

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELAZIĞ İLİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRAL
YERLERİNİN CBS VE AHP YÖNTEMLERİ İLE
BELİRLENMESİ
Sebahattin BEYCUR
Yüksek Lisans Tezi
EKOBİLİŞİM ANABİLİM DALI

Ekim 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekobilişim Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Elazığ İlinde Güneş Enerjisi Santral Yerlerinin CBS ve AHP Yöntemleri İle Belirlenmesi

Yazarı: Sebahattin BEYCUR

İlk Teslim Tarihi: 19.09.2022

Savunma Tarihi: 14.10.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Ömer Osman DURSUN Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Dr. Öğr. Üyesi Suat TORAMAN Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Fatih TOPALOĞLU Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bil. Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım ‘‘Elazığ İlinde Güneş Enerjisi Santral Yerlerinin CBS ve AHP Yöntemleri İle Belirlenmesi’’ Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

14.10.2022

Sebahattin BEYCUR



T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekobilişim Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ELAZIĞ İLİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRAL YERLERİNİN CBS VE
AHP YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ**

Tez Yazarı

Sebahattin BEYCUR

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Osman DURSUN

EKİM 2022

ELAZIĞ

ÖNSÖZ

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli fazla olmasından dolayı bu alanda son yıllarda yatırımların arttığı görülmektedir. Güneş enerjisi üretimine katkı sağlayacak bu yatırımların Elazığ ilinde yapılabileceği yerler hakkında ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır.

Ele alınan çalışmada Elazığ geneli güneş enerji santrallerinin kurulabileceği alanların tespiti coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi yöntemine dayanan çeşitli analiz yöntemleriyle yapılmıştır.

Çalışmalarım süresince araştırmalarımda bana destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ömer Osman DURSUN'a ve çalışmalarımda her zaman beni destekleyen eşim Dilek BEYCUR'a teşekkürü borç bilirim.

Son olarak gerilim hatları verilerinin tarafımıza verilmesinde katkısı olan Elazığ TEİAŞ 13. Bölge Müdürlüğü'nde Mühendis Selahattin YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Sebahattin BEYCUR
ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLOLAR LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xi
KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	4
2.1. Güneş Enerjisi Teknolojisi	4
2.1.1. Fotovoltaik Enerji Sistemleri.....	5
2.1.2. Yoğunlaştırıcı Isıl Sistemler	7
2.2. Türkiye’de ve Dünya Çapında Güneş Enerjisinin Kullanımı	7
2.3. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	8
2.4. Elazığ İlinin Güneş Enerji Potansiyeli.....	10
3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ	12
3.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	12
3.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.....	13
3.3. Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi.....	14
4. MATERYAL VE METOT	18
4.1. Güneş Enerji Potansiyeli	19
4.2. Bakı Alanları	20
4.3. Eğim Alanları	21
4.4. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	22
4.5. Akarsulara ve Göllere Uzaklık	23
4.6. Karayolu ve Demiryolu Ağına Uzaklık	24
4.7. Yerleşim Alanlarına Uzaklık	25
4.8. Deprem Fay Hattına Uzaklık	27
4.9. BOTAŞ Boru Hattına Uzaklık.....	28
4.10. Bulutsuz Gün Sayısı Ortalaması	28
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
5.1. GES’ in Konum Seçiminde Kullanılan Kriter Katmanlarının Hazırlanması	30
5.2. AHP ile Ağırlıkların Belirlenmesi	44
5.3. Elazığ İlinde GES Kurulabilecek Yerlerin Haritası.....	50
6. SONUÇLAR.....	53
ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Elazığ İlinde Güneş Enerjisi Santral Yerlerinin CBS ve AHP Yöntemleri İle Belirlenmesi

Sebahattin BEYCUR

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ekobilişim Anabilim Dalı

Ekim 2022, Sayfa: xi + 57

Dünyada enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır ve artan talebe paralel olarak yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji türleri arasında en çok enerji potansiyeline sahip enerji türü güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin kullanılabilmesi için Güneş Enerji Santrallerinin (GES) kurulması gerekir. GES kurulum maliyeti çok yüksektir. GES kurulum maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı kurulum için yapılacak fizibilite çalışmaları oldukça önem arz etmektedir. Fizibilite çalışmalarında kullanılan parametrelerin başında yer seçimi gelmektedir. GES için uygun yerlerin seçimi teknik, ekonomik ve çevresel hususların dikkate alındığı mekânsal değerlendirmeyi gerektirir.

Bu çalışmada, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile güneş enerji santralleri için uygun yer seçimi incelenmiştir. Yer seçiminde önemli olan kriterler güneş enerjisi potansiyeli, eğim, baki, enerji hatlarına uzaklık, akarsulara ve göllere uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık, karayollarına uzaklık, demiryollarına uzaklık, deprem fay hattına uzaklık, Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ) boru hattına uzaklık ve yıllık bulutsuz gün sayısı ortalaması olarak tespit edilmiştir. Önemli olan kriterlerin AHP ile kendi aralarında belirlenen önem seviyesine göre ağırlıkları oluşturulmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda CBS analizlerinden faydalanılarak Elazığ ilinde güneş enerji santralleri kurulumu için uygun konumlar Elazığ iline ait harita üzerinde belirlenmiştir. Çalışmada tespit edilen GES alanları ve mevcut olan GES'lerin konumlarının karşılaştırılması yapılarak çalışmanın doğruluğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi Santrali, CBS, AHP, Yenilenebilir enerji, Elazığ

ABSTRACT

Determination of Solar Power Plant Locations in Elazig by GIS and AHP Methods

Sebahattin BEYCUR

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Eco-informatics

October 2022, Pages: xi + 57

The demand for energy in the world is increasing day by day and in parallel with the increasing demand, renewable energy sources come to the fore. Among the renewable energy types, the energy type with the most energy potential is solar energy. Solar Power Plants (SPP) must be installed in order to use solar energy. SPP installation cost is very high. Feasibility studies for the installation are very important due to the high costs of SPP installation. Site selection comes first among the parameters used in feasibility studies. The selection of suitable sites for the SPP requires spatial evaluation, taking into account technical, economic and environmental considerations.

In this study, the Analytical Hierarchy Method (AHP) and Geographic Information Systems (GIS), which are one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, and the appropriate location selection for solar power plants were examined. The important criteria in site selection are solar energy potential, slope, aspect, distance to power lines, distance to rivers and lakes, distance to residential areas, distance to highways, distance to railways, distance to earthquake fault line, distance to Pipelines Petrol Transport Corporation pipeline. and the average number of cloudless days per year. The important criteria were weighted according to the level of importance determined by the AHP. In line with the data obtained, suitable locations for the installation of solar power plants in the province of Elazig were determined on the map of the province of Elazig by using GIS analyzes. The accuracy of the study was demonstrated by comparing the locations of the SPPs identified in the study and the locations of the existing SPPs.

Keywords: Solar Power Plant, GIS, AHP, Renewable energy, Elazig

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Fotovoltaik enerji sistemleri 5
Şekil 2.2.	Türkiye güneş radyasyonu 9
Şekil 2.3.	Aylık ortalama radyasyon değeri 10
Şekil 2.4.	Elazığ ilinin aylık ortalama sıcaklık dağılımı (°C) 10
Şekil 2.5.	Elazığ ilinin güneş enerji potansiyeli 11
Şekil 2.6.	Elazığ ilinde kurulu GES 11
Şekil 3.1.	AHP Hiyerarşisi 14
Şekil 4.1.	Elazığ ilinin Türkiye içindeki konumu 18
Şekil 4.2.	Elazığ ili güneş enerji potansiyeli haritası 20
Şekil 4.3.	Elazığ ili bakı haritası 21
Şekil 4.4.	Elazığ ilinin eğim haritası 22
Şekil 4.5.	Elazığ ili enerji nakil hatları 23
Şekil 4.6.	Elazığ ili akarsuları 24
Şekil 4.7.	Elazığ ili baraj ve gölleri 24
Şekil 4.8.	Elazığ ili karayolları ağı 25
Şekil 4.9.	Elazığ ili demiryolları ağı 25
Şekil 4.10.	Elazığ il merkezi yerleşim alanı 26
Şekil 4.11.	Elazığ ilçe merkezleri yerleşim alanları 26
Şekil 4.12.	Elazığ köy merkezleri yerleşim alanları 27
Şekil 4.13.	Elazığ ili deprem fay hattı 27
Şekil 4.14.	Elazığ ili BOTAŞ boru hattı 28
Şekil 4.15.	Elazığ ili bulutsuz gün sayısı ortalaması 29
Şekil 5.1.	Elazığ ili güneş enerji potansiyeli sınıf haritası 30
Şekil 5.2.	Elazığ ili bakı sınıf haritası 31
Şekil 5.3.	Elazığ ili eğim sınıf haritası 32
Şekil 5.4.	Elazığ ili enerji nakil hattı sayısal haritası 33
Şekil 5.5.	Elazığ ili enerji nakil hattı sınıf haritası 34
Şekil 5.6.	Elazığ ili akarsu mesafe haritası 34
Şekil 5.7.	Elazığ ili akarsuları sınıf haritası 35
Şekil 5.8.	Elazığ ili baraj ve göller sınıf haritası 36
Şekil 5.9.	Elazığ ili demiryolu ağı sayısal haritası 36

Şekil 5.10.	Elazığ ili demiryolu ağı sınıf haritası.....	37
Şekil 5.11.	Elazığ ili karayolu ağı sınıf haritası	38
Şekil 5.12.	Elazığ ili merkez yerleşim sayısal haritası	38
Şekil 5.13.	Elazığ ili ilçe merkezi yerleşim sayısal haritası	39
Şekil 5.14.	Elazığ ili köy merkezi yerleşim sayısal haritası.....	39
Şekil 5.15.	Elazığ ili merkez yerleşim sınıf haritası.....	40
Şekil 5.16.	Elazığ ili ilçe merkezi yerleşim sınıf haritası.....	41
Şekil 5.17.	Elazığ ili köy merkezi yerleşim sınıf haritası.....	41
Şekil 5.18.	Elazığ ili deprem fay hattı sınıf haritası	42
Şekil 5.19.	Elazığ ili Botaş boru hattı sınıf haritası.....	43
Şekil 5.20.	Elazığ ili bulutsuz gün sayısı sınıf haritası.....	44
Şekil 5.21.	Elazığ ili GES uygunluk haritası.....	50
Şekil 5.22.	Elazığ ili yerleşim yerlerine göre GES uygunluk haritası.....	50
Şekil 5.23.	Şahinkaya Köyü'nde kurulu bulunan GES'in konumu	51
Şekil 5.24.	Kayabeyli Köyü'nde kurulu bulunan GES'in konumu	51
Şekil 5.25.	Yarımca Köyü ve Ekinözü Köyü'nde kurulu bulunan GES'in konumu	52

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. İkili karşılaştırmalarda kullanılan önem dereceleri.....	15
Tablo 4.1. Aylık bulutsuz gün sayısı ortalaması	28
Tablo 5.1. Güneş enerjisi potansiyeli için sınıflandırma sonrası verilen puanlar	30
Tablo 5.2. Bakı verisi sınıflandırma değer aralıkları ve puanları.....	31
Tablo 5.3. Eğim verisi sınıflandırma değer aralıkları ve puanları.....	32
Tablo 5.4. Enerji nakil hattı verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar	33
Tablo 5.5. Akarsular verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar	35
Tablo 5.6. Karayolları ve demiryolları ağı verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar.....	37
Tablo 5.7. Yerleşim alanları (il merkezi) verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar	40
Tablo 5.8. Yerleşim alanları (ilçe merkezi) verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar	40
Tablo 5.9. Yerleşim alanları (köy merkezi) verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar	41
Tablo 5.10. Deprem fay hattı verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar	42
Tablo 5.11. Botaş boru hattı verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar	43
Tablo 5.12. Bulutsuz gün sayısı ortalaması verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar	43
Tablo 5.13. AHP ile oluşturulan karşılaştırma matrisi.....	45
Tablo 5.14. AHP sonucu oluşan ağırlıklar	46
Tablo 5.15. Kriterlerin etki yüzdeleri.....	47
Tablo 5.16. t sütun vektörü	48
Tablo 5.17. λ değerleri	48
Tablo 5.18. Kriter sayısına göre rastgele indeks değerleri	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

RI	: Rastgele indeks
CI	: Uyum indeksi
CR	: Tutarsızlık oranı
DC	: Doğru akım
AC	: Alternatif akım
MW	: Megawatt
kWh/m ²	: 1 Metrekareye düşen Kilowatsaat

Kısaltmalar

AHP	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
BDEW	: Federal Enerji ve Su Yönetimi Derneği
BOTAŞ	: Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEM	: Sayısal Yükseklik
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
IEA	: Uluslar Arası Enerji Ajansı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Teknik ve Arama
OMGİ	: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletişim Anonim Şirketi
Tin	: Düzensiz Üçgen Ağı
TK	: Tutarlılık Katsayısı
TO	: Tutarlılık Oranı
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu
ZSW	: Güneş Enerjisi ve Hidrojen Araştırma Merkezi

1. GİRİŞ

Çağımızda enerji, toplumların sürdürülebilir kalkınması ve refahı için gerekli olan en önemli unsurlardan biridir. Günümüzde enerji ihtiyacının karşılanmasında kömür, petrol, doğalgaz gibi yenilenemeyen enerji kaynakları çok fazla kullanılmaktadır. Aynı zamanda fosil yakıt olarak adlandırılan yenilenemeyen enerji kaynakları hızla azalmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının rezervlerinin azalması ve çevre kirliliğini arttırması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Türkiye, fosil enerji kaynağı fazla olmamasından dolayı kömür, doğalgaz, petrol gibi yenilenemeyen enerji kaynakları için dışa bağımlıdır [1].

Sürekli olduğundan dolayı yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilirdir. Bunun yanı sıra dünya üzerinde bütün ülkelerde mevcut olmasından dolayı büyük önem taşımaktadır. Bir veya birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının bulunması ve kullanılabilmesi o ülkenin dışarıya bağımlılığını azaltmaktadır. Yenilenebilir enerjinin birçok çeşidi vardır. Bunlar; güneş enerjisi, biokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi, rüzgâr enerjisi ve hidrojen enerjisidir. Bu enerji kaynakları içinde en çok kullanılanı güneş enerjisidir. Güneş enerjisi tükenmeyen, temiz ve hiçbir atığı bulunmayan önemli enerji kaynaklarından biridir. Yenilenebilir kaynakların başında gelen güneş enerjisinden ihtiyaç olduğunda hemen hemen bütün yerlerde yararlanmak mümkündür. Güneş enerjisi üretimi dünyada çok hızlı büyüme gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Çevre göz önüne alındığında temiz, ucuz ve uzun ömürlü bir kaynak özelliği bulunan güneş enerjisi fosil yakıtlara alternatif olarak günümüzde değerlendirilmektedir [2].

Fosil yakıtlardan en çok kullanılan petrol ve doğalgaz, kaynak potansiyeli bakımından Türkiye’de nispeten çok az bir kapasitede bulunmaktadır. Doğalgazı ve petrolü komşu ülkelerden alan ve elektrik üretiminin çoğunu da yine bu kaynaklardan temin eden Türkiye, uluslararası güvenlik ve ekonomi bakımdan oldukça fazla tehdit altında bulunmaktadır. Ekonomi ile enerji tüketimi doğru orantılı olduğundan Türkiye ve diğer ülkeler açısından büyümenin en önemli ölçütlerinden birisi enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından yeterli potansiyele sahip olan Türkiye’de, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretimi yapılabilmesi için yapılacak yatırımların daha etkili olması oldukça önemlidir. Son on yılda çeşitli düzenlemeler yapılarak güneş enerjisi ile Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretimi yaygınlaşmıştır [3].

