

Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde CBS Kullanımı; Bingöl İli GES (Güneş Enerji Sistemleri) Alanlarının Uygunluk Analizi

Use of GIS in Renewable Energy Systems; Compliance Analysis of Bingöl Province SPP (Solar Plant Power) Areas

 Alperen MERAL¹

Özet

Bu çalışmada Bingöl ilinde GES (Güneş Enerji Sistemleri) kurulumları için uygun alanlar CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve ağırlıklı çakıştırma metodları kullanılarak haritalanmıştır. Haritalama yapılırken akarsulara uzaklık, CORINE arazi kullanımı, bakı grupları, eğim grupları, enerji nakil hatlarına uzaklık, fay hatlarına uzaklık, jeolojik formasyon, solar radyasyon indisi, yerleşim yerlerine uzaklık ve yollara uzaklık ana kriterleri kullanılmış ve bunlardan üretilen 77 alt kriter ile çalışma tamamlanmıştır.

Çalışma sonucunda Bingöl ilinde toplam 5223.753ha alanın GES kurulumu için uygun yapıda olduğu belirlenmiştir. Enerji veriminin artırılması için Bingöl'de kurulan Aşağı Kaleköy Barajı Hibrit Santrali gibi hibrit enerji üretimine imkan sağlayan santrallere yer verilmesi ön görülmüştür. Ayrıca temiz enerjinin üretilmesi için devlet politikalarının da geliştirilmesi gerektiği diğer bir öngörü olarak araştırmaya eklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerji Sistemleri, GIS, AHP

Abstract

In this study, suitable areas for SPP (Solar Plant Power) constructions in Bingöl province were mapped using GIS (Geographical Information Systems), AHP (Analytical Hierarchy Process) and weighted sum methods. While mapping, the main criteria of distance to rivers, CORINE land use, aspect groups, slope groups, distance to power transmission lines, distance to fault lines, geological formation, solar radiation index, distance to settlements and distance to roads were used and the study was completed with 77 sub-criteria produced from these.

As a result of the study, it was determined that a total area of 5223,753ha in Bingöl is suitable for the construction of GES. In order to increase energy efficiency, it has been foreseen to include power plants that allow hybrid energy production, such as the Lower Kaleköy Dam Hybrid Power Plant established in Bingöl. In addition, it was added to the research as another foresight that government policies should be developed for the production of clean energy.

Keywords: Solar plant power, GIS, AHP

1. Giriş

Günümüzde dünyanın enerji talebi petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtların kullanımıyla neredeyse tamamen karşılanabilmektedir. Fosil yakıtların kullanımının yarattığı ekonomik, sosyal ve çevresel etkiler küresel ölçekte iyi bilinmekle beraber, günümüzde bazı tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Özellikle iklim değişikliği üzerindeki etkilerini azaltmak için sera gazı emisyonlarının da azaltılması gerekmektedir (IEA, 2010).

Başlıca dezavantajı olarak, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili temel sorun, rüzgar hızı veya güneş ışınımı gibi çevresel koşullara bağımlılıktır. Bu gibi doğal kaynaklar belirsizlik ve kesintili yapı nedeniyle sürekli güç sağlayacak potansiyel taşımamaktadırlar. Ancak temiz enerji için vazgeçilmez alternatifleri oluştururlar (Krishna ve Kumar, 2015).

Fosil yakıtların tüketiminin azaltılması, kısmen de olsa sera gazı etkisinden sorumlu olan CO₂ üretiminin azaltılabilmesi ve daha temiz bir çevreye sahip olunabilmesi için, günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması kaçınılmazdır. Tüm yenilenebilir kaynaklar arasında (rüzgar, hidroloji, güneş, jeotermal vb.) güneş enerjisi, dünyaya çarpan büyük miktarda güneş ışınımı nedeniyle büyük önem arz etmektedir (Guy, 1977; Pelay ve ark., 2017). Ayrıca güneş enerji santralleri, yüksek verimlilik, düşük enerji maliyeti ve ölçek büyütme potansiyeli nedeniyle cazip bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Desideri ve Campana, 2014).

Fosil yakıtlardaki yüksek bağımlılık, yakıt fiyatlarındaki artış, CO₂ ve diğer kirletici emisyonlarının azaltılması gerekliliği ve enerji talebinde öngörülen artış, dünya ülkelerini yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerine yönlendirmektedir. Bu kaynaklar arasında güneş enerjisi, temiz ve bol olması nedeniyle en yüksek potansiyele sahip kaynaktır (Hearps ve McConnel, 2011) Güneş ışığından elde edilen enerji, insanların bir yıl boyunca tükettiği tüm enerjinin daha fazlasını 1 saat içerisinde dünyaya göndermektedir (Zhang ve ark., 2013).

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi dünya çapında hızlı bir büyüme yaşamaktadır (Turney ve Fthenakis, 2011). Dayanıklı ve yaygın bir enerji kaynağı sağlanması bakımından, güneş enerjisi uygun maliyetli bir şekilde yakalanmalı, depolanmalı ve kullanılmalıdır (Zhang ve ark., 2013). Dünya çapında mevcut kurulu kapasite 22GWp'nin üzerindedir. Bu oran her yıl %40 oranında artmaktadır (EPIA, 2010; Gay, 2010). 2050 yılında küresel elektrik üretiminin %11'ine katkıda bulunacağı tahmin edilmektedir (Pelay ve ark., 2017). Türkiye'de toplam kayıtlı GES sayısı 674, toplam kurulu gücü ise 8355MW'dir. 2021 yılında Türkiye'deki GES'lerden 13.294.280.980kW elektrik üretilmiştir(URL1).

