygunluk analizi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 18(2), 444-460.
- Noorollahi, E & Fadaei, D. & Akbarpour, S. M. & Ghodsipour, S. (2016). Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)— a case study of Iran. *Energies*, 9(8), 643.
- Oral, M. (2020). Solar energy potential of Turkey and evaluation of PV applications in local scale: Case of Karabük province. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42, 482-503.
- Özdemir, S. & Sahin, G. (2018). Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 129, 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.020>
- Rüstemli, S. & Dinçer, F. (2011). Van ili elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisinin mevcut durumu ve geleceği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 22-33.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, 9(3-5), 161-176. [http://dx.doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](http://dx.doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Sánchez-Lozano J M, Teruel-Solano J, Soto-Elvira P & García-Cascales M S (2013). Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24,544-556.
- Sarıkaya, S. (2009). Güneş enerjisi sektörel analiz raporu, *Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı*, Van.
- Şaroğlu, F. & Güner, Y. (1981). Doğu Anadolu’nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24(2), 39-50.
- Şekeroğlu, A. & Özkaynak, M. & Alkan, A. Y. & Başkan, A. (2021). Mekânsal planlamada yenilenebilir enerji tesisi yer seçimi: TR83 bölgesi örneği. *Kent Akademisi*, 14(1), 1-19.
- Taktak, F. & İli M. (2018). Güneş enerjisi santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği. *Geomatik*, 3(1), 1-21.
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.
- Uyan, M. (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek çözümler AHP yöntemi ile CBS destekli haritalama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351.
- Uyan, M. (2017). Güneş enerjisi kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS Destekli Haritalandırılması. *Pa-*

- mukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351.
- Uzar, M. & Koca, H. (2020). Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi için uygunluk haritasının oluşturulmasında klasik ve bulanık mantığa dayalı yöntemlerin analizi: Menemen örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 7(1), 11-28. <https://doi.org/10.9733/JGG.2020R0002.T>
- Watson, J. J. W., & Hudson, M. D. (2015). Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 138, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.001>
- Wind, Y. & Saaty, T.L. (1980) Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 26, 641-658. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.26.7.641>
- Yalçın, C. & Yüce, M. (2020). Burdur'da güneş enerjisi santrali (GES) yatırımına uygun alanların CBS yöntemiyle tespiti. *Geomatik*, 5(1), 36-46. <https://doi.org/10.29128/geomatik.56192>
- Yaman, A. & Yakin, A. & Behçet, R. (2019). Van ili güneş ve hidroelektrik enerjilerinin potansiyeli ve ilin ekonomisine katkıları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 243-250.
- 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>