Dünyada gelişmiş ülkelerden olan Almanya güneş enerjisi üretiminde üst sıralarda yer almaktadır. Almanya’nın yenilenebilir enerjilerden ürettiği enerji, tarihinde ilk defa 2017 yılında fosil yakıtlardan ürettiği enerjiden fazla olmuştur [4]. 2020 yılında yenilenebilir enerji, Almanya’nın elektrik tüketiminin %46’sını karşılamıştır [5]. Güneş Enerjisi ve Hidrojen Araştırma Merkezi (Center for Solar Energy and Hydrogen Research - ZSW) ve Federal Enerji ve Su Yönetimi

Derneği'nin (Federal Association of Energy and Water Management - BDEW) verdiği rapora göre, 2020'de Almanya'nın elektrik tüketimindeki yenilenebilir enerjinin payı 2019'a göre %4 artmıştır [6]. Almanya'nın güneşlenme potansiyeli süresi Türkiye'ye göre %60 daha düşük olmasına rağmen enerji üretiminde Türkiye'den 46 kat daha çok enerji üretmektedir [7].

Türkiye'nin toplam elektrik üretim gücü Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) istatistiklerine göre, 2022 Ocak itibarıyla 99 bin 734 MW'a yükselmiştir. Cari açığın düşürülmesi ve iklim değişikliği ile mücadele için Türkiye yerli kaynak kullanımına ağırlık vermiştir. Türkiye'nin, elektrik üretiminde önemli yer tutan yenilenebilir enerji kaynakları, kapasitenin yaklaşık olarak 53 bin 787 MW'ını oluşturmuştur. Güneş enerjisi santrali (GES) kurulu gücü 2022 Ocak ayında 7 bin 881 MW'a artarken, lisanslı santraller bunun 922 MW'ını, lisanssız santraller ise 6 bin 959 MW'ını oluşturmaktadır. Ocak ayı verilerine göre, güneş enerjisinin kurulu güç içindeki toplam oranı %7,55'e, yenilenebilir enerji kurulu gücündeki oranı ise %14'e ulaşmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan santral sayısı 2022 Ocak sonu itibarıyla 8 bin 482'ye çıkmıştır [8]. İllere göre güneş enerjisinde en fazla kapasite 914,9 MW ile Konya'da yer almaktadır. Bunu sırası ile 390,9 MW ile Ankara, 376,7 MW ile Şanlıurfa, 335,9 MW ile Kayseri ve 294,6 MW ile İzmir izlemektedir. Elazığ ili ise 172,8 MW ile 13. sırada bulunmaktadır [9].

Ülkemizde çok fazla güneş enerji potansiyeli olduğundan GES kurulumunda ve bu santralin yerleştirileceği konumun belirlenmesinde çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. GES santrallerinin kurulması için sadece güneş enerjisi potansiyeli parametresini kullanarak yer seçimini yapmak doğru olmayabilir. Farklı kriterler de hesaba katılarak konum tespit edilmelidir. GES'lerin kurulabileceği konumların tespiti için öncelikle hangi ölçütlerin değerlendirmeye alınacağı belirlenmelidir. Bu çalışmada kullanılan parametreler güneş enerji potansiyeli, bakı alanları, eğim alanları, akarsular ve göllere uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık, karayolu ve demiryolu ağına uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık, deprem fay hattına uzaklık, Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ) boru hattına olan uzaklık ve bulutsuz gün sayısıdır.

2018 yılında Malatya ili ve 2019 yılında Kayseri ili ele alınarak yapılan çalışmalarda, GES kurulumu için gerekli yer seçimi parametrelerinden bulutsuz gün sayısı dışında birçoğunun kullanıldığı görülmüştür [7,10]. Çalışmada aylık bulutsuz gün sayısı ortalamasının değerlendirmeye katılması diğer çalışmalara göre bu çalışmanın farkını ortaya koymaktadır.

GES kurulum maliyetlerinin fazla olmasından ve yer seçimi konusunda birden fazla etkenin bulunmasından dolayı, konumsal verilerin elde edilmesi ve yorumlanması Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanılması ile daha kolay ve hızlı olmaktadır [11].

Doğal zenginliklerin kullanımı ve uygun konumun belirlenmesi gibi uygulamalarda konumsal veri için karar gerektiren yöntemlerden faydalanılır. Güneş enerji santrali kurulumunda etken rol oynayan parametrelerin ağırlıklarının belirlenmesi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri oldukça sık kullanılmaktadır [12].

2019 yılında Adıyaman ili için yapılan çalışmada ÇKKV yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemine (AHP) göre ağırlıkların saptandığı görülmüştür [13]. Böylelikle çok sayıda parametrenin farklı ağırlıklarda etki ettiği analizler CBS programında oluşturulmaktadır. AHP kullanılarak kriter ağırlıkları ve puanlandırmalar belirlenmektedir. 2017 yılında yapılan çalışmada, belirlenen ağırlıklara göre kriterlerin konumsal bilgisi üzerine CBS’de konumsal analizler gerçekleştirilmiştir. En uygun konumlar analiz edilerek sonuç haritalar üzerinde gösterilmiştir [12].

Literatür incelendiğinde Elazığ ilinin GES yerlerinin CBS ve AHP yöntemleri ile belirlenmesi hakkında herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderilerek Elazığ iline ait GES yerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuç haritası, Elazığ il genelinde hâlihazırda kurulu bulunan bazı GES’lerin yerleri ile karşılaştırılmıştır.



2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünyada ve Türkiye’de enerjiye duyulan ihtiyaç devamlı olarak artış içindedir. Enerji ihtiyacı en çok fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtlar enerji gereksinimini karşılamada sürekliliği bulunmadığından hızlı bir şekilde bitmektedir. Olumsuz etkilerinden dolayı fosil yakıt kullanımından gezegenimizde ortam sıcaklıklarında yükselme gözlenmekte, buzullar çözülmekte ve bazı doğal felaketler oluşmaktadır. Ayrıca su, toprak ve hava kirliliğinin sebebiyet verdiği kötü etkilerden ötürü ekosistemdeki canlı türleri de çok zarar görmektedir. Olumsuzlukların hepsi göz önüne alındığında çevre ile alakalı sorunlar oluşturmayan, canlıların yaşam kalitesine zarar vermeyen, güvenilir, temiz ve sürdürülebilir olan yenilenebilir enerjilerin, tüm canlıların geleceği açısından çok önemli olduğu görülmektedir. Çevreyi kirliletmeyen yenilenebilir enerji kaynakları aynı zamanda birincil enerjilerin elde edilmesi ile diğer ülkelere olan bağımlılığın da ortadan kalkmasında önemli bir rol oluşturmaktadır.

Kirletici olmayan, yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok kullanılan enerji kaynağı güneş enerjisidir. Güneş ışığından direk elde edilen güneş enerjisi, çevreci bir enerji kaynağıdır. Tüm evrenin temel enerji kaynağı olan güneş, bütün enerji kaynakları içinde en tükenmez ve en temiz olanlardan biridir.

Bilindiği kadarıyla güneşin yaklaşık %90’ı hidrojen gazından oluşmaktadır. Sürekli olarak içerisinde hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bunun sonucunda oluşan kütle farkı, ısı enerjisine çevrilerek uzaya yayılmaktadır. Uzaya yayılan bu enerjinin bir bölümü dünya yüzeyine gelen ışınım enerjisidir [14].

Herhangi bir zarar veren gaz salınımının bulunmadığı güneş enerjisi temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi gibi daha az maliyetli ve çevreyi kirliletmeyen enerji kaynaklarını kullanmak, çoğu ülkenin artan enerji taleplerine karşı getirdiği çözümlerden biridir. Bundan dolayı güneş enerjisinin elektrik üretimindeki oranı zaman geçtikçe artmakta ve bu alanda yapılan çalışmalar giderek daha çok önemli olmaktadır.

2.1. Güneş Enerjisi Teknolojisi

Kısaca güneş ışığından aldığı enerjiyi elektrik akımına dönüştüren teknolojiye güneş enerjisi teknolojisi denir. Güneşte oluşan çeşitli tepkimeler sonucunda meydana gelen enerjinin bir kısmı ışınım enerjisi olarak dünyaya düşmektedir. Işınım enerjisinin paneller kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi işlemi güneş enerjisi teknolojisinin sonucu olarak görülür. Hücrelerden meydana gelen güneş panelleri, üzerine düşen güneş ışınlarını toplayarak elektrik akımına çevirmektedir [11].

Güneş ışınlarından faydalanmak için fazla sayıda teknoloji geliştirilmiştir. Geliştirilen teknolojilerin bir kısmı güneşten gelen enerjiyi ışık ya da ısı enerjisi biçiminde doğrudan kullanırken, farklı teknolojiler ise güneş enerjisinden elektrik elde etmek için faydalanmaktadır.

2.1.1. Fotovoltaik Enerji Sistemleri

Fotovoltaik enerjiyi 1839 yılında Edmond Becquerel bulmuştur. Güneş ışınlarının, elektrik enerjisine çevrimini sağlayacak fotovoltaik etkinin keşfedilmesinden kısa süre sonra, 1893 senesinde, Charles Fritts ilk kez selenyum plakalarını, altın kullanarak ince bir tabaka ile kaplamıştır. Böylece ilk güneş paneli Charles Fritts tarafından icat edilmiştir. Amerikalı mucit Russel Ohl' da 1941 yılında Bell Laboratuvarları'nda çalışırken dünyanın ilk silikon kaynaklı güneş pilini keşfetmiş ve patentini almıştır. Ohl'un keşfi ile aynı şirket tarafından 1954'de silikon kullanılarak yeni bir güneş panelinin üretimi gerçekleştirilmiştir [15].

Fotovoltaik teknolojisi, fotoelektrik etkiye dayalı bir teknoloji kullanılarak güneş ışığının elektrik akımına dönüşümünü sağlar. Güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine çevirme özelliğine sahip silikona benzer materyaller kullanılmıştır. Bu duruma da fotovoltaik etki denilir.

Fotovoltaik güneş hücreleri güneş ışınlarının üzerine düşmesiyle direkt olarak DC elektrik enerjisi dönüşümü yapan yarı iletken maddelerden oluşan bir sistemdir. Yüzeyleri dikdörtgen, kare ya da daire şeklindedir. Güneş hücrelerinin alanı ortalama 100 / 156 / 243 santimetrekare, kalınlıkları ise 0.2 - 0.4 mm dolaylarında olmaktadır.

Üzerine düşen ışıkla beraber uçlarında elektrik voltajı oluşturan güneş pilleri fotovoltaik prensibe dayalı olarak çalışırlar. Güneş pilleri, fotonları soğurur ve fotonların enerjisini elektrona dönüştürür. Dönüştürülen bu elektronlar, hücrelerin arka ve ön kısmında depolanır. Burada oluşan voltaj elektrik akımını meydana getirir. Modüller olarak panellere konulan hücreler, istenilen voltaja erişmek adına kendi aralarında da seri halde birbirine bağlıdır [15]. Şekil 2.1' de örnek bir fotovoltaik enerji sistemi görülmektedir.



Şekil 2.1. Fotovoltaik enerji sistemleri [16]

Güneş enerjisinin % 5 ile % 20'si arası elektrik enerjisine çevrilebilir. Bu oran güneş pilinin yapısından dolayı kaynaklanmaktadır. Güneş pilinin güç çıkışını arttırmak için seri veya paralel çok sayıda güneş pili birbirine bağlanarak bir yüzeye yerleştirilir. Oluşturulan bu sisteme ise fotovoltaik modül denir. Modüller aralarında seri veya paralel bağlanarak çıkışta ne kadar gücün ihtiyaç olmasına göre Watt değerinde ölçülen enerji MW'lara kadar arttırılabilir [15].

Fotovoltaik modülleri sayesinde elde edilen enerji, pil ve akülerde depo edildiği gibi doğru akımdır. Evlerde ve tesislerde elde edilen bu doğru akımı kullanabilmek için inverter ile alternatif akıma çevrilmesi gerekmektedir. Elektrik üretimi fotovoltaik modülleri sayesinde sağlanırken, buna ek olarak sisteme yerleştirilecek bir sayaçla fotovoltaik modüllerinden sağlanan elektrik şebekeye iletilebilir. Sistem sahiplerinin ürettikleri enerji tükettiklerinden fazla ise, devlet tarafından bildirilen garanti alım üzerinden dağıtıcı kuruluş sistem sahiplerine ödeme gerçekleştirir. Enerjinin tüketilen kısmı daha yüksek olduğu durumda ise sistem sahibi, bu fazlalığı şebekeden ücret karşılığı satın almış olur [7].

Fotovoltaik enerji sistemlerinin başlıca elemanları güneş paneli, şarj kontrol cihazı, inverter ve bataryalardır.

Güneş Paneli: Güneşin ısısını pasif olarak toplamasına veya fotovoltaik aracılığıyla enerjisinden elektrik üretmesine izin veren teknolojiyle inşa edilmiş, pencereye benzeyen düz bir yapıdır. Bunlardan pasif güneş panelleri, suyu ısıtmak ve muslukta sıcak su sağlamak için kullanılanları içerir. Güneş panellerinden en yaygın olarak kullanılanı ise fotovoltaik güneş panelleridir. Fotovoltaik güneş panelleri yüklü yüzeylerdeki iletkenlerle birlikte çalışan pozitif ve negatif katkılı silikon kullanır. Fotonlar yüzeye çarptığında ve elektronları değerliklerinden ayrılacakları noktaya kadar uyardığında elektrik oluşur.

Güneş hücrelerinin yüzeylerine ve diziliş biçimlerine göre kapasiteleri farklı güneş panelleri mevcuttur. Piyasada en çok kullanılan güneş panelleri 5 - 10 - 60 - 100 - 150 - 260 ve 274 Watt kapasiteli olanlardır.

Hücreler panele yerleştirildikten sonra, içindeki hücreleri korumak için panelin kendisi kapatılır ve yansıtıcı olmayan bir camla kaplanır. Bu cam güneş pillerini hasardan korur ve güneş ışığının hücrelere kadar ulaşmasını sağlamak için yansıtıcı değildir.

Şarj Kontrol Cihazı: Solar regülatör olarak da bilinen bir solar şarj kontrolörü, temel olarak güneş panelleri ve pil arasına bağlanan bir güneş pili şarj cihazıdır. Görevi, pil şarj sürecini düzenlemek ve pilin doğru şekilde şarj edilmesini veya daha da önemlisi aşırı şarj olmamasını sağlamaktır. Şarj kontrol cihazı neredeyse tüm küçük ölçekli şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemlerinde kullanılmaktadır.

Bataryalar: Güneş panelleri tarafından üretilen fazla elektriği depolamak için güneş enerjisi sistemine eklenen bir cihazdır. Bataryalar daha sonra depolanan bu enerjiyi, yeterli miktarda elektriğin üretilmediği zamanlarda gece, bulutlu gün ve elektrik kesintileri dahil olmak üzere sisteme güç sağlamak için kullanır. Bir güneş bataryasının kullanım amacı, üretilen güneş enerjisinin daha fazla kullanılmasına yardımcı olmaktır.

İnverter: Solar inverter, güneş panelleri tarafından üretilen doğru akım (DC) elektriğini alternatif akıma (AC) dönüştüren güneş paneli sistemindeki bir bileşendir. AC akım, ev ile sanayi aletlerine güç sağlamak ve ulusal şebekeye bağlanmak için gereken standart elektrik akışıdır. Ülkeye bağlı olarak genellikle 120 volt veya 240 volt arasında değişmektedir.

Bir güneş paneli sistemi yalnızca en zayıf parçası kadar verimli olduğundan, yüksek kaliteli bir inverter, panel kurulumunun önemli bir parçasıdır. Güneş panelleri tarafından üretilen mevcut enerjiyi yükseltebilir [17].

2.1.2. Yoğunlaştırıcı Isıl Sistemler

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için başlıca iki sistem kullanılmıştır. Bunlardan birisi fotovoltaik sistemlerdir. Bu sistem güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirir. Fakat geçen zamanda fotovoltaik sistemin kullanımı artmasına rağmen, fotovoltaik sistem maliyetinin fazla olması ve teknolojisinin karışıklığı, sistemin yüksek oranda elektrik üretimi için yetersiz olduğunu göstermiştir. İkinci sistem ise, yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak güneş enerjisinden elde edilen kızgın buhardan, bilinen metotlar ile elektrik üretimidir.

Güneş ısı güç sistemleri, güneş enerjisini birincil enerji kaynağı olarak kullanan elektrik üretim santralleridir. Bu santraller genelde aynı metot ile çalışmakla beraber, güneş enerjisini üzerine alma yöntemleri, yani kullanılan kolektörler açısından değişiklik gösterirler. Toplama elemanı olarak parabolik oluk kolektörlerin kullanıldığı güç sistemlerinde, çalışma sıvısı kolektörlerin odaklarına yerleştirilmiş olan ısı boru içerisinde dolaştırılır. Böylece, sıvının ısınması ile elde edilen buhar elektrik enerjisinin elde edilmesini sağlar [18].