Türkiye'nin ısısal güneş enerjisi üretimi ve kullanımı açısından dünyada dördüncü sırada gelmesi ve GES'lerin günlük yaşamdan askeriyeye, tarımdan sanayiye kadar geniş bir yelpazede kullanılabilmesi nedeniyle GES çalışmaları ülkemiz için önemli araştırmalar olarak karşımıza çıkmaktadır (Kırbaş ve ark., 2013; Yalçın ve Yüce, 2020). Bu çalışmalarda kullanılacak CBS teknikleri kaynakların mekânsal ve zamansal

haritalanmasında ve bölgesel enerji planlamasında yardımcı etmen olarak karşımıza çıkmaktadır (Ramachandra, 2007).

Yapılan araştırmada CBS tekniklerinin kullanılarak Bingöl ilinde GES kurulumu için uygun alanların tespit edilmesidir. Sonuç olarak on kriter değerlendirilmiş olup Bingöl ilinde 5223,753ha alanın GES kurulumu için uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kaynak mevcudiyeti ve mekânsal veri tabanlarının oluşturulmuş olması, mevcut güneş enerjisi potansiyelini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve kurgulanması için altlık oluşturmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

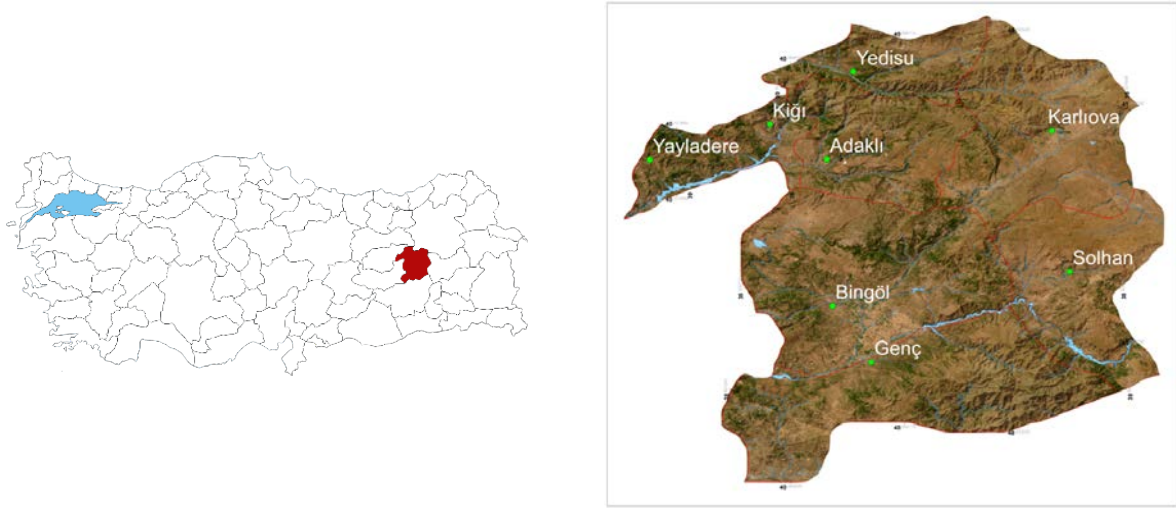
2.1. Materyal

Materyal olarak Bingöl ili solar radyasyon haritası, enerji nakil hatları haritası, eğim haritası, arazi kullanımı haritası, yol ağı haritası, akarsu ağları haritası, litoloji haritası, fay hatları haritası, yerleşim yerleri haritası ve bakı haritası olmak üzere 10 farklı harita kullanılmıştır.

Güneş enerji santrallerinde arazi eğiminin verimi etkilediği birçok literatürde göze çarpmaktadır. Enerji santrallerinde verimin yüksek olması için eğimin %1-3 arasında olması gerekmektedir. %3 eğimden daha fazla eğimin olduğu arazilerde verimliliğin düşeceği kabul edilmektedir. 0 eğim araziler ise su birikmesi ve drenaj maliyetinden dolayı çok fazla tercih edilmemektedir (Hang ve ark., 2008; Özcanlı ve ark., 2021).

2.1.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Bingöl il sınırları seçilmiştir. Yüzölçümü itibari ile Türkiye’de 40. sırada olan ilin yüz ölçümü 8.003km²’dir. İlin kuzeyinde Karagöl ve Şeytan Dağları, kuzeydoğusunda Bingöl Dağı, doğusunda Şerafettin Dağları, güneyinde Akçakara dağı ve batısında Karaboğa Dağları yer almaktadır. Bu dağlık sahalar arasında aşınım düzlükleri, vadiler, volkanik platolar ve ovalar yerleşmiştir (Yakut ve Ceylan, 2022) (Şekil 1). Thorntwaite yöntemine göre ilin iklim tipinin ‘Nemli Mezotermal’ olduğu rapor edilmiştir (Demir ve ark., 2015).