2.2. Türkiye’de ve Dünya Çapında Güneş Enerjisinin Kullanımı

Hem dünyada hem de ülkemiz genelinde sürekli olarak enerji ihtiyacı artış göstermektedir. Fosil yakıtların hızı bir şekilde bitiyor olması ve küresel iklim değişikliğine bu yakıtların zarar veriyor olması insanoğlunu çevreyi kirletmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Güneş enerjisi, çevreci ve çok temiz enerji kaynaklarından biri olarak çeşitli teknolojilerle birlikte farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Günümüzde güneş teknolojilerinin bir

kısmı güneş enerjisini ısı ya da ışık enerjisi şeklinde direk kullanırken, bazı teknolojiler ise güneş enerjisinden elektrik elde etmek için kullanırlar.

Güneş enerjisi Türkiye’de; yenilenebilir ve çevre dostu özellikleri, kullanım kolaylığı, yüksek potansiyeli ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha hızlı olarak yaygınlaşabilecek niteliğe sahiptir. Ancak farklı enerji kaynaklarına göre güneş enerjisinin kurulum maliyetlerinin fazla olması, kapasite faktörünün ve veriminin kısmen az olması gibi birtakım ekonomik ve teknolojik zorluklara çözüm bulunması gerekmektedir. Bu zorlukların geride bırakılması ile güneş enerjisi üretiminin ilerleyen zamanlarda daha çok cazip duruma geleceği öngörülmektedir. Güneş enerjisi denildiğinde Türkiye, oldukça iyi bir coğrafik konumda bulunmasına rağmen, bugün için sahip olduğu potansiyeli yeteri kadar kullanamamaktadır. Bu sebepten Türkiye için güneş enerji teknolojilerinin yaygınlaştırılması önemle ele alınması gereken bir konudur [15].

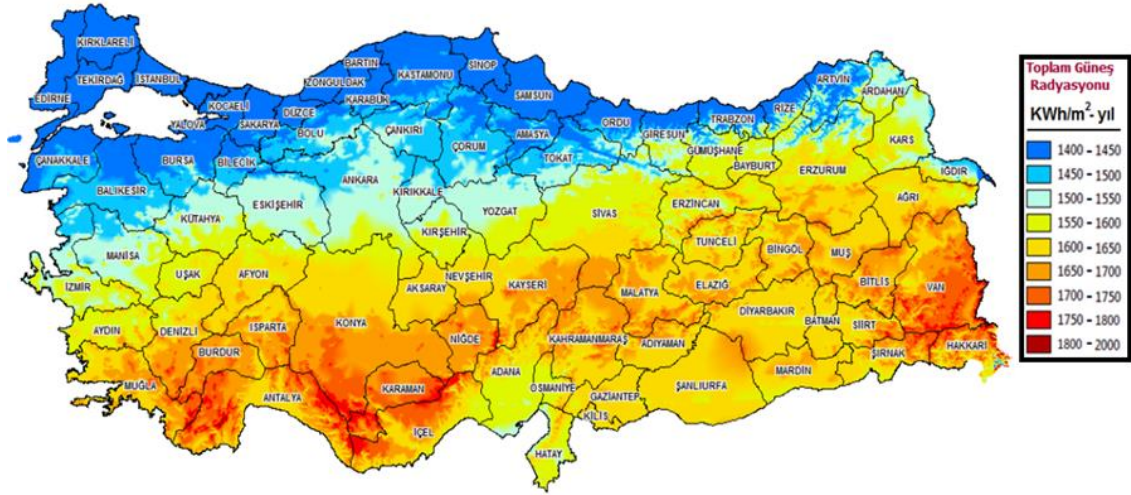
Tüm evrenin temel enerji kaynağı güneştir. Uluslararası Enerji Ajansı’nın (IEA) raporuna göre, 90 dakika boyunca dünya yüzeyine gelen güneş ışınları, bütün dünyanın bir yıllık enerji talebini karşılayacak değerdedir. IEA, 2050 senesinde küresel elektrik enerjisi üretiminin %11 gibi büyük bir oranının güneş enerjisinden karşılanacağını öngörmektedir. [19].

2.3. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Konum olarak Türkiye güneş enerjisinden en fazla verimlilik seviyesinde istifade etme potansiyeline sahip olan bir ülkedir. Bulunduğu konuma göre yılın 4 mevsimi süresince güneş ışığını dönüşümlü olarak yoğun alan bölgelere sahiptir. GES’in geniş arazilere kurulması sayesinde enerji talebinin önemli bir kısmı karşılanabilir [20].

Şekil 2.2’deki harita incelendiğinde güneşlenme potansiyeli, kuzey bölgelerden güney bölgelere doğru artmaktadır. Coğrafi konumu ve yağmurlu gün sayısının çok olması sebebiyle Karadeniz Bölgesi en düşük güneş ışını alan bölgedir. Ege ve Marmara orta seviyede güneş ışığı alırken, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve İç Anadolu yüksek seviyede güneş ışığı alan bölgelerdir [21]. Güneş ışığını fazla alan bu bölgelerde güneş enerjisi santrali kurmak daha verimlidir ve yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresi diğer bölgelere göre daha azdır.

Güneş enerjisi üretiminde ilk sıralarda olan Almanya’nın aldığı en çok güneş radyasyon değeri olan yıllık 1200 kWh/m², ülkemizin güneş radyasyon değeri en az olan Karadeniz Bölgesi’nin radyasyon değeriyle hemen hemen eşdeğerdir. Bu pencereden bakıldığında Türkiye’de güneş enerjisinden yararlanma oranının oldukça az olduğu görülebilir [22].



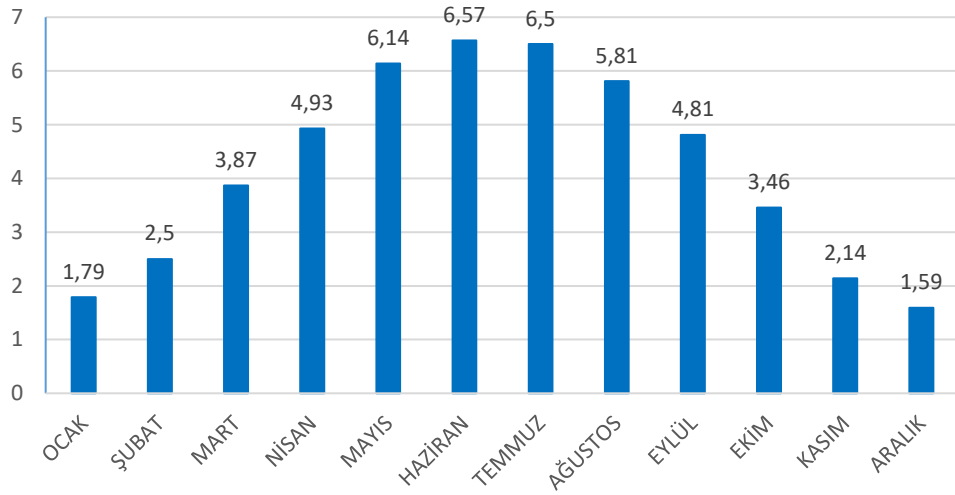
Şekil 2.2. Türkiye güneş radyasyonu [23]

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın hazırladığı, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam ortalama güneşlenme süresi 2741,07 saattir. Yıllık ortalama toplam güneş ışını değeri $1527,46 \text{ kWh/m}^2$ olarak ölçülmüştür [21].

Türkiye'de aynı zamanda Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından güneş radyasyonu ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar, MGM istasyonlarında 1988-2017 yılları arasında ölçülen toplam günlük güneşlenme süresi verilerinden uzun yıllar ortalamaları ile hesaplanmıştır. Uzun yıllardır MGM'de bulunan helyograf cihazı ile elde edilen güneşlenme süresi ölçümleri, 2000'li yıllardan sonra Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (OMGİ) monte edilerek güneşlenme süresi ölçer cihazlar ile ölçülmüştür. Türkiye için ölçülen, 1988-2017 yılları arasındaki toplam günlük güneşlenme sürelerine göre, güneşlenme süresi yıllık ortalama en az 6,37 saat ile 1988 yılında, en fazla güneşlenme süresi ise 7,30 saat ile 1990 yılında kayda geçmiştir [21].

Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü Mart 2022 itibarıyla 8.028 MW, elektrik üretimi içerisindeki toplam payı ise %7,9 olmuştur [24].

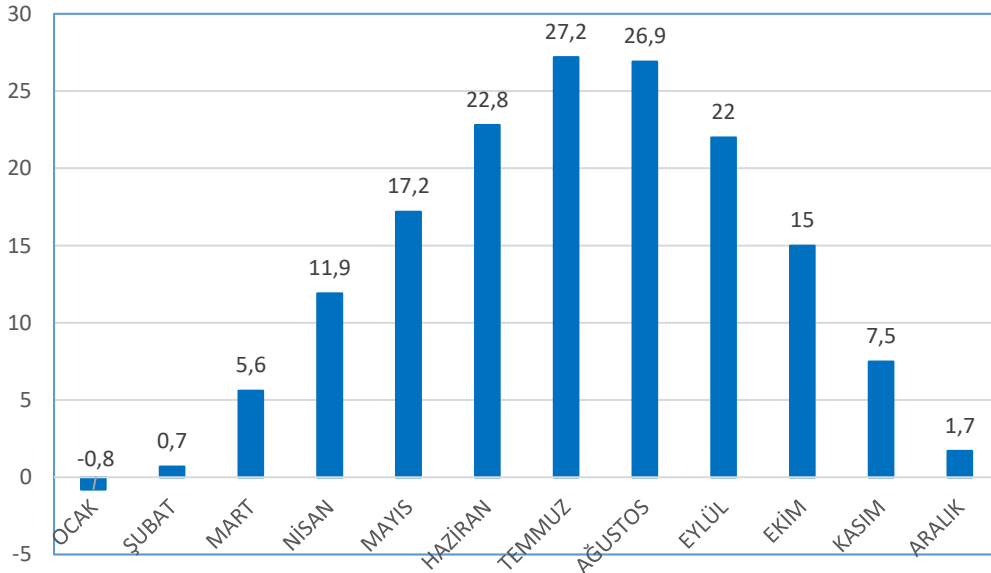
Şekil 2.3'deki aylık ortalama radyasyon değerine göre Türkiye'nin genel olarak en çok güneş enerjisi üretilen ayın Haziran ve en düşük güneş enerjisi üretilen ayın ise Aralık olduğu görülmektedir.



Şekil 2.3. Aylık ortalama radyasyon değeri [23]

2.4. Elazığ İlinin Güneş Enerji Potansiyeli

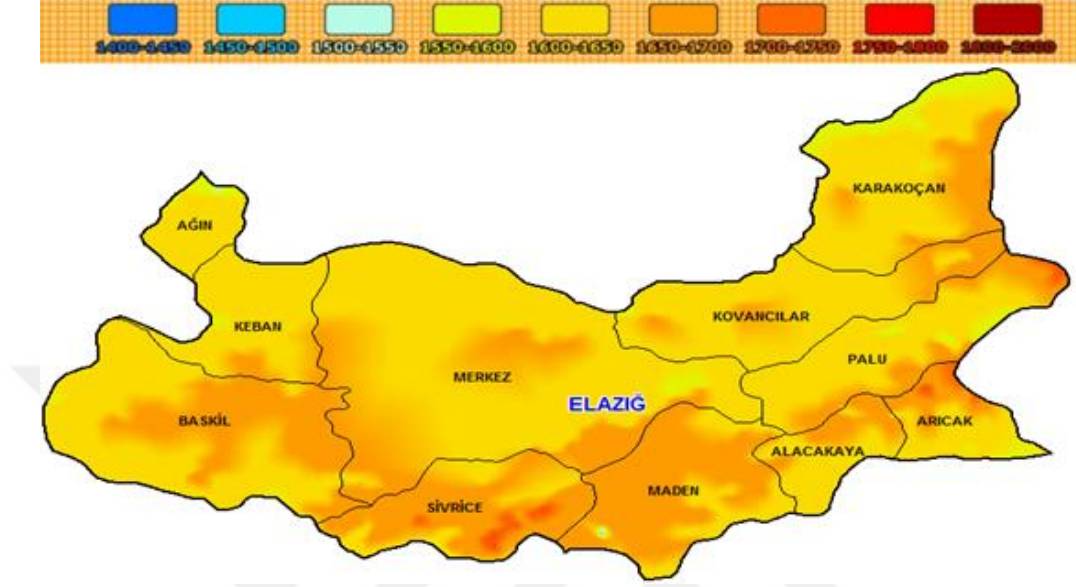
Coğrafi yapısı ve konumu bakımından Elazığ ili güneş enerjisi potansiyeli açısından etkili bir konumda bulunmaktadır. Şekil 2.4’de gösterilen meteoroloji verileri incelendiğinde yıllık ortalama 12.5 °C ile 13°C sıcaklık olduğu görülmektedir.



Şekil 2.4. Elazığ ilinin aylık ortalama sıcaklık dağılımı (°C) [23]

MGM tarafından belirlenen Elazığ ilinin güneş ışıması değerleri ortalama 1600-1700 KWh/m² aralığında olduğu Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Global güneş radyasyon dağılımı

istatistiklerine göre Elazığ ilinin güneş ışınımı değerinin ortalamasının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir [23]. Şekil 2.6’da Elazığ ilinde kurulu olan GES görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2.5. Elazığ ilinin güneş enerji potansiyeli [23]



Şekil 2.6. Elazığ ilinde kurulu GES [25]

3. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

3.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi bilgi sistemi (CBS), genel olarak coğrafi referanslı verileri yakalama, depolama, analiz etme ve görüntüleme yeteneğine sahip bilgisayar tabanlı bir donanım ve yazılım sistemini ifade eder. CBS, görünüşte ilgisiz verileri ilişkilendirerek, kuruluşların ve kişilerin mekânsal kalıpları ve ilişkileri daha iyi kavramalarına yardımcı olabilir.

CBS, hem karar verme hem de problem çözme süreçlerinde bir araç olarak kullanılabilirdiği gibi, verilerin mekânsal bir ortamda görselleştirilmesi için de kullanılabilir [18].

Bilgisayar teknolojisinin her geçen gün gelişimiyle beraber CBS çok farklı meslek dallarında ve iş kolunda planlama, analiz ve takip için kullanılmaktadır. Bilgisayar ortamına girilen tüm bilgiler kendi aralarında ve coğrafi konumlarıyla ilişkilendirilmekte, aynı zamanda bu verilerle mekânsal analizler hazırlanabilmektedir. Yerinde ve hızlı kararlar alabilmek, maliyetleri düşürerek daha iyi hizmetlerin alınmasını sağlamak, daha etkin planlama ve yönetim uygulamalarını modernleştirmek amacıyla haritacılıkta, üstyapı/altyapı sistemleri ve çözümlerin yürütülmesinde CBS önemli rol oynamaktadır. Özel ve kamu sektöründe, içeriğinde koordinat, adres, envanter veya parsel mevcut olan bütün projelerde CBS kullanılmaktadır [26].

Temel olarak coğrafi veri yapısı tanımlayıcı bilgiler ve mekânsal olmak üzere iki grupta incelenir. Mekânsal veriler, özelliklerin şeklini, yerini ve diğer mekânsal veriler ile olan ilişkilerini tespit eder. Özelliklere ait bilgilerin veri tabanında tutulması ise tanımlayıcı bilgilerdir. Yine temel olarak özellik tipleri çizgi, alan ve noktadan oluşan üç gruba ayrılır.

Nokta: Lokasyonu belirler. Sınırları ve şekli çok küçük olan unsurların nitelendirilmesinde kullanılırlar.

Çizgi: Alan olarak gösterilemeyen ve birbirini takip eden unsurlar için kullanılır (Örnek: Deprem hattı, fay hattı, nehir ve yol gibi).

Alan: Verilerin alansal olarak gösterilmesi için kullanılır (Örnek: Merkezler, göller gibi).

Bu üç özellik harita üzerinde kullandığı semboller ile birbirlerinden değişik manalar ifade ederler. Bu anlamlar veri tabanı verileri yardımıyla oluşur. Veri tabanındaki bilgiler vasıtasıyla özellik bakımından aynı grupta bulunan mekânsal veriler, kendi aralarında sembol ve renk olarak ayırt edilir. Bu sayede harita üzerinde birbirinden farklı veriler gösterilmiş olur [11].

CBS'de üç veri türü vardır. Bunlar vektör verisi, coğrafi olmayan öznitelik verisi ve sayısal verilerdir.

Vektör veri modeli; alan, çizgi ve noktadan meydana gelen nesnelere x ve y değerleri ile belli bir koordinat sistemi dâhilinde depolar. Koordinat verilerinin bilinmesi ile mekânsal objelerin konumlandırılması oldukça kolay ifade edilebilir.

Sayısal veri modeli; daha küçük parçalara ayrılan görüntülerden aralarında komşu olan hücrelerin gruplanarak bir araya gelmesi ile meydana gelir. Her bir hücre piksel adı ile adlandırılmaktadır. Çözünürlük ise hücre boyutunu belirtmektedir. Harita çözünürlüğü ne kadar artarsa hücre boyutu da o kadar azalacaktır.

Coğrafi olmayan öznelik verileri; haritası bulunmayan herhangi bir objenin özelliklerini gösteren bilgilerdir. CBS'de x , y koordinatlarına bağlı (sayısal format) bilgilerin sisteme girilmesinde değişik veri kaynakları kullanılır. Bunlar mevcut yersel ölçmeler, hava fotoğrafları, haritalar ve uydu görüntüleri neticesinde oluşturulan koordinat verileri ile açı uzaklık değerleridir [27].

3.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

ÇKKV, aynı zamanda ve birden fazla uygulanan parametrelerin arasından en uygun tercihin seçilmesini sağlayan bir yöntemdir. Karar vericiler bakımından çok sayıda birbirinden bağımsız kriterin hangi düzeyde baskın olduğunu dikkate alarak, kriterler ve problem açısından en iyi kararın alınmasını sağlayan metotlardır. Ayrıca kriterlerin sayısal bir değerle gösterilemeyeceği ya da kriterlerin birbirleri arasında çelişki olduğu durumlarda ortak bir dilde çözümler göstererek değerlendirme imkânı verebilen yöntemlerdir [28].

Rasyonel olarak karar verme durumunda tercih edilen en iyi seçim, çoğunlukla yöntemin amaçları ve kısıtları doğrultusunda sınırlandırılmaktadır. Bu sebeple kararın bu amaçlar ve kısıtlar dâhilinde değerlendirilmesiyle istenen sağlıklı çözümler sağlanmaktadır. ÇKKV, teorik gelişimi ile beraber pratik uygulamaları bakımından da karar analizi alanında çok hızlı bir gelişme göstermiştir. Karar tespitlerindeki başarısı ve kendini kabul ettirmiş güçlü bir mantık yapısı ile geniş bir uygulama sahasına sahiptir [28].

ÇKKV yöntemlerinin günümüzde kullanımı hızlı ve sürekli bir şekilde değişmektedir. Genellikle aralarında çelişki olan kriterleri göz önünde bulundurarak rasyonel karar verme bakımından önemlidir. Bu sebeple akademik alanda daha iyi ve etkin sonuçlar çıkaran yöntemleri geliştirme çabaları da sürmektedir [29].

Günümüzde ortaya çıkan karar verme problemlerinin karmaşık bir yapıya sahip olması sonucunda geliştirilen ve sayıları giderek fazlaşan ÇKKV yöntemleri; politik, finansal, kültürel, sosyal birçok alanda ve çok sayıda kurum ve kuruluşta kullanılır hale gelmektedir.

3.3. Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi

AHP, ilk olarak Prof. Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen bir yöntemdir. En popüler ve yaygın olarak kullanılan çok kriterli yöntemlerden biridir. Bu teknikte, alternatifleri derecelendirme ve en uygun alternatifleri bulmak için birleştirme süreçleri entegre edilmiştir. Teknik, bir dizi alternatifi sıralamak veya bir dizi alternatif içinde en iyinin seçilmesi için kullanılır. Sıralama veya seçim, bir dizi kritere ayrılan genel bir hedefe göre yapılır [30].

ÇKKV yöntemlerinde insan düşüncelerinin genel olarak dikkate alınması sıkça kullanılan bir karar verme sürecidir. Her bireyin deneyimleri, bilgi ve öngörülerinin yanında, psikolojik durum, içinde olduğu sosyal çevre ve probleme dayalı amaçları farklılık sergileyebilir. AHP ise buradaki gibi karar vericilerin sosyolojik ve psikolojik etkenlerle beraber uygulayacakları gözlemleri dâhil ederek daha etkili sonuçlara varabilmesine katkıda bulunmuştur [31].

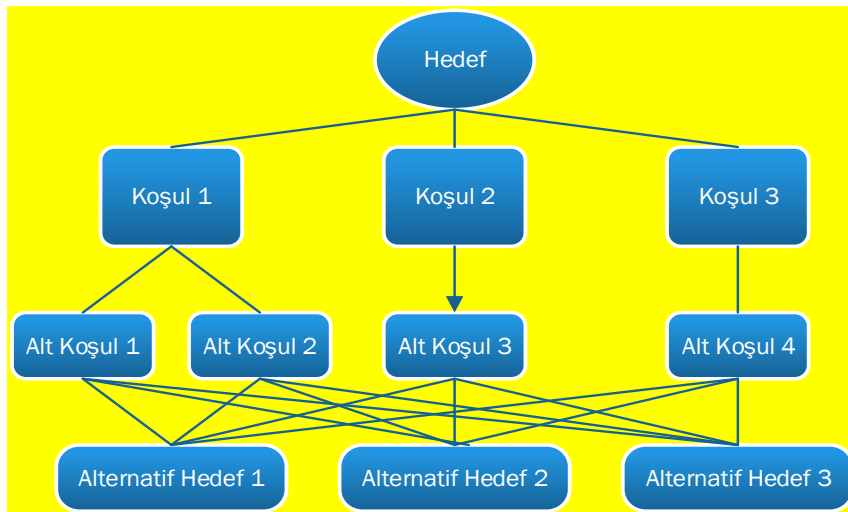
AHP çözüm sürecinde takip edilecek adımlar;

Adım 1: Problemin tanımlanması

Farklı ÇKKV metotlarında olduğu gibi AHP metotlarında da ilk uygulanacak problemin açık bir şekilde belirlenmesidir. Problem açık bir şekilde belirlendikten sonra ortaya konulmalıdır. Problemin iyi bir biçimde tanımlanması ileriki aşamalarda oluşabilecek hataların ya da eksikliklerin önlenmesi bakımından oldukça önem taşır.

Adım 2: Kriter ve alternatiflerin belirlenmesi

Problemi etkileyen faktörleri ve hatta bulunuyorsa bu ana faktörleri etkileyen alt faktörlerinde ikinci adımda ortaya koyulması gerekmektedir. Ayrıca faktörlerin değerlendirileceği alternatiflerin belirlenmesi gerekmektedir. Örnek AHP hiyerarşisi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. AHP Hiyerarşisi

Adım 3: Hiyerarşik yapının oluşturulması

Önceki iki aşamanın gerçekleşmesinden sonra bu aşamada problemin amacının, kriter ve alternatiflerin oluşturulduğu hiyerarşik yapının açık bir şekilde, doğru ve kesin olarak belirlenmesi gerekmektedir. Problemin amacı yapıda en başta bulunurken, onun altında bu problemi etkileyen baş faktörler ve onun da altında (bulunuyorsa) faktörleri etkileyebilecek alt faktörler bulunmalıdır.

Adım 4: İkili karşılaştırmaların gerçekleştirilmesi

Üçüncü aşama uygulandıktan sonra her bir seviye için üçüncü aşamadaki hiyerarşik yapıya bağlı kalınarak ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenir. Her seviye hiyerarşik yapıda kendi içinde; tüm faktörler, alt faktörler ve alternatifler kendi aralarında karşılaştırılırlar. Tablo 3.1’de verilmiş olan karşılaştırma dereceleri ikili karşılaştırmalar uygulanırken kullanılır.

Tablo 3.1. İkili karşılaştırmalarda kullanılan önem dereceleri

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit kuvvette önemli	İki kriter eşit olarak katkıda bulunur.
3	Orta kuvvette önemli	Deneyim ve yargıya göre güçlü bir şekilde kriterlerden birini tercih eder.
5	Güçlü kuvvette önemli	Deneyim ve yargı, bir eylemi diğerinden daha güçlü bir şekilde desteklemektedir.
7	Çok güçlü kuvvetli önemli	Bir kriter çok güçlü kuvvetle tercih edilir.
9	Aşırı kuvvette önemli	Bir kriteri diğerine tercih eden ve mümkün olan en yüksek doğrulama derecesine sahiptir.
2,4,6,8	Ara değerleri temsil etmektedir	İki kriter arasındaki tercihte yukarıdaki açıklamalarda bulunan derecelerin ara değerleridir.

Adım 5: İkili karşılaştırma matrislerinin normalizasyonu

İkili karşılaştırmalarla daha önceki aşamada elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin satır toplamalarının alınması yoluyla normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. n adet faktörü bulunan bir matris $[x_{ij}]_{n \times n}$ ile, normalize edilmiş matris $[y_{ij}]_{n \times n}$ ile gösterilmek üzere normalizasyon işlemi;

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (3.1)$$

denklemini ile yapılır.

Adım 6: Öncelik vektörlerinin hesaplanması

İkili karşılaştırma matrislerinin normalizasyon işlemi tamamlandıktan sonra normalize matrisin satır ortalamaları dikkate alınır. Bu işlem faktörler için gerçekleştirildi ise ortaya çıkan sonuçlar faktörlerin problem üzerindeki önem derecelerini verecektir. Eğer alternatifler için yapıldı ise karar matrisinde, alternatiflerin o faktör için ağırlık vektörü olarak değerlendirilecektir. Öncelik vektörü $A=[a_i]_{n \times 1}$ olmak üzere;

$$a_1 = \frac{\sum_{j=1}^n y_{1j}}{n} \quad (3.2)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır.

Adım 7: Tutarlılık testleri

Elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin, kendi aralarında tutarlı olup olmadığını anlamak için teste sokulması gerekir. Testin sonucunun tutarsız olması durumunda ikili karşılaştırma matrisleri problemlidir ve ikili karşılaştırma matrisleri yeniden hazırlanmalıdır. n adet faktörün, ikili karşılaştırmaların tutarlılık testi için geçerli olan denklem:

$$[t_i]_{n \times 1} = [x_{ij}]_{n \times n} \cdot [a_i]_{n \times 1} \quad (3.3)$$

Oluşturulan vektörün her bir elemanı sırası ile öncelikler vektörü elemanlarına bölünür. Daha sonra λ_{max} , en büyük özdeğerinin hesaplanması amacıyla elde edilen değerlerin ortalaması alınır.

$$\frac{t_i}{a_i}, \quad \lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{a_i}}{n} \quad (3.4)$$

λ_{max} 'ın hesaplanmasından sonra λ_{max} kullanılarak uyum indeksi (CI) değeri hesaplanır. Son olarak ise CI ve rastgele indeks (RI) değerlerinin birbirine bölümü vasıtasıyla tutarlılık oranı sonucu bulunur.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.6)$$

Tutarsızlık oranının $CR < 0,1$ olması kabul edilebilir düzeyde olduğunu gösterir. Fakat tutarsızlık oranının $CR > 0,1$ çıkması durumu kabul edilebilir düzeyin üstünde olduğunu gösterir ve karşılaştırma matrisi tekrardan değerlendirilir.

Adım 8: Karar matrisinin oluşturulması

Tüm faktörler ve alternatifler için gerekli öncelik vektörlerinin oluşturulmasından sonra, bu vektörler birleştirilerek karar matrisi oluşturulur. A_i , i . faktör için alternatiflerin karşılaştırılması vasıtasıyla oluşturulmuş olan bir öncelik vektörü olmak üzere; n adet faktörün ve m adet alternatifin bulunduğu probleme ait bir örnek matris ve W kriterlere ait ağırlıklar aşağıda yer almaktadır.

$$D = [A_1 \ A_2 \ \dots \ A_n]_{m \times n} \quad (3.7)$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (3.8)$$

$$W = [W_1 \ W_2 \ \dots \ W_n]_{1 \times n} \quad (3.9)$$

Adım 9: Nihai öncelik vektörlerinin hesaplanması

AHP metodunun son adımı olan nihai öncelik vektörlerinin hesaplanması, aynı zamanda en iyi alternatifin bulunmasını sağlamaktadır. Oluşturulan D karar matrisi ve W faktör ağırlıkları çarpılır. $A = [a_i]_{m \times 1}$ alternatiflere ait nihai öncelik vektörü olmak üzere, alternatiflerin önem ağırlıkları Denklem 3.10'daki gibi gösterilir [30].

$$A = D \cdot W \quad (3.10)$$

4. MATERYAL VE METOT

Doğu Anadolu Bölgesinin güneybatısında bulunan Elazığ ili, toplam alanı 9151 km² ile Türkiye yüzölçümünün %1,2'sini oluşturmaktadır. Dünya üzerinde ise 40° 21' - 38° 30' doğu boylamları ve 38° 17' - 39° 11' kuzey enlemleri aralığında bulunmaktadır. Elazığ ili topraklarının güney - kuzey yönündeki uzunluğu yaklaşık 65 km, batı - doğu yönündeki uzunluğu ise yaklaşık 150 km civarındadır. Elazığ ilini, kuzeyden Tunceli, doğudan Bingöl, batı ve güneybatıdan Malatya, güneyden ise Diyarbakır illerinin toprakları sarmaktadır. Şekil 4.1'de Elazığ ilinin konumu gösterilmiştir.

Elazığ, Güneydoğu Torosların batı uzantıları ile çevrili olup, bu dağların en yüksek noktasını 2118 m ile ilin batısındaki Hasan Dağları oluşturur [32].



Şekil 4.1. Elazığ ilinin Türkiye içindeki konumu [33]

Bu çalışmada, Elazığ ilinde güneş enerji santrali yer seçiminde en ideal yerlerin belirlenmesi amacıyla CBS ve AHP kullanılmıştır.

Öncelikli olarak uygulamada kullanılacak olan kriterler belirlenmiştir. Kriterler belirlenirken çalışma alanının şartlarına uygun olan kriterlerin kullanılmasına önem gösterilmiştir. Kullanılan çalışma verileri;

- Güneş enerji potansiyeli
- Bakı alanları
- Eğim alanları
- Enerji nakil hatlarına uzaklık

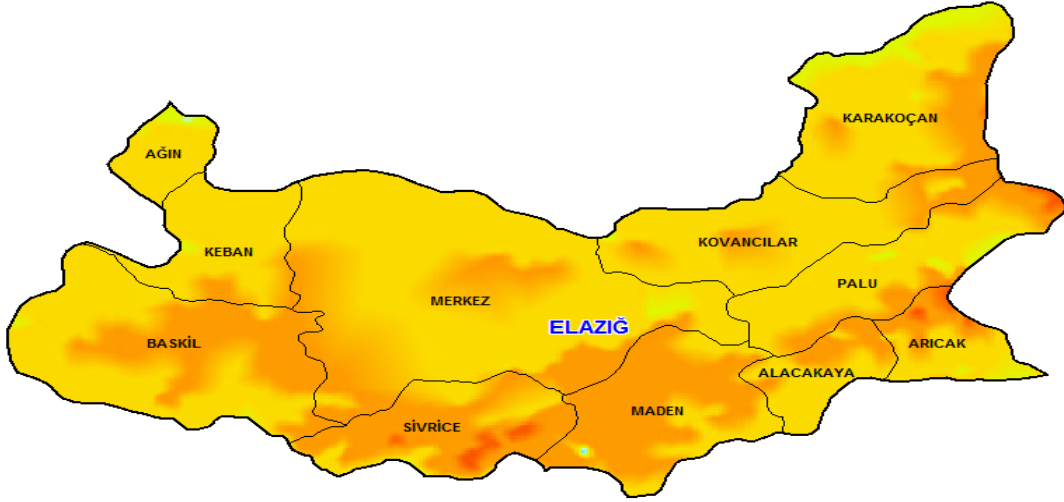
- Akarsulara uzaklık
- Göllere uzaklık
- Karayollarına uzaklık
- Demiryoluna uzaklık
- Yerleşim alanlarına uzaklık
- Deprem ve fay hattına uzaklık
- Botaş boru hattına uzaklık
- Bulutsuz gün sayısı ortalaması

Alınan veriler öncelikli olarak uygulama adımında WGS84, 36N koordinat sistemine dönüştürülmüştür [34]. Bu dönüşüm yapıldıktan sonra veriler Elazığ iline göre oluşturulmuştur. Sonraki adımda Öklid mesafesi yöntemi kullanılarak vektör verilerden mesafe haritaları çıkarılmıştır. Sayısal yükseklik modeli bilgisi kullanılarak CBS ile eğim, güneş enerji potansiyeli ve bakı haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen sayısal veriler oluşturulan değerlere uygun olarak 1 ile 5 değeri arasında puanlar atanarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki adımda, AHP yardımıyla kriterler kendi aralarında değerlendirilmiş ve ağırlıkları saptanmıştır. Son aşama olarak oluşturulan sayısal haritalar ile elde edilen ağırlıklar kullanılarak, ağırlıklı çakıştırma yöntemi ile Elazığ ilinde güneş enerjisi santrali kurulması için uygun olan yerler saptanmıştır.