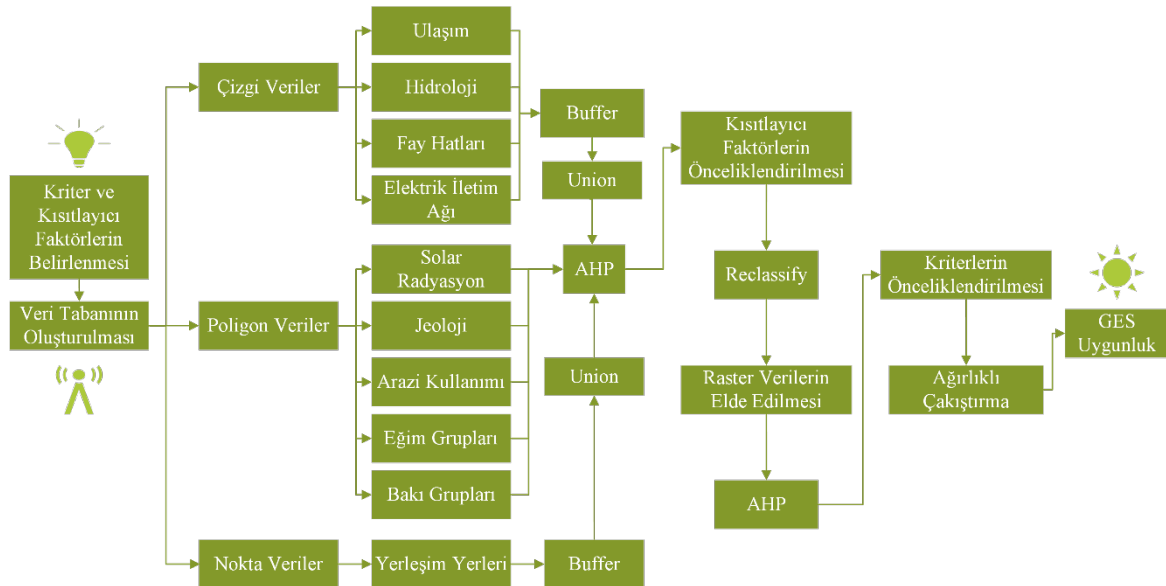
Şekil 1. Bingöl ili haritası.

Bingöl ilinde güneşlenme süresi 2719saat/yıl iken ortalama radyasyon değeri 1592KWh/m²/yıl olarak hesaplanmıştır (URL2).

2.2. Yöntem

2.2.1. Yöntem Akış Şeması

GES uygunluk kriterleri belirlenirken solar radyasyon, ulaşım ağları, hidrolojik yapı, fay hatları, elektrik iletim ağı, jeolojik yapı, arazi kullanım durumu, eğim grupları, baki grupları ve yerleşim yerleri olmak üzere on farklı veri tabanı kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Yöntem akış şeması.

Elde edilen veriler yapılacak analizlere göre sınıflandırılarak raster veriye dönüştürülmüş daha sonra AHP metodu ile önceliklendirilerek ağırlıklı çakıştırma metoduna tabi tutulmuş ve GES uygunluk haritası oluşturulmuştur.

2.2.2. Kullanılan Parametreler

Bingöl ili GES uygunluk analizi hazırlanırken ulaşım ağları, hidrolojik ağ, fay hatları, elektrik iletim ağı, solar radyasyon indisi, jeolojik formasyon, arazi kullanım durumu, eğim grupları, bakı grupları ve yerleşim yerleri baz alınmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. GES uygunluğunun belirlenmesine yönelik AHP karar hiyerarşisi ve kaynaklar.

Veri Tipi	Parametreler	Veri Kaynağı	Sınıflandırma Kaynağı
Yollara uzaklık (metre)	100m / 500m / 1000m 1500m / 2000m / 2000+m	Open Street Map	(Arca ve Çıtıroğlu, 2020; Yalçın ve Yüce, 2020)
Akarsuya uzaklık (metre)	500m / 1000m / 1500m / 2000m 2500m / 3000m / 3000+	Open Street Map, ArcGIS Hydrology Tool	(Arca ve Çıtıroğlu, 2020; Gašparović ve Gašparović, 2019)
Fay hatlarına uzaklık (metre)	1000m / 2000m / 3000m 4000m / 4000+m	MTA	(Arca ve Çıtıroğlu, 2020)
Elektrik iletim ağlarına uzaklık (metre)	1000m / 2000m / 3000m 4000m / 5000m / 5000+m	overpass-turbo.eu	(Al Garni ve Awasthi, 2017; Arca ve Çıtıroğlu, 2020)
Solar radyasyon indisi (kWh/m)	1411-1624 / 1624-1679 / 1679-1716 1716-1751 / 1751-1802	globalsolaratlas.info	(Arca ve Çıtıroğlu, 2020)
Jeolojik formasyon	Alüvyon / Ayrılmamış bazik kayalar Ayrılmamış karasal kırıntılılar Ayrılmamış kuvaterner Ayrılmamış volkanitler / Bazalt Çörtlü mermer / Gnays, şist Granitoidler / Karasal kırıntılılar Kırıntılılar ve karbonatlar / Mermer Neritik kireçtaşı / Ofiyolitik melanaj Şistler / Traverten Volkanitler ve sedimenter kayalar	MTA	(Arca ve Çıtıroğlu, 2020; Yalçın ve Yüce, 2020)
Arazi Kullanımı	Bataklıklar / Kumul alanlar Maden sahaları / Mera alanları Ormanlık alanlar Su yüzeyleri ve su yolları / Tarım alanları Yerleşim yerleri / Çayırılık alanlar Çıplak kayalık alanlar	land.copernicus.eu	(Arca ve Çıtıroğlu, 2020)
Eğim grupları (%)	0-1 / 1-3 / 3-6 / 6-12	DEM	(Hang ve ark., 2008;