4.1. Güneş Enerji Potansiyeli

GES için yer seçimi yapılırken öncelikli olarak bu sistemin kurulacağı alanın güneş potansiyeli bakımından değerlendirilmesi gereklidir. Güneş potansiyeli az olan bölgelerde GES'lerin kurulması, maliyet ve verim açısından uygun olmamaktadır. Bundan dolayı iyi araştırma ve sağlıklı bir analiz yaparak bölgenin güneş potansiyeli bakımından durumunun öncelikli olarak tespit edilmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmada 30 m çözünürlükte sayısal yükseklik (digital elevation map - dem) haritası Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'ndan (United States Geological Survey - USGS) alınarak kullanılmıştır [35]. CBS yazılımından güneş enerji potansiyeli haritasını oluşturmak için yararlanılmıştır. CBS programında sayısal yükseklik modeli verisi ile birlikte solar radyasyon seçeneği kullanılarak güneş enerji potansiyeli haritası Şekil 4.2 elde edilmiştir.



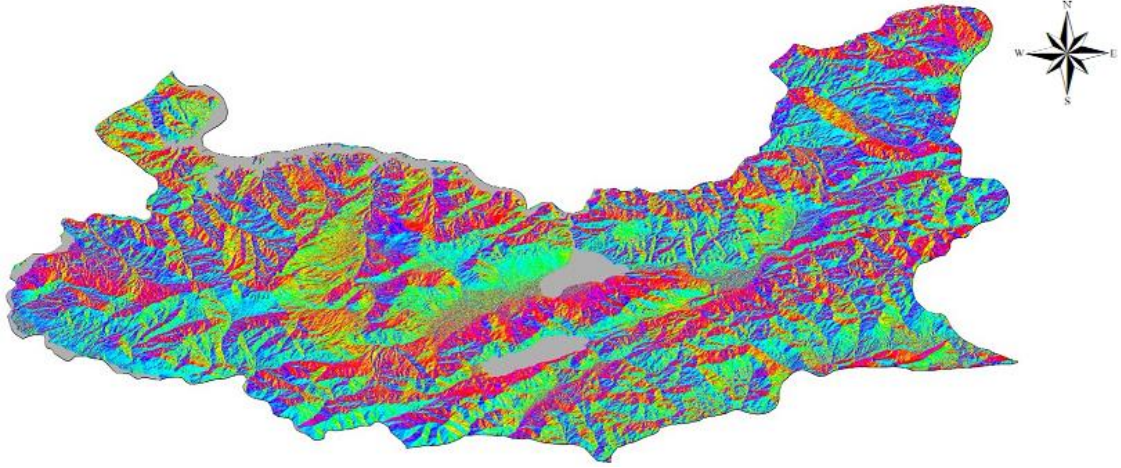
Şekil 4.2. Elazığ ili güneş enerji potansiyeli haritası

4.2. Bakı Alanları

Türkiye arazi bakımından engebeli ve yüksek olmasından dolayı santral kurulacak alanın seçilmesinde bakı kriteri önemli hale gelmiştir. Dünya üzerinde Türkiye kuzey yarım kürede bulunmasından dolayı güneş ışınları güney yamaçlara düşmekte ve gölgenin kuzeye doğru çıkmasına neden olmaktadır. Bu sebepten gün içerisinde güneşten en fazla verimin sağlanacağı güney cephelerinin tercih edilmesi GES konum seçimi için daha olumlu olacaktır.

Elazığ ilinin yamaç yönelimlerini bulmak ve bakı haritasını oluşturmak için sayısal yükseklik modeli verisi kullanılmıştır [35]. Bu veriler ile CBS'nin 3 boyutlu konumsal modelleme analizlerinden faydalanılarak, topografya haritasından düzensiz üçgen ağı (Triangulated irregular network – Tin) oluşturularak mekânsal analiz araçlarında bulunan bakı (aspect) seçeneğinden Elazığ ili için Şekil 4.3'deki bakı haritası elde edilmiştir.

Bakı haritası elde edilirken mekânsal verilerin hücresel kareler olarak ifade edilmesi ile sayısal görünüm türetilir. Görünüm, her konum için yokuş aşağı eğimin baktığı pusula yönünü tanımlar. Elde edilen her hücrenin değeri, yüzeyin o konumda baktığı pusula yönünü gösterir.



Şekil 4.3. Elazığ ili bakı haritası

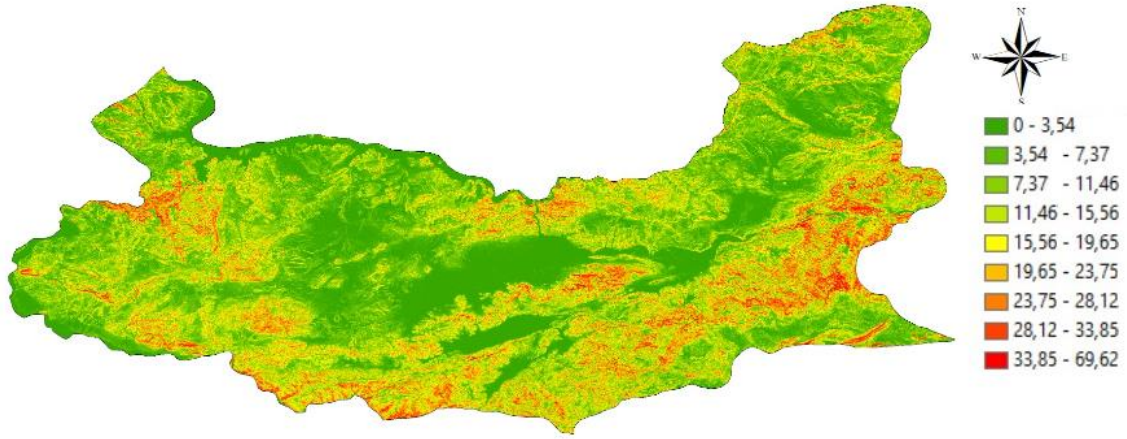
4.3. Eğim Alanları

GES kurulacak alanın belirlenmesinde arazi eğimi de önemli bir etkindir. Arazinin fazla eğimli olması durumunda bu yerlerde kazı ya da dolgu işlemleri maliyet ve zaman açısından kayıplara neden olmaktadır.

Elazığ ilinin arazi yapısı incelendiğinde eğimli arazilerin bulunduğu görülmektedir. Bundan dolayı eğimi sıfıra yakın olan bölgeler yer seçimi için uygun olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca eğim derecesi yüksek olan araziler heyelan riski taşıdığından eğim faktörü önemli kriterler arasında yer almaktadır [36].

Mevzuatlarda GES kurulumuna uygun arazi eğimi ile ilgili bir ölçüt mevcut değildir. Güneş enerji santralleri kurulumuna uygun konum analizi hazırlanmış bulunan çalışmalar da dikkate alınarak, yapılan çalışmada arazi eğimi %20'den az bölgeler için gerçekleştirilmiştir. Analizde eğimi %20'nin üstünde bulunan yerler GES kurulumu için uygun bulunmayan alanlar olarak ifade edilmiştir.

Şekil 4.4'de verilen Elazığ ilinin eğim haritasının hazırlanması için sayısal yükseklik modeli verisinden istifade edilmiştir [35]. ARCGIS yazılımı kullanılarak sayısal yükseklik modeli haritası ile Elazığ iline ait eğim verisi oluşturulmuştur. Topoğrafya haritasından yararlanıp Tin oluşturularak, mekansal analiz araçlarında bulunan yüzey (surface) seçeneği seçilip eğim haritası oluşturulmuştur.



Şekil 4.4. Elazığ ilinin eğim haritası

4.4. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık

Kurulumu yapılacak olan santrallerden üretim yapıp, elektriğin enerji iletim hatlarıyla trafo noktalarına iletilerek oradan da dağıtımın planlanması gerekmektedir. GES, kurulduğu noktadan enerji nakil hatlarına ilgili kurumun belirttiği noktadan bağlantı yapmak zorundadır.

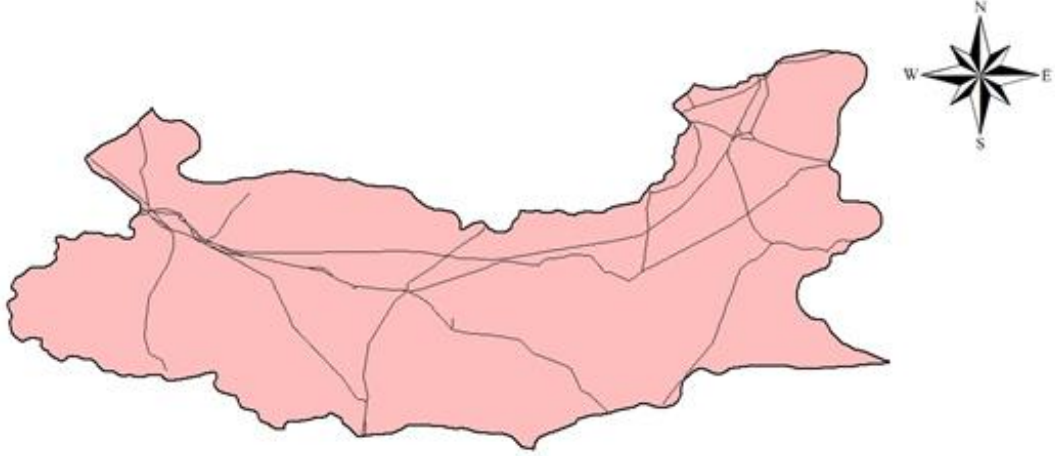
Enerji iletim hatlarına olan mesafe ne kadar artarsa maliyette o ölçüde artmaktadır. Konum seçiminde enerji nakil hatlarına olan uzaklık dikkate alındığında, maliyetin ve enerji kayıplarının düşürülmesi konusunda avantaj sağlamaktadır [7].

Elektrik piyasasında lisansız elektrik üretimine ilişkin yönetmeliğe göre üretim tesisinin bağlanacağı mevcut şebekeye olan mesafesi;

a) Kurulu gücü azami 0,499 MW olan tesisler için kuş uçuşu mesafesi 5 km'den, projelendirmeye esas mesafesi ise 6 km'den,

b) Kurulu gücü 0,5 MW - 1 MW arası olan tesisler için kuş uçuşu mesafesi 10 km'den, projelendirmeye esas mesafesi ise 12 km'den fazla olamaz [37].

Şekil 4.5'de gösterilen Elazığ iline ait ana enerji nakil hatlarına ilişkin konumsal veriler TEİAŞ Elazığ 13. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir [8]. Alınan bu verilerden enerji nakil hatları CBS programında çizgi (line) özelliğinde olacak şekilde CBS veri tabanına aktarılmıştır.



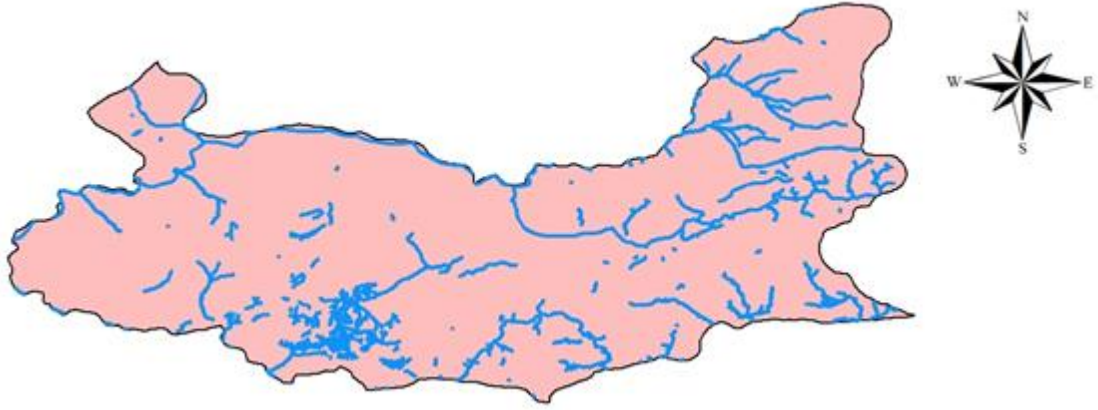
Şekil 4.5. Elazığ ili enerji nakil hatları

4.5. Akarsulara ve Göllere Uzaklık

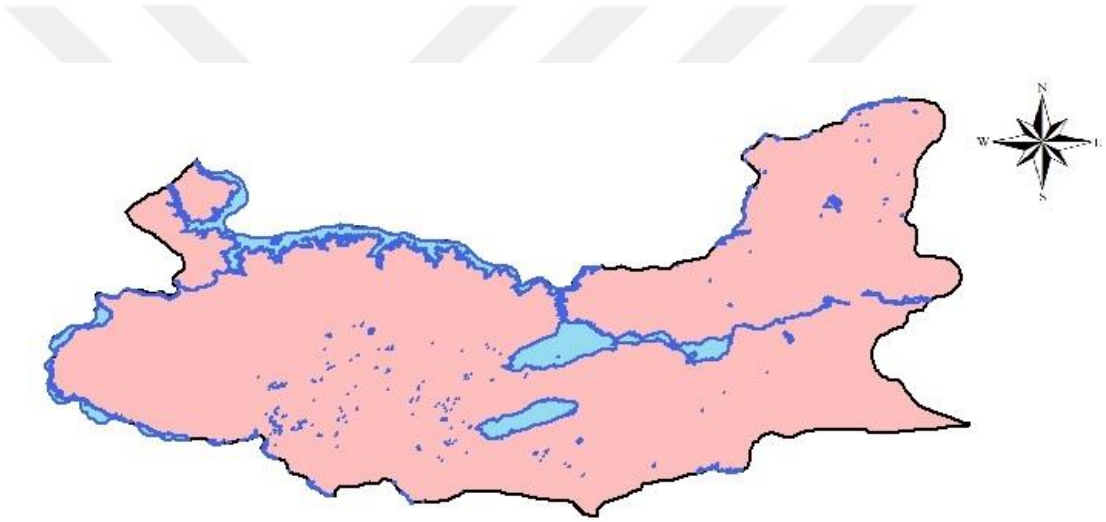
GES kurulumu için gerekli olan diğer bir faktör ise akarsu ve göllere olan mesafedir. Panellerin temizliğinde gerekli olan suyun temin edilebilmesi için santrallerin akarsu ve göllere yakın olarak kurulması kolaylık sağlayacaktır. Bunun yanında akarsu ve göllere yakın alanlarda tarımsal sulama yapılabilmesi için enerji ihtiyacı gerekmektedir. Akarsulara ve göllere yakın kurulan GES tampon bölge belirlendikten sonra daha avantajlı olarak gösterilebilir [11].

Eğer tampon bölge oluşturulmadan GES kurulursa kışın yağın karların erimesi ve suların taşması ile oluşan doğal afetler tesislere maddi anlamda çok ciddi zararlar verebilir. Santralin işletme maliyetlerini arttırabilir, elektrik üretimini azaltabilir ve hatta ortadan kalkmasına sebebiyet verebilir. Bu nedenle kriterin olası tesirleri göz önüne alınarak analize konulması uygun görülmüştür.