Veri Tipi	Parametreler	Veri Kaynağı	Sınıflandırma Kaynağı
	12-24 / 24-40 / 40+		Özcanlı ve ark., 2021)
Bakı grupları	Düz / Kuzey / Kuzeydoğu / Doğu Güneydoğu / Güney / Güneybatı Batı / Kuzeybatı	DEM	(Güner ve ark., 2021; Hang ve ark., 2008)
Yerleşim yerlerine uzaklık (metre)	500 / 1000 / 1500 2000 / 2500 / 2500+	Open Street Map	(Aly ve ark., 2019; Güner ve ark., 2021)

2.2.3. AHP Metodu

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), karmaşık karar problemlerinde, karar alternatif ve kriterlerine, göreceli önem değerleri verilmek suretiyle yönetsel karar mekanizmasının çalıştırılması esasına dayanan bir karar verme işlemidir (Timor, 2011). AHP’de karar hiyerarşisinin oluşturulmasında en üst düzeye, projenin genel amacının yerleştirilmesi ile başlanır. Daha sonra alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterler, hiyerarşik bir yapıda düzenlenir. Hiyerarşinin en alt düzeyinde problemin karar alternatiflerinin yerleştirilmesi ile süreç tamamlanır (Demir, 2022; Meral ve Eroğlu, 2021; Saaty, 2008; Şen ve Güngöl, 2018; Timor, 2004).

AHP’deki işlemleri gerçekleştirmek için öncelikle bir karşılaştırma matrisi oluşturmak gerekmektedir, ikili karşılaştırma matrisinin genel formu (1) eşitliği ile hesaplanır;

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ 1/a_{12} & a_{22} & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

İkili karşılaştırma matrisinde öncelik (özdeğer vektörü) olan W hesaplanır;

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$$

(2)

ile gösterilir ve w_i öncelik (özdeğer) olarak tanımlanır. İkili karşılaştırma matrisi pozitif değerlerden oluşan bir kare matristir ve matris eğer tam tutarlı ise;

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ij} x a_{jk} = a_{ik} \quad (i, j, k = 1, \dots, n)$$

(3)

$$i=1 \quad j=1 \quad k=1$$

$$|a_{ij}| x |a_{jk}| = (w_i/w_j) x (w_j/w_k) = (w_i/w_k) = a_{ik}$$

(4)

(9) ve (10) eşitlikleri sağlanır (Saaty, 1982, 2000).

A matrisi tam tutarlı ise herhangi bir satırsan matrisin tüm öğeleri kolaylıkla elde edilebilir. Yapılması gereken toplam karşılaştırma sayısı, seçenek sayısı olan n'nin 2'li kombinasyonuna eşittir. Bu matrisin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektör matrisi AHP'de ağırlık (öncelikler vektörü) olarak adlandırılır (Saaty, 1982, 2000; Timor, 2011).

Öncelikler vektörü ile başlangıçtaki karşılaştırma matrisi çarpılarak "tüm öncelikler matrisi" hesaplanır ve elde edilen matris elemanları öncelikler vektörü elemanlarına bölünür. Böylece γ_{max} 'ı hesaplamak için değerler ortalaması bulunur (Timor, 2011).

γ_{max} hesaplandıktan sonra uyum indeksi (5) eşitliğine göre hesaplanır;

$$CI = (\gamma_{max} - n)/(n - 1)$$

(5)

Uyum indeksinden sonra uyum oranının hesaplanması için ise Ratgele Değer İndeksi seçilir ve hesaplamada (6) eşitliği kullanılır;

$$CR = CI/RI$$

(6)

Uyum Oranının 0.10'dan düşük çıktığı durumlarda tutarsızlığın kabul edilebilir sınırlarda olduğunu söyleyebiliriz (Saaty, 2008; Timor, 2004, 2011).

Çizelge 2. AHP'de önem ölçeği sıralaması.

Sayısal Değer	Tanımlama
1	1. öge 2.'ye göre eşit önemde, kayıtsız
3	1. öge 2.'ye göre biraz daha önemli
5	1. öge 2.'ye göre fazla önemli
7	1. öge 2.'ye göre çok fazla önemli
9	1. öge 2.'ye göre aşırı derecede önemli
2,4,6,8	Önem açısından ara değerler

Yapılan araştırmada belirlenen hedef, kriter ve seçenekler AHP'ye göre sıralanarak önem dereceleri belirlenmiş ve haritalanarak çalışmaya dahil edilmiştir.

2.2.4. Ağırlıklı Çakıştırma Metodu

Weighted Sum metodu; alternatifleri çeşitli karar kriterleri açısından değerlendirmek için kullanılan, en iyi bilinen ve en basit çok kriterli karar verme yöntemlerindedir (Malczewski ve Claus, 2015; Marler ve Arora, 2009).