Elazığ iline ait akarsulara ve göllere ilişkin konumsal veriler Almanya merkezli harita verisi sağlama hizmetlerinde uzmanlaşmış bir danışmanlık ve yazılım geliştirme firmasından temin edilmiştir [38]. Elde edilen bu veriler, CBS programında poligon (polygon) özelliğinde olacak şekilde veri tabanına aktarılmıştır. Aktarılan veriler sayısal formata çevrilerek Şekil 4.6'da ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Elazığ ili akarsuları

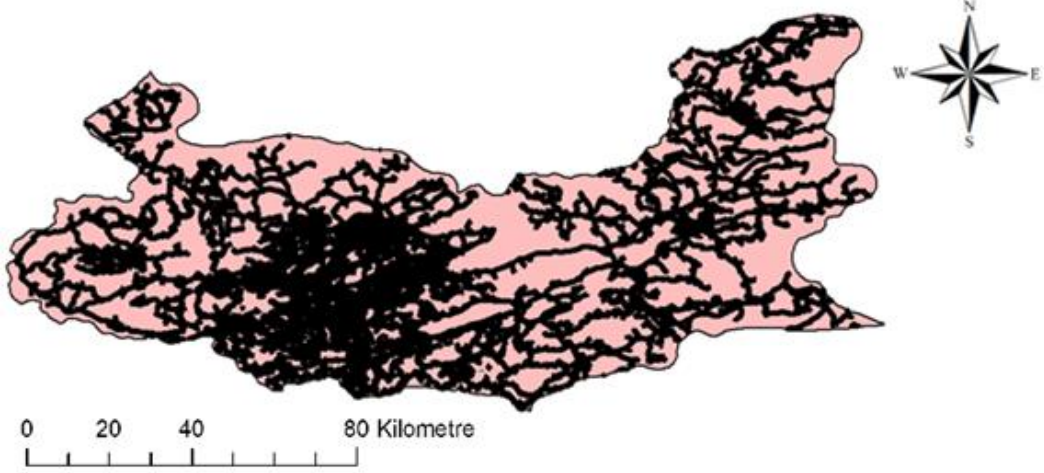


Şekil 4.7. Elazığ ili baraj ve gölleri

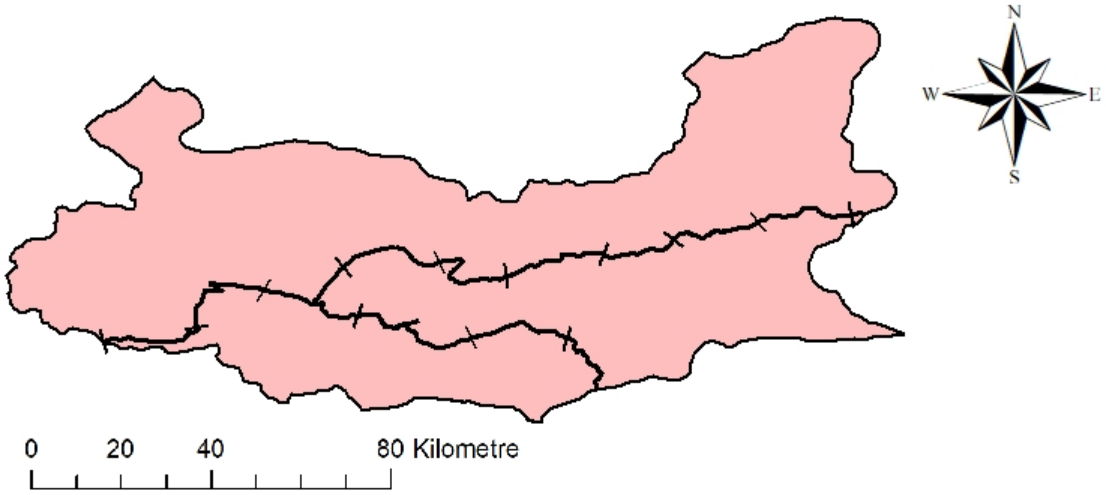
4.6. Karayolu ve Demiryolu Ağına Uzaklık

Ulaşım, bir alana kurulacak yatırımlarda önemli bir etkidir. GES kurulacağı alana çok sayıda nakliyat gerekmektedir. Tesislerin kurulumunda gerekli olan inşaat malzemelerinin götürülmesi ve araçlar ile kolay bir şekilde tesislerin yapılacağı alanlara ulaşılması için karayolları ve demiryolları ağlarına yakın bölgeler tercih edilmektedir. Ulaşımın zor olduğu alanlarda yeni açılacak yollar maliyeti arttıracaktır. Bu sebeple güneş enerji santrali kurulacak bölgeler karayoluna ve demiryoluna yakın konumlar olarak seçilmelidir.

Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen, karayolları ve demiryolları ağı konumsal verileri çizgisel (line) özellikte olacak şekilde CBS veri tabanına aktarılmıştır [39]. Elazığ iline ait karayolu ağı Şekil 4.8'de ve demiryolu ağı Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Elazığ ili karayolları ağı

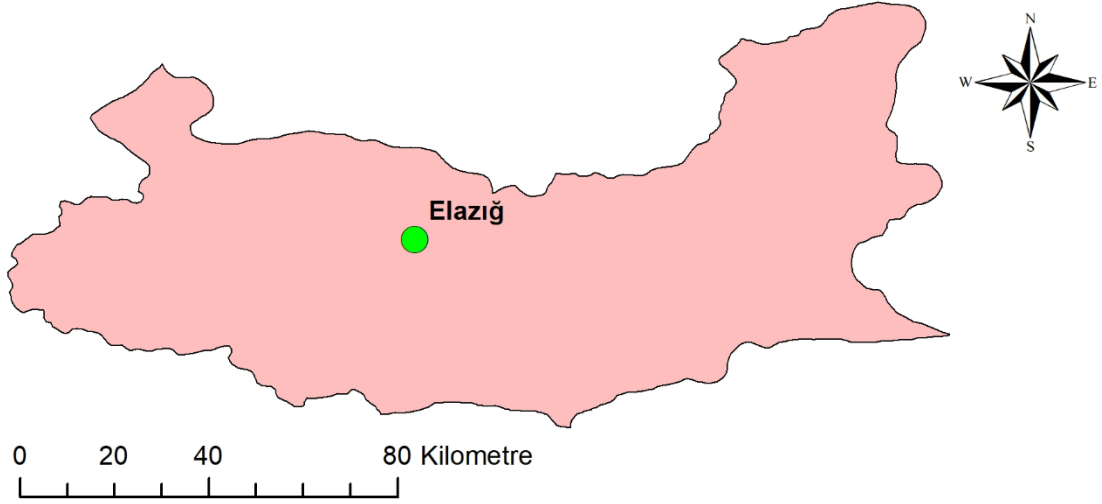


Şekil 4.9. Elazığ ili demiryolları ağı

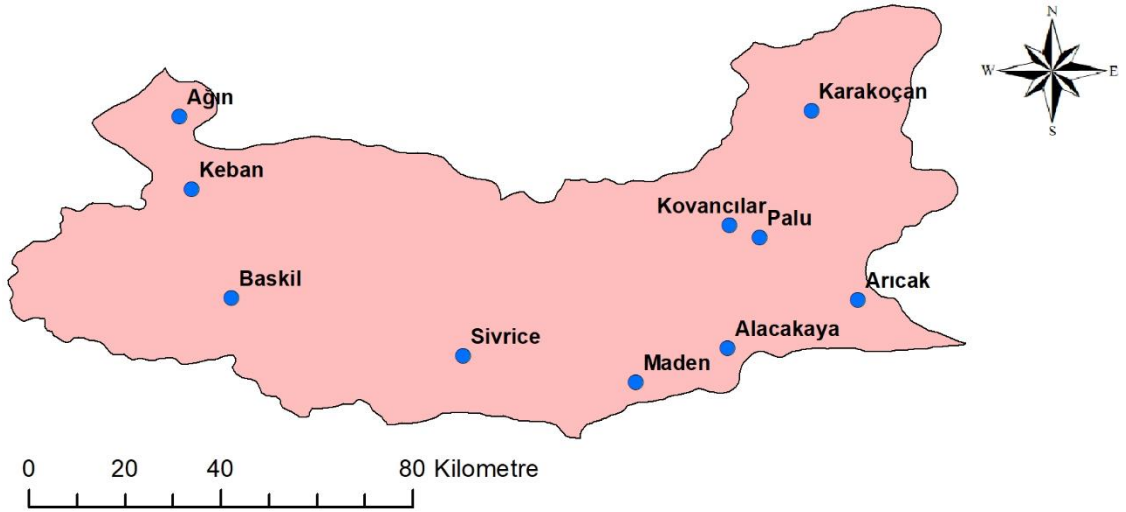
4.7. Yerleşim Alanlarına Uzaklık

GES yer seçimi yapılırken, yerleşim alanlarının ileriki zamanlarda gelişeceği bölgeler dikkate alınmalıdır. Bu sayede GES'in gelecekte yerleşim yeri içerisinde kalmasının önüne geçilmiş olunur. Ancak bunun yanında yerleşim yerlerine yakın olan mesafe, maliyetin daha az olmasını ve enerjinin o bölgeye iletimini daha kolay bir hale getirecektir. Bu sebeplerden ötürü belirli bir tampon bölge ayarlandıktan sonra yerleşim alanlarına yakın mesafelerde kurulan santraller daha avantajlı olabilmektedir.

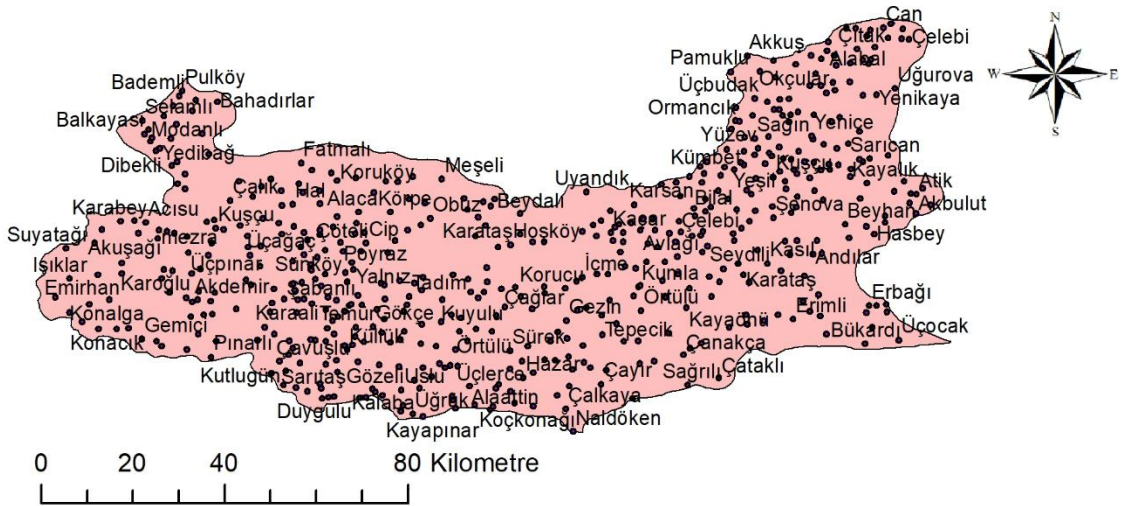
Harita Genel Müdürlüğü'nden elde edilen yerleşim alanları verileri, poligon (polygon) özelliğinde olacak şekilde coğrafi veri tabanına kaydedilmiştir [39]. Böylece Elazığ iline ait yerleşim alanlarının verisi, il merkezi için Şekil 4.10'da ilçe merkezi için Şekil 4.11'de ve köy merkezi için Şekil 4.12'de gösterildiği gibi ayrı ayrı oluşturulmuştur.



Şekil 4.10. Elazığ il merkezi yerleşim alanı



Şekil 4.11. Elazığ ilçe merkezleri yerleşim alanları

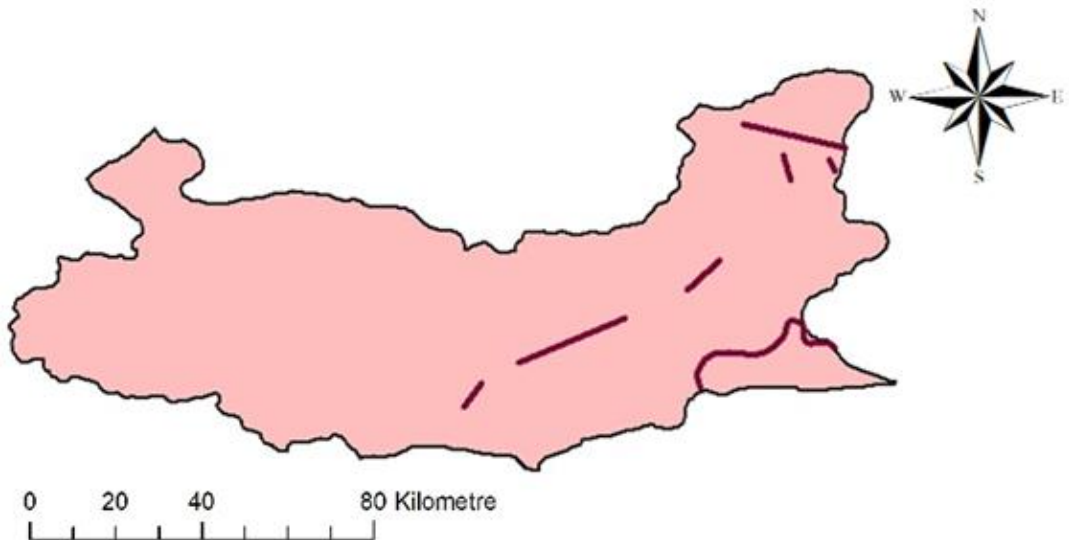


Şekil 4.12. Elazığ köy merkezleri yerleşim alanları

4.8. Deprem Fay Hattına Uzaklık

Yer seçiminde deprem riski az olan bölgeler GES kurulumu için daha uygundur. Elazığ ili 1. Derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu bölgelerde güneş enerji santralleri için yer seçimi yapılırken, deprem alanları sismik aktivite bakımından yüksek potansiyele sahip olduğundan fay hatlarına olan uzaklık sisteme zarar gelmemesi açısından dikkate alınmalıdır. GES kurulurken fay hatlarına uzak olması tercih edilmektedir.

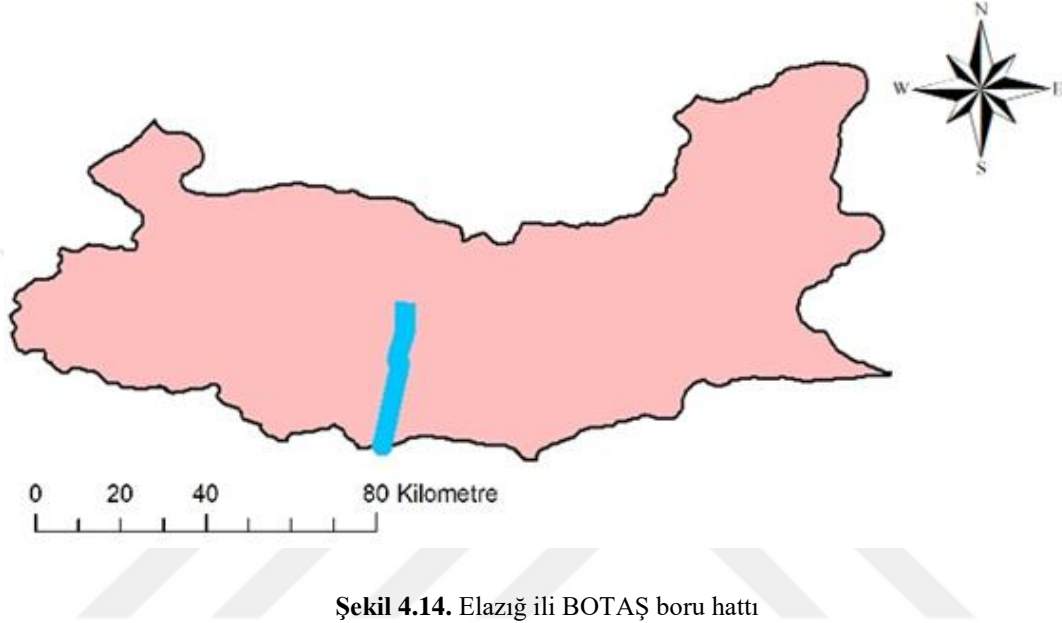
Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nden alınan fay hattı bilgisi sayısallaştırılarak kullanılmıştır [40]. Şekil 4.13'de Elazığ ilinin fay hattı verilmiştir.