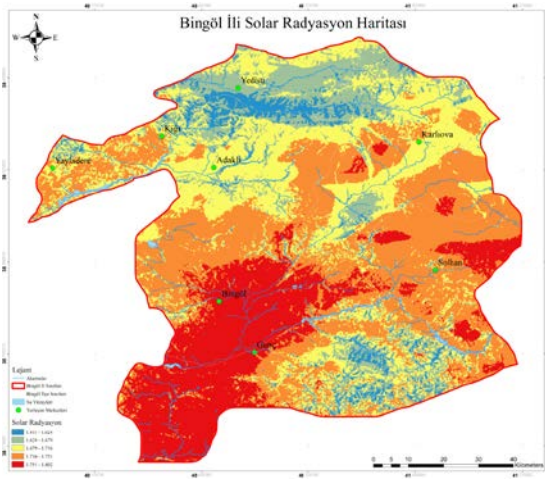
Bu metod kullanılırken tüm verilerin aynı birimde ifade edildiğinde, uygulanabilir olduğunu belirtmek çok önemlidir. Aksi takdirde nihai sonuç yanlış çıkacaktır. Genel olarak belirli bir “Çok Kriterli Karar Analizi” probleminin m alternatifler ve n karar kriterleri üzerine tanımlandığını ve tüm kriterlerin fayda kriteri (değerler ne kadar yüksekse o kadar iyi) olarak ve w_j 'nin C_j kriterinin göreceli önem ağırlığını gösterdiğini ve a_{ij} 'nin C_j kriteri değerlendirildiğinde alternatif A_i 'nin performans değeri olduğunu varsayalım. Bu varsayımlara göre $A_i^{WSM-Score}$ yani alternatif A_i 'nin toplam önemi (tüm kriterler aynı anda düşünüldüğünde) (7) eşitliğindeki gibi tanımlanır;

$$A_i^{WSM-Score} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij} \quad , \quad \text{for} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

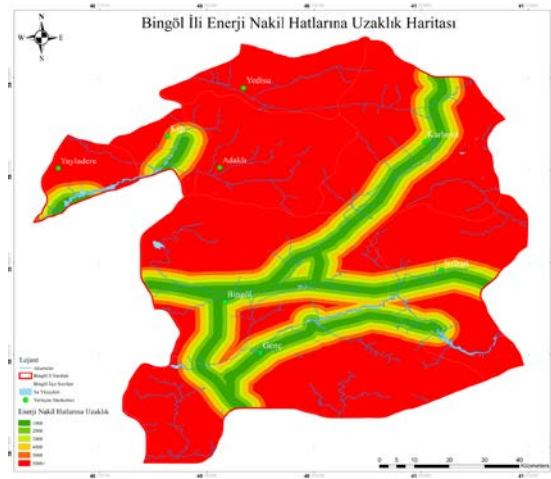
Eşitlikte, maksimizasyon durumu için en iyi alternatif, maksimum toplam performans değerini verir (Triantaphyllou, 2000).

3. Bulgular ve Tartışma

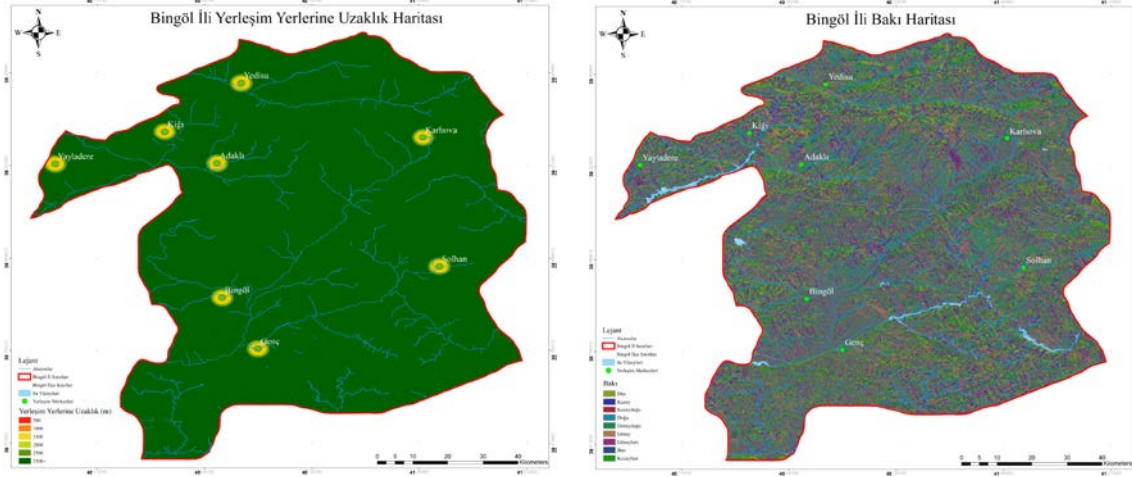
Yapılan araştırma için önce hedef listesi çıkarılmıştır. Sonrasında hedefleri gerçekleştirmek için gerekli 10 kriter belirlenmiş ve her bir kriter için muhtemel karar alternatifleri (77) belirlenerek Hiyerarşi Modeli oluşturulmuştur. Daha sonra belirlenen Hiyerarşi Modeline göre karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş, öncelikler vektörü, uyum endeksleri ve uyum oranları belirlenerek çalışmaya dahil edilmiştir (Şekil 3).



α1. Solar radyasyon



α2. Enerji nakil hatlarına uzaklık



α9. Yerleşim yerleri

α10. Bakı grupları

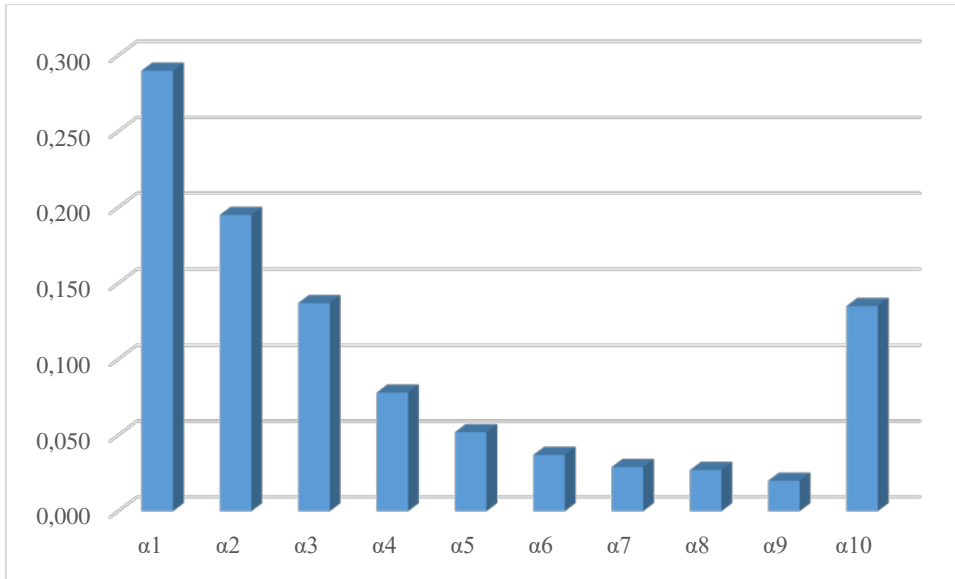
Şekil 3. GES uygunluğu için kullanılan kriterler.

Kriterlere atanan AHP değerleri veri tabanına işlenerek, karar alternatifleri arasında yeni bir matris oluşturulmuş ve nihai kararların karşılaştırma matrisleri 0.10 uyum oranı ile hesaplanmıştır. (Çizelge 3). Nihai karar matrisine bakıldığında GES kurulumuna uygun alanların belirlenmesinde birinci kriter solar radyasyon indisi iken, en az etkileyen etmenin ise yerleşim yerlerine uzaklık olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3. Nihai kararların karşılaştırma matrisi ve uyum indeksleri.

Kriter	Güneş Enerjisi Santrali Kurulumuna Uygun Alanlar										CI
	Bingöl (CR=0.10)										
	α1	α2	α3	α4	α5	α6	α7	α8	α9	α10	
α1	0.336	0.506	0.248	0.393	0.227	0.223	0.228	0.214	0.195	0.324	0.290
α2	0.112	0.168	0.372	0.196	0.189	0.191	0.171	0.160	0.170	0.216	0.195
α3	0.168	0.056	0.124	0.098	0.151	0.159	0.142	0.133	0.121	0.216	0.137
α4	0.042	0.042	0.062	0.049	0.113	0.127	0.114	0.107	0.097	0.027	0.078
α5	0.056	0.033	0.031	0.016	0.037	0.095	0.057	0.080	0.097	0.018	0.052
α6	0.048	0.028	0.024	0.012	0.012	0.031	0.085	0.053	0.048	0.027	0.037
α7	0.042	0.028	0.024	0.012	0.012	0.010	0.028	0.053	0.048	0.021	0.029
α8	0.042	0.028	0.024	0.012	0.012	0.015	0.014	0.026	0.073	0.018	0.027
α9	0.042	0.024	0.024	0.012	0.094	0.015	0.014	0.008	0.024	0.021	0.020
α10	0.112	0.084	0.062	0.196	0.227	0.127	0.142	0.160	0.121	0.108	0.135

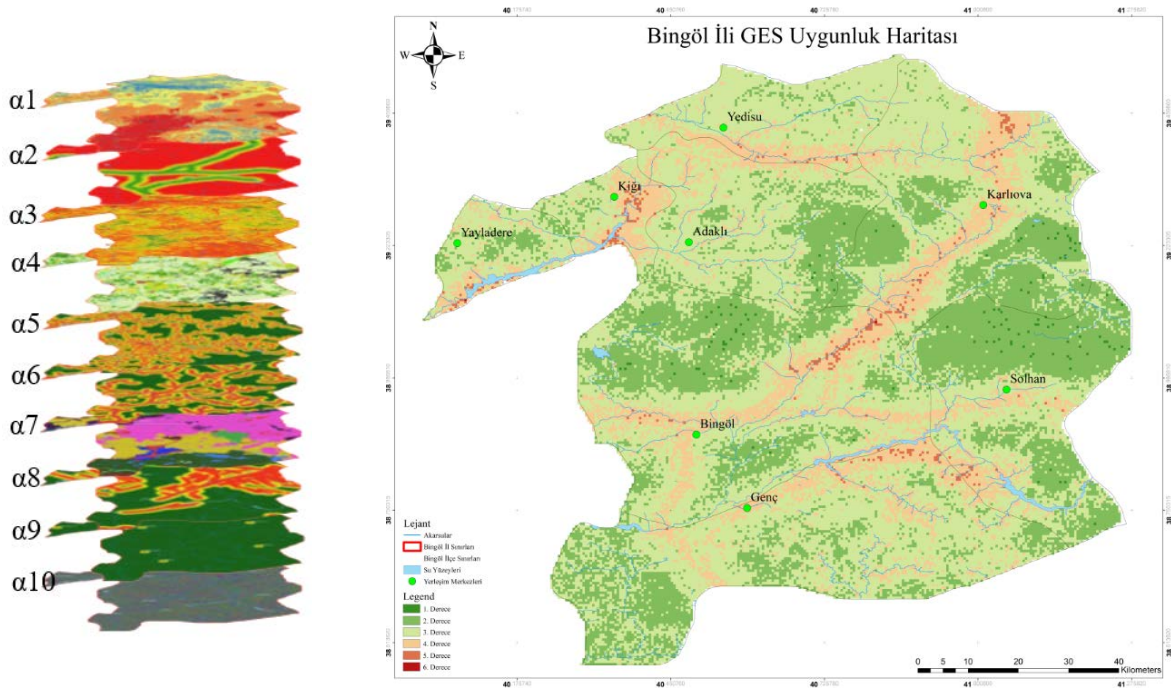
Karar alternatiflerinin önem derecesine göre sıralaması $a_1 > a_2 > a_3 > a_{10} > a_4 > a_5 > a_6 > a_7 > a_8 > a_9$ şeklinde hesaplanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Kriterlerin önem dereceleri.