Şekil 4.13. Elazığ ili deprem fay hattı [40]

4.9. BOTAŞ Boru Hattına Uzaklık

Tehlike oluşturacak etkenlere yer seçimi yapılırken dikkat edilmesi gerekir. Bundan dolayı GES'ler için en iyi bölge seçilirken BOTAŞ boru hat ve çevresi olmamasına dikkat edilmelidir. Doğalgaz boru hattı verisi BOTAŞ'tan alınarak, konumsal veri katmanına çizgisel özellikte olacak şekilde coğrafi veri tabanına ilave edilmiştir [41]. Şekil 4.14'deki Elazığ iline ait doğalgaz boru hattı haritası elde edilmiştir.



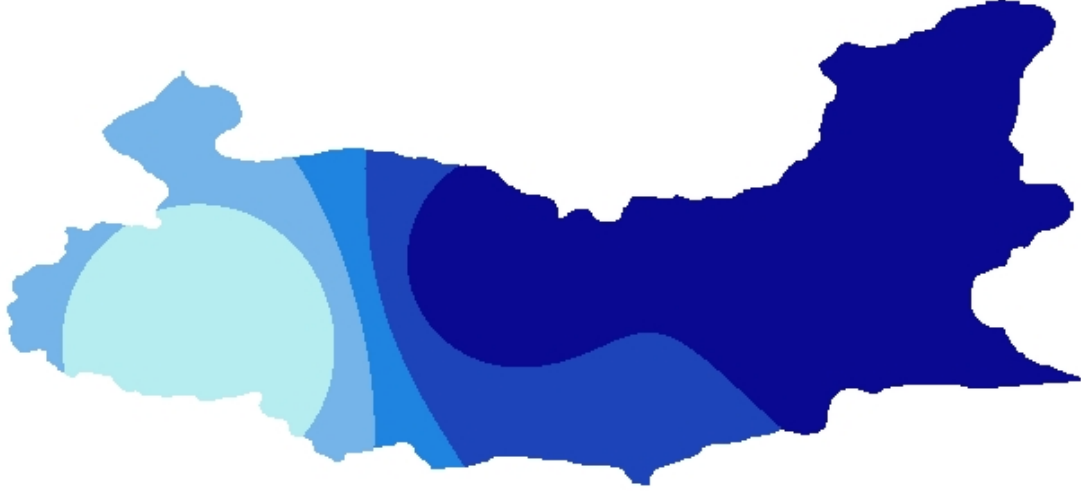
4.10. Bulutsuz Gün Sayısı Ortalaması

Aylık bulutsuz gün sayısının fazla olması güneş enerji santrallerinin daha verimli çalışmasını sağlamaktadır. Çalışmada son olarak aylık bulutsuz gün sayısı ortalaması MGM'den temin edilerek Tablo 4.1'de verilmiştir [23]. Tablo incelendiğinde Elazığ ilinin doğusuna gidildiğinde aylık bulutsuz gün sayısı ortalamasının arttığı görülmektedir.

Tablo 4.1. Aylık bulutsuz gün sayısı ortalaması

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Karakoçan	7.9	7.7	8.7	7.1	13.1	21.0	25.8	27.0	23.7	14.6	11.4	5.9
Merkez	6.6	6.9	7.9	7.2	9.1	21.3	27.3	27.5	22.3	14.2	12.4	7.9
Baskil	4.9	4.5	5.9	4.2	7.8	15.4	18.4	18.8	18.2	10.0	9.5	5.5

Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımından yararlanılarak, programa girilen aylık bulutsuz gün sayısı ortalaması verileri için Şekil 4.15’de gösterilen harita oluşturulmuştur.



Şekil 4.15. Elazığ ili bulutsuz gün sayısı ortalaması

Yukarıda bahsi geçen 14 parametrenin AHP yöntemi ile ağırlıkları tespit edilmiş ve rastgele indeks değeri önceden hesaplanan ölçek tablosundan alınarak tutarlılık testi yapılmıştır [42]. Tutarlılık testi yapılan parametrelerin AHP yönteminde elde edilen ağırlıkları kullanılarak CBS’de ağırlıklı çakıştırma işlemi yapılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

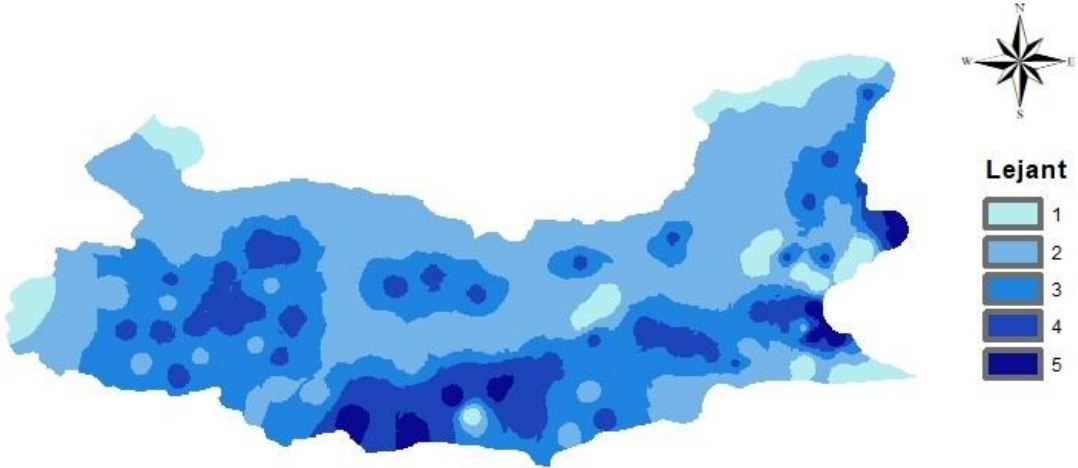
5.1. GES' in Konum Seçiminde Kullanılan Kriter Katmanlarının Hazırlanması

Şekil 4.2'deki harita kullanılarak güneş enerjisi potansiyeli bakımından uygun alanların uzaklık ölçümünü yapmak amacıyla öklit mesafe (euclidean distance) modülü kullanılmıştır. Etki alanlarını CBS programında tampon (buffer) bölge analizi ile belirleyerek, bu etki alanları içerisinde bulunan bölümlere sınıflandırma puanları girilmiştir. Elazığ ilinin güneş enerjisi potansiyeli en az uygun alanlardan en uygun alanlara kadar Tablo 5.1'deki gibi 1'den 5'e kadar puanlar verilmiştir. Burada güneş potansiyeli fazla olan alanlar konum seçimi bakımından en uygun bölge olarak saptanmıştır.

Bu bölümlere karşılık gelen puan değerleri programda öznitelik tablo (attribute table) seçeneğinden yeni bir puan tablosu oluşturularak dâhil edilmiştir. Oluşturulan tampon bölge Elazığ il sınır katmanı ile kesişim (intersect) yapılarak sınırın dışında bulunan veriler kesilmiştir. Sonrasında oluşturulan tampon bölge Şekil 5.1'de gösterilen sayısal (raster) veri katmanına çevrilmiştir.

Tablo 5.1. Güneş enerjisi potansiyeli için sınıflandırma sonrası verilen puanlar

Aralık (kWh/m ²)	Puan	Uygunluk
1000-1500	1	En az uygun
1500-1700	2	
1700-2000	3	
2000-2400	4	
2400-2900	5	En uygun



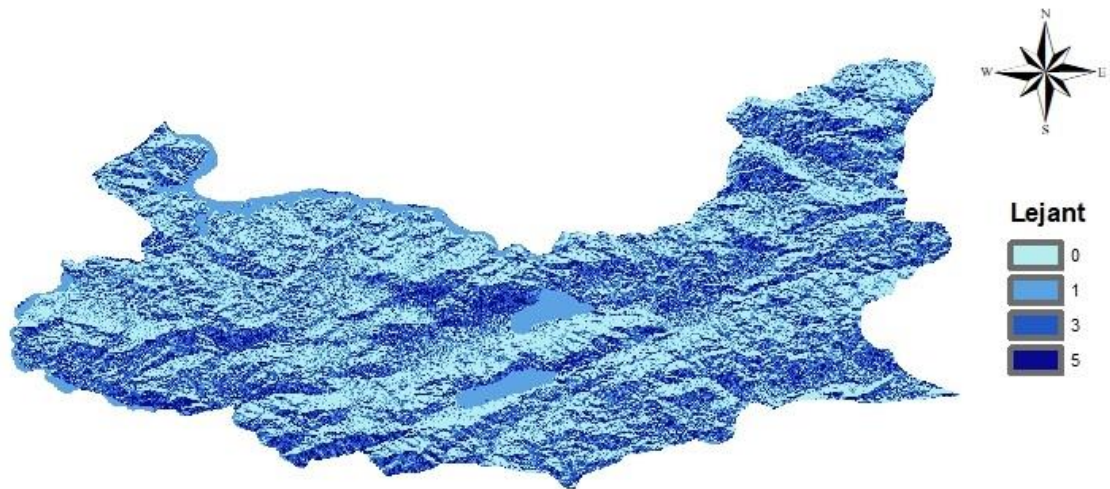
Şekil 5.1. Elazığ ili güneş enerji potansiyeli sınıf haritası

Yapılan analizler sonucunda oluşturulan Şekil 4.3’de bulunan Elazığ ili bakı haritasında değerler yön olarak verilmiştir. Burada güneş enerjisi yönünden yetersiz olan kuzeydoğu, kuzey, kuzeybatı yönlerindeki aralıklar sınıflandırma dışı gösterilerek sınıflandırma işlemine katılmamıştır. Tanımlanmış aralıklara 1 ile 5 değerleri arasında puanlar girilmiştir. Bakı yönü güney taraf olan aralıklar güneş enerjisi bakımından çok verimli olduğundan bu aralıklara fazla puanlar girilerek puanlama işlemi oluşturulmuştur. Bakı verisi sınıflandırma değer aralıkları ve puanları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Bakı verisi sınıflandırma değer aralıkları ve puanları

Aralık (yön)	Puan	Uygunluk
Düz	5	En uygun
Kuzey	Sınıflandırma dışı	
Kuzeydoğu	Sınıflandırma dışı	
Doğu	1	En az uygun
Güneydoğu	3	
Güney	5	En uygun
Güneybatı	3	
Batı	1	En az uygun
Kuzeybatı	Sınıflandırma dışı	

CBS programında yapılan sınıflandırma işlemi ile oluşturulan Elazığ ili bakı sınıf haritası Şekil 5.2’de verilmiştir.



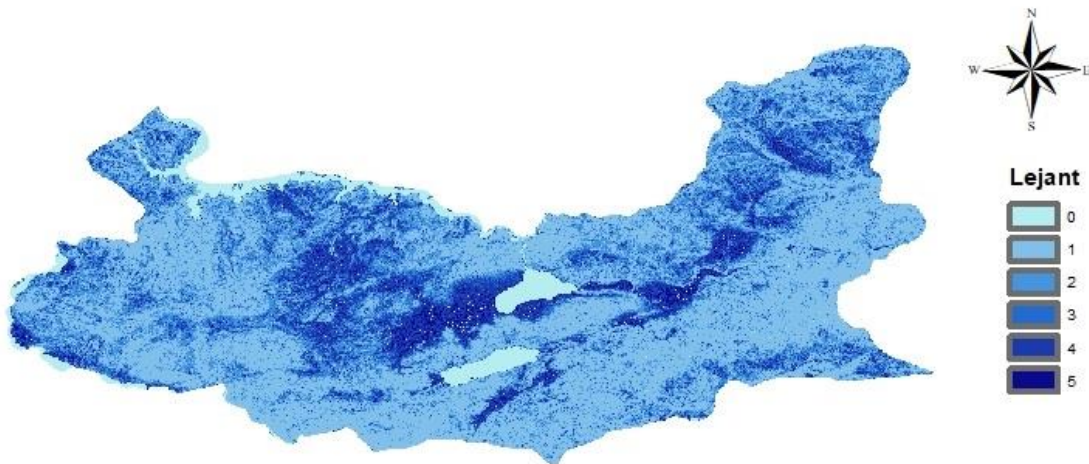
Şekil 5.2. Elazığ ili bakı sınıf haritası

Şekil 4.4’de analizler ile oluşturulan eğim haritasında öncelikle eğim değerleri için uygun olan aralıklar belirlenmiştir. Burada aralıklar değerlendirilirken, 20 derecenin üzerinde olan bölgeler sınıflandırma dışı konularak işleme katılmamış ve bu bölgeler Elazığ ili eğim sınıf haritasında uygun olmayan bölgeler olarak belirlenmiştir. Belirlenen aralıklara 1 ile 5 değerleri arasında puanlar girilmiştir. Eğim derece değeri en az olan aralıklara yüksek puanlar, eğim derece değeri yüksek olan aralıklara ise daha az puanlar verilerek puanlama işlemi tamamlanmıştır. Eğim sınıflandırma değer aralıkları ve puanları Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Eğim verisi sınıflandırma değer aralıkları ve puanları

Aralık (derece)	Puan	Uygunluk
0 - 1	5	En uygun
1 - 3	4	
3 - 5	3	
5 - 10	2	
10 - 20	1	En az uygun
20 <	Sınıflandırma dışı	

Puan verme işlemi yapıldıktan sonra program yardımı ile eğim verisi sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Elazığ ili eğim sınıf haritası Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Elazığ ili eğim sınıf haritası

30 metre piksel boyutları olarak belirlenen mesafe haritası Elazığ il sınırına göre yeniden düzenlenmiştir. Daha sonra enerji nakil hattı mesafe değerleri için uygun aralıklar belirlenmiştir.

Tespit edilen bu aralıklara 1 ile 5 değerleri arasında puanlar verilmiştir. Enerji nakil hattına uzak mesafede olan aralıklara düşük puan, yakın mesafede olan değerlerde belirlenen aralıklara ise yüksek puanlar verilerek puanlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Enerji nakil hattı verisi sınıflandırma değer aralıkları ve puanları Tablo 5.4’de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Enerji nakil hattı verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar

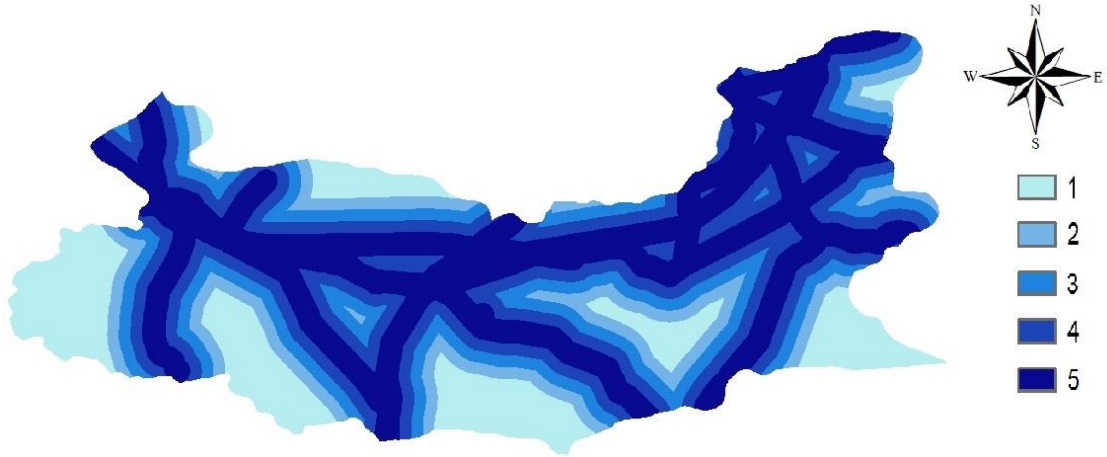
Aralık (km)	Puan	Uygunluk
0 - 5	5	En uygun
5 - 10	4	
10 - 15	3	
15 - 20	2	
20 <	1	En az uygun

Elazığ ilinin vektör formatında Şekil 4.5’de gösterilen enerji nakil hattı haritası öncelikle öklid mesafesi yöntemi ve daha sonra tampon bölge analizi ile kesişim analizi uygulanarak Şekil 5.4’de sayısal formatta gösterilen mesafe haritası oluşturulmuştur.