Haritalar hazırlandıktan ve AHP kriterleri için karşılaştırma matrisi tekrar oluşturulup uyum indeksleri ve uyum oranları hesaplandıktan sonra, elde edilen veriler doğrultusunda, AHP kriterleri, Weighted Sum Model ile birleştirilerek Bingöl ili GES uygunluk haritası oluşturulmuştur. Uygunluk dereceleri 1-6 arasında (1 çok uygun, 6 hiç uygun değil) sınıflandırılarak ve araştırmaya dahil edilmiştir.

Belirlenen on kriterin çakıştırılması ile Bingöl ili GES kurulumuna uygunluk haritası oluşturularak çalışmaya dahil edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Bingöl ili GES kurulumuna uygunluk haritası.

Uygunluk derecelerine göre alansal sınıflamaya bakıldığında Bingöl ilinde GES kurulumu için 39,167ha (%0,005) alanın 1 derece, 5184,586ha alanın (%0,638) 2 derece, 128715,818ha alanın (%15,828) 3 derece, 444109,858ha alanın (%54,612) 4 derece, 233416,327ha alanın (%28,709) 5 derece, 1698,299ha alanın (%0,209) 6 derece arazi sınıfına sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. GES kurulumuna uygunluk derecesine göre alanlar.

Uygunluk Derecesi	Alan_Ha	Yüzde Alan
1. derece	39.167	0.005
2. derece	5184.586	0.638
3. derece	128715.818	15.828
4. derece	444103.858	54.612
5. derece	233461.327	28.709
6. derece	1698.299	0.209
TOPLAM	813203.055	100.000

Majumdar ve Pasqualetti (2019) yaptıkları araştırmada yaban hayatına mesafe, kültürel ve tarihi yerlere mesafe, rekreasyon alanlarına mesafe gibi kriterleri de göz önünde bulundurmışlardır. Bingöl ilinde bu kriterler önem derecesine göre sonraki sıralarda yer aldığından göz önünde bulundurulmamıştır.

Ali ve ark. (2019) ve Watson ve Hudson (2015) yaptıkları çalışmada tarım alanlarına uzaklık kriterini de GES uygunluk analizine eklemiştir. Bingöl ilinde yapılan çalışmada tarım alanlarına uzaklık kriteri göz önünde bulundurulmamıştır. Bu kriterin yerine CORINE arazi kullanımında tarım alanlarının uygunluk derecesi en düşük değer verilerek arazi kullanımı dışında bırakılmıştır.

Ozdemir ve Sahin (2018) ve Uyan (2013) yaptıkları çalışmada kuş göç yollarını da araştırmaya eklemiştir. Bingöl ilinde yapılan çalışmada ise GES'lerin rüzgar santralleri gibi yüksek ve hareketli olmadıkları göz önüne alınarak kuşlara herhangi bir zarar vermeyeceği öngörülmüş ve araştırmaya dahil edilmemişlerdir.

4. Sonuçlar

Artan nüfus, gelişen kentler ve sanayileşme nedeniyle her geçen gün büyüyen enerji ihtiyacının karşılanabilmesi ve fosil yakıtların kullanımının sınırlandırılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her an daha fazla önem kazanmaktadır. Güneş rüzgar ve hidroelektrik kaynakları dünyada başlıca yenilenebilir enerji kaynakları olarak göze çarpmaktadır.

İmalat maliyetlerinin yüksek olması her ne kadar yenilenebilir enerji sistemlerinin dezavantajları arasında olsa da elde edilen enerjinin çevreye duyarlılığı, sistemlerin uzun yıllar boyunca enerji sağlayabilecek potansiyelde olması, sistemleri cazip hale getirmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yapılacak üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması için hibrit santrallere yer verilmesi elzemdir. Haliyle Bingöl ilinde Türkiye'nin ilk hibrit santrali olan Aşağı Kaleköy Hibrit Santrali 200.000 panel ile enerji üretimine başlamıştır (Şekil 6). Bu sistem ile yıllık 400.000 hanenin elektrik ihtiyacının karşılanacağı düşünülmektedir.



Şekil 6. Aşağı Kaleköy Hibrit Santrali-Bingöl (URL2).

Temiz enerjinin sağlanabilmesi için, özellikle ülkemiz gibi enerji açısından dışa bağımlı ancak yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin ülkelerin bu sistemlere yönelmeleri ve devlet politikalarının bu sistemleri teşvik edici yönde gelişmesi gerekmektedir. Böylece enerjide dışa bağımlılığımız daha da azalabilecektir.

Teşekkür

Veri temininde ve AHP kriterlerinin belirlenmesindeki desteklerinden dolayı Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nden Doç. Dr. Engin EROĞLU hocama teşekkür ederim.