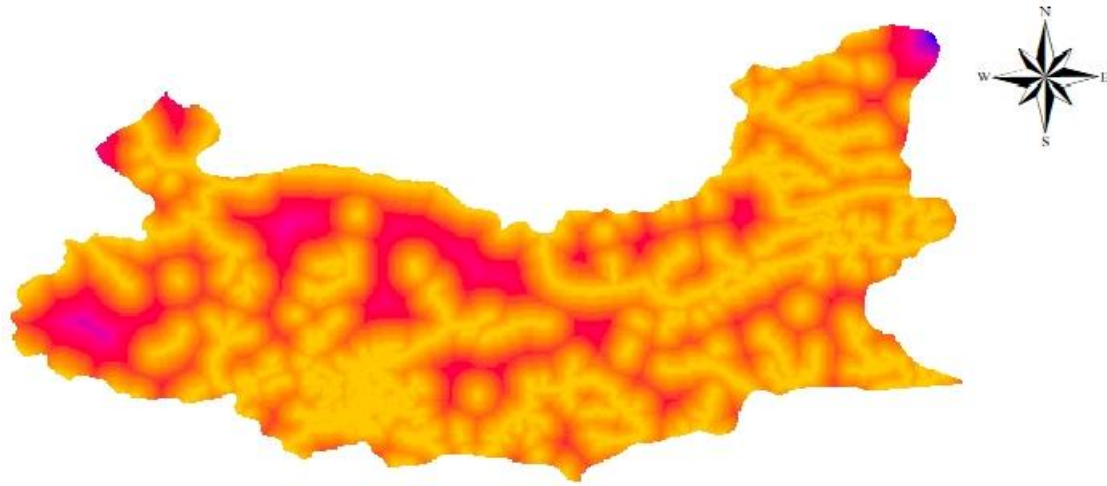
Şekil 5.4. Elazığ ili enerji nakil hattı sayısal haritası

Bu işlem yapıldıktan sonra enerji nakil hattı mesafe verisi sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Elazığ ili enerji nakil hattı mesafe sınıf haritası ise Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Elazığ ili enerji nakil hattı sınıf haritası

Vektör formatında olan Elazığ ili akarsu haritası Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Öncelikli olarak, öklid mesafesi yöntemi kullanılarak Elazığ ili akarsu verisi üzerinde sayısal formatında olan mesafe haritası oluşturulmuştur. Daha sonra uygulanan kesişim analizi ile Elazığ il sınırına göre oluşturulan akarsu mesafe haritası Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Elazığ ili akarsu mesafe haritası

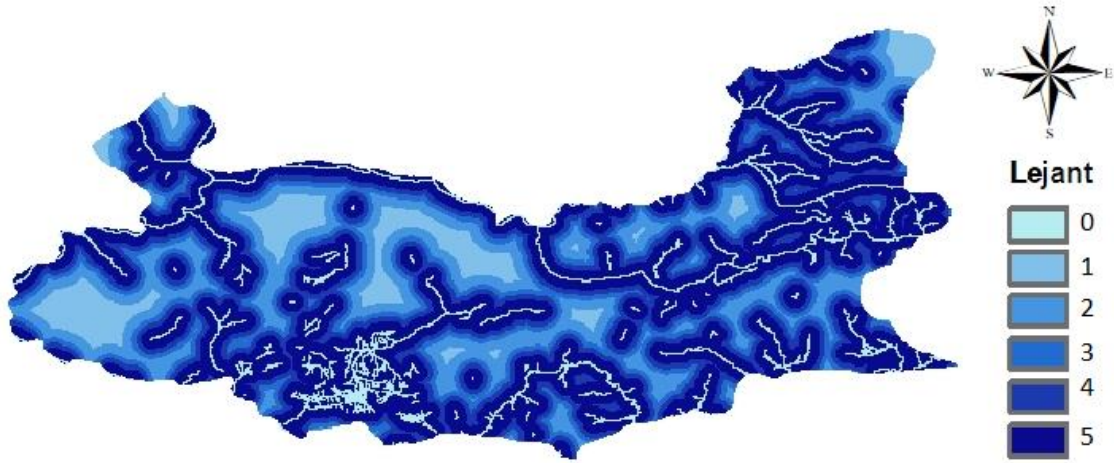
Uygun mesafe aralıkları akarsu mesafe değerleri için belirlenmiştir. Akarsu taşması ve bunun gibi olumsuzluklar meydana gelebileceğinden akarsuların yakın çevresine santral kurulumu için uygun olmayacağı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme göz önünde tutularak akarsulara 500 metre uzaklıkta olan yerler tampon bölge olarak saptanmış ve sınıflandırma dışı gösterilmiştir. Belirlenen aralıklara 1 ile 5 değerleri arasında puanlar verilmiştir. Akarsulara uzak mesafede olan

değerlerde gösterilen aralıklara düşük puanlar yazılarak Tablo 5.5’de verilen puanlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.5. Akarsular verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar

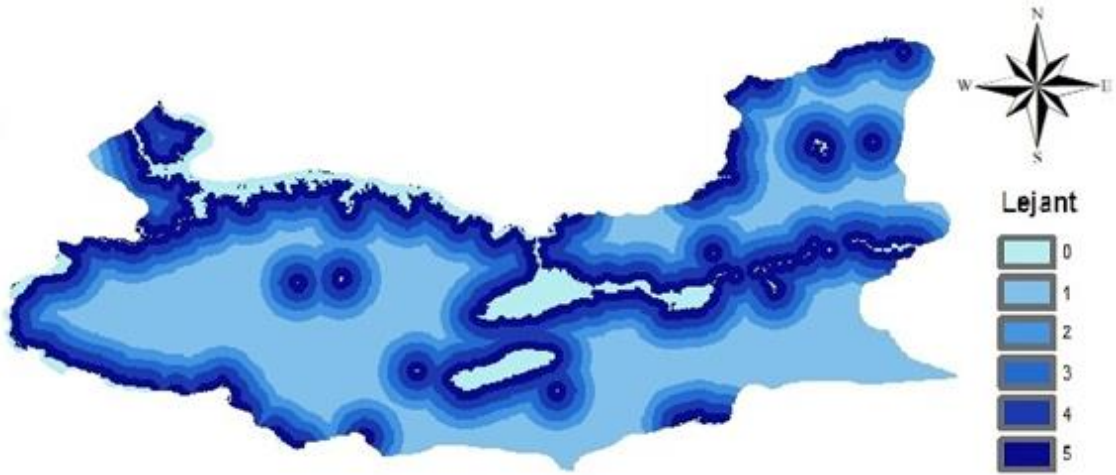
Aralık (m)	Puan	Uygunluk
0 - 500	Sınıflandırma dışı	
500 – 1500	5	En uygun
1500 – 3000	4	
3000 – 4500	3	
4500 – 6000	2	
6000 <	1	En az uygun

Aralıklara puan verme işlemi sonrası, akarsu mesafe verisine sınıflandırma işlemi uygulanmıştır ve Elazığ ili akarsu mesafe sınıf haritası Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Elazığ ili akarsuları sınıf haritası

GES’in kurulmasında etkili olan kriterlerden akarsular için uygulanan değerlendirmeler baraj ve göller içinde aynı şekilde uygulanmıştır. Bunun sonucunda Şekil 5.8’de Elazığ ili baraj ve göller sınıf haritası oluşmuştur.



Şekil 5.8. Elazığ ili baraj ve göller sınıf haritası

Ayrıca güneş enerji santralının kurulumu için belirlenecek alanların, karayollarına ve demiryollarına 100 metre yakınına yapılmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu ölçüt göz önüne alınarak karayolu ve demiryoluna 100 metreye kadar olan uzaklıktaki bölgeler tampon bölge olarak seçilerek sınıflandırma dışı bırakılmıştır.

Elazığ ilinin vektör formatında Şekil 4.9'da gösterilen demiryolu ağı haritasına öncelikle öklid mesafesi yöntemi ve daha sonra tampon bölge ile kesişim analizi uygulanarak Şekil 5.9'da sayısal formatta gösterilen mesafe haritası elde edilmiştir.



Şekil 5.9. Elazığ ili demiryolu ağı sayısal haritası

Kesişim işlemi demiryolu ve karayolu ağına uygulandıktan sonra elde edilen sayısal haritalar sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur.

Eldeki veriler sınıflandırılarak uzaklıkları puanlandırılmıştır. Yollara yakınlık avantaj sağladığından, en yakın alanlar 5 puan verilerek en uygun, yollara uzaklık ise kurulum ve maliyet işlemlerini yükselteceğinden 1 puan verilerek en az uygun şeklinde Tablo 5.6 oluşturulmuştur.

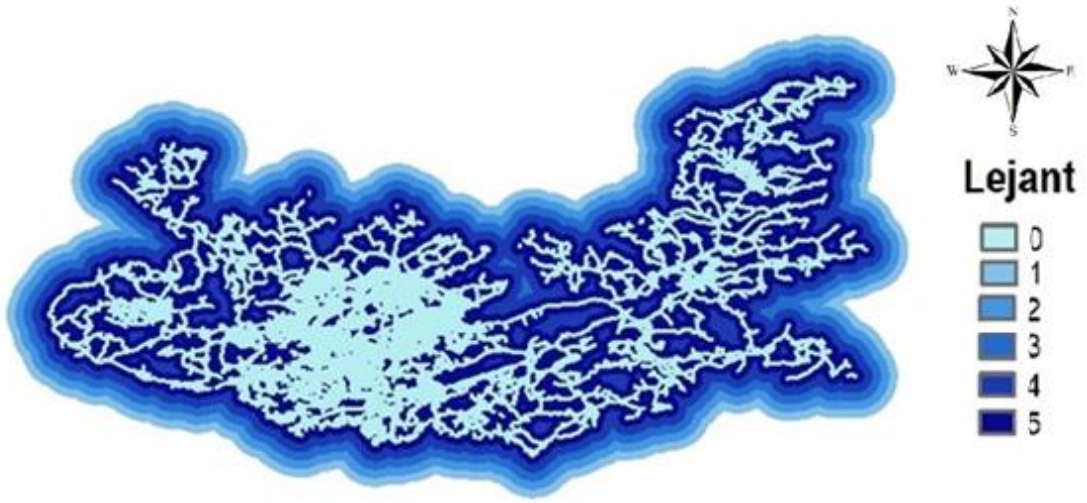
Yolların uygunluk haritaları demiryolları için Şekil 5.10'da ve karayolları için ise Şekil 5.11'de gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Karayolları ve demiryolları ağı verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar

Aralık (m)	Puan	Uygunluk
0 - 100	Sınıflandırma dışı	
100 - 2000	5	En uygun
2000 - 4000	4	
4000 - 6000	3	
6000 - 8000	2	
8000 <	1	En az uygun

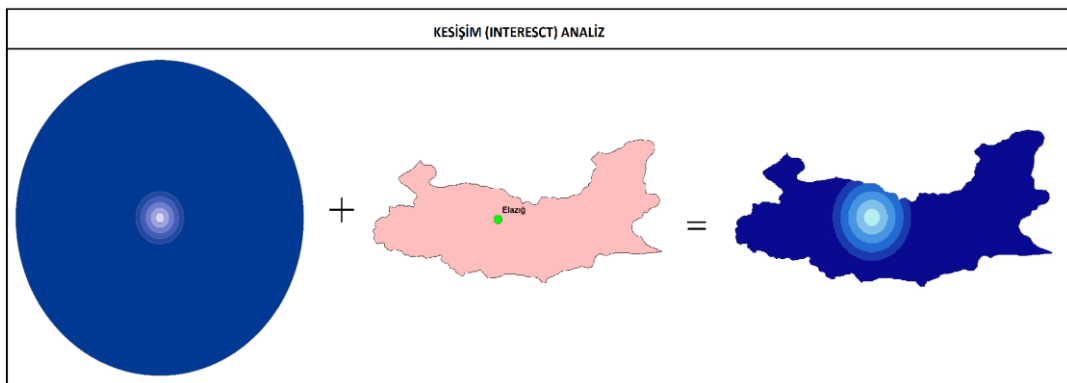


Şekil 5.10. Elazığ ili demiryolu ağı sınıf haritası

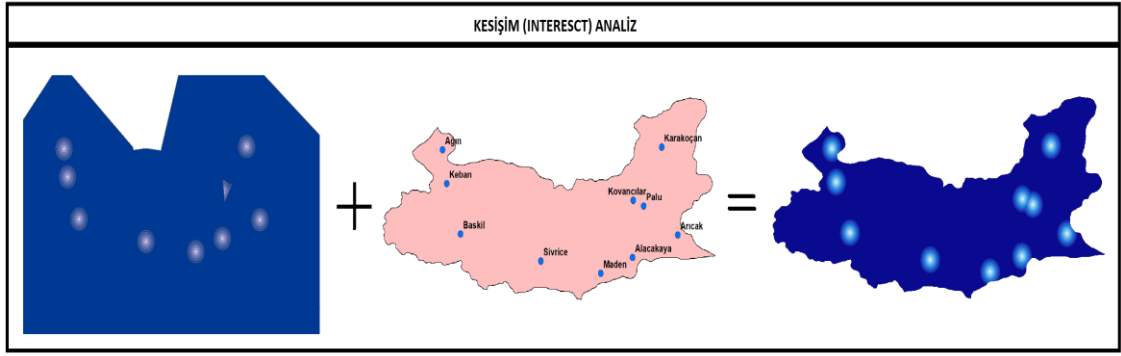


Şekil 5.11. Elazığ ili karayolu ağı sınıf haritası

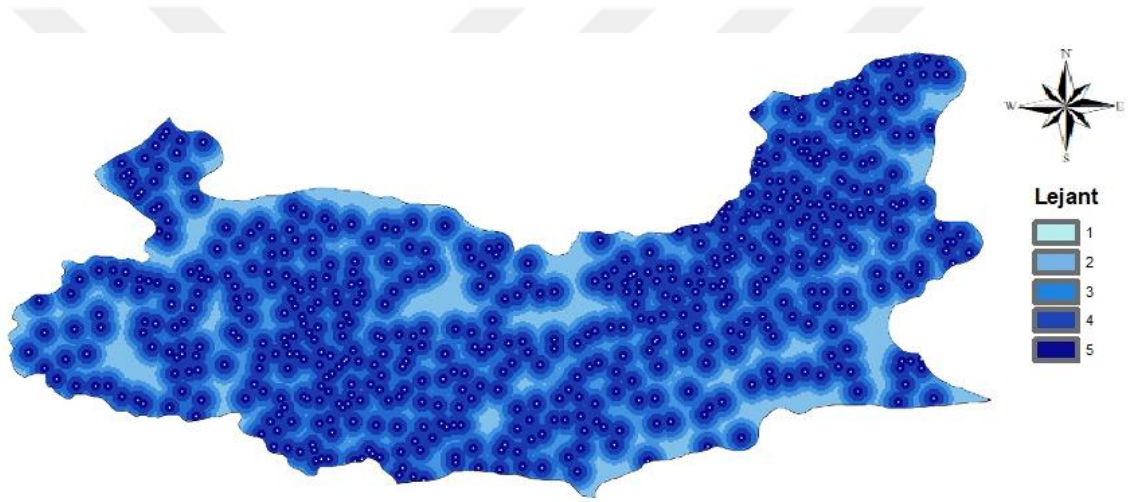
Elazığ ilinin vektör formatında gösterilen yerleşim yeri haritası merkez, ilçe ve köy diye sınıflandırılıp buna göre sayısal haritası çıkarılmıştır. Bunun sebebi yerleşim yerlerinden il merkezinin, ilçe ya da köy merkezine göre ileriki yıllarda gelişime daha açık olmasıdır. Mesafe ölçüsü de bu kriterler göz önüne alınarak yapılmıştır. Öncelikle öklid mesafesi yöntemi ve daha sonra tampon bölge ile kesişim analizi uygulanarak Şekil 5.12’de Elazığ merkez Şekil 5.13’de Elazığ ilçe ve Şekil 5.14’de Elazığ köy olarak sayısal