Kaynaklar

- 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(October), 1225–1240. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>
- Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J., & Gyawali, S. (2019). GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy*, 132, 1360–1372. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.035>
- Aly, A., Moner-Girona, M., Szabó, S., Pedersen, A. B., & Jensen, S. S. (2019). Barriers to Large-scale Solar Power in Tanzania. *Energy for Sustainable Development*, 48, 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.10.009>
- Arca, D., & Çıtıroğlu, H. K. (2020). Güneş Enerjisi Santral (GES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi İle Belirlenmesi: Karabük Örneği. *Geomatik*, 7(1), 17–25. <https://doi.org/10.29128/geomatik.803200>
- Demir, Y. (2022). Havza rehabilitasyonu erozyon kontrol çalışmalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılabilirliği. In *Teoriden pratiğe Türkiye’de tarım ve hayvancılık uygulamaları* (pp. 258–277). İksad Publications.
- Demir, Y., Demir, A. D., Meral, R., & Yüksel, A. (2015). Bingöl ovası iklim tipinin Thornthwaite ve Erinç indisine göre belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2(4), 332–337.
- Desideri, U., & Campana, P. E. (2014). Analysis and comparison between a concentrating solar and a photovoltaic power plant. *Applied Energy*, 113, 422–433. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.046>
- EPIA. (2010). *Global market outlook for photovoltaics until 2014*.
- Gašparović, I., & Gašparović, M. (2019). Determining optimal solar power plant locations based on remote sensing and GIS methods: A case study from Croatia. *Remote Sensing*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/rs11121481>
- Gay, C. (2010). Accelerating solar: A look at the next decade. *Renewable Energy World Magazine North America*.
- Güner, E. D., Tekin, S., Çilek, M., & Çilek, A. (2021). Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemi ile Belirlenmesi: Mersin İli Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(March), 11–24. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.933209>
- Guy, E. (1977). Solar Heat Storage Using Chemical Reactions. *Journal of Solid State*

Chemistry, 22, 51–61.

- 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(9), 2505–2514. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.002>
- Hearps, P., & McConnel, D. (2011). *Renewable energy technology cost review* (Technical Paper Series).
- IEA. (2010). *World energy outlook*. IEA Publications.
- Kırbaş, İ., Çifci, A., & İşyarlar, B. (2013). Burdur İli Güneşlenme Oranı ve Güneş Enerji si Potansiyeli. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 20–23.
- 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>
- Malczewski, J., & Claus, R. (2015). *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. Springer.
- Marler, T. R., & Arora, J. S. (2009). The weighted sum method for multi-objective optimization: New insights. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 41(6), 853–862.
- Meral, A., & Eroğlu, E. (2021). Evaluation of flood risk analyses with AHP , Kriging and weighted sum models: example of Çapakçur , Yeşilköy , and Yamaç microcatchments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09282-w>
- Özcanlı, M., Güzel, A., & Akgün, B. (2021). Şanlıurfa İli'nde kurulu GES'lerin topoğrafik özellikler (yüksekti, eğim, bakı) açısından uygunluk analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 78(2021), 127–144.
- Ozdemir, 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(July), 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.020>
- Pelay, U., Luo, L., Fan, Y., Stitou, D., & Rood, M. (2017). Thermal energy storage systems for concentrated solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017(79), 82–100.
- Ramachandra, T. V. (2007). Solar energy potential assessment using GIS. *Energy*

Education Science and Technology, 18(2), 101–114.

Saaty, T. L. (1982). *Decision making for leaders*. Lifetime Learning Publications.

Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP*. Kluwer Academic Publishers.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International of Journal Services Sciences*, 1, 83–98.

Şen, G., & Güngöl, E. (2018). Endüstriyel ağaçlandırmalar için en uygun tür seçiminde analitik hiyerarşi süreci yönteminin kullanılması: Kastamonu İli Örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 63–75.

Shivarama Krishna, K., & Sathish Kumar, K. (2015). A review on hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 907–916. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.187>

Timor, M. (2004). Şehiriçi alışveriş merkezi yer seçimi faktörlerinin AHP yardımı ile sıralanması. *İ.Ü. İşletme İktisadi Enstitüsü-Yönetim Dergisi*, 49, 3–18.

Timor, M. (2011). *Analitik hiyerarşi prosesi*. Türkmen Kitabevi.

Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-criteria decision making: A comparative study*. Kluwer Academic Publishers.

Turney, D., & Fthenakis, V. (2011). Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3261–3270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.023>

URL1. (2021). *Güneş enerji santralleri*. <https://www.enerjiatlasi.com/gunes/#:~:text=Türkiye'de bulunan Güneş Enerji,280.970 kilovatsaat elektrik üretimi yapılmıştır. Erişim Tarihi: 08.10.2022.>

URL2. (2021). *Türkiye güneş haritası*. <https://www.gnssolar.com/icerik/860/turkiye-gunes-haritasi. Erişim Tarihi: 10.11.2022.>

URL3. (2021). *Türkiye'nin ilk ve en büyük hibrit enerji santrali*. Çapakçur Gazetesi. <https://www.capakcugazetesi.com.tr/82838-82838#:~:text=Bingöl'de Murat Nehri üzerinde,kurulu gücü 590 megavata ulaştı. Erişim Tarihi: 09.10.2022.>

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. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042>

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>

- Yakut, M. E., & Ceylan, M. A. (2022). Bingöl ilinin idari Coğrafyası. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 5(2), 381–405.
- Yalçın, C., & Yüce, M. (2020). Burdur’da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Yöntemiyle Tespiti. *Geomatik*, 5(48883), 36–46. <https://doi.org/10.29128/geomatik.561962>
- Zhang, H. L., Baeyens, J., Degrève, J., & Cacères, G. (2013). Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 466–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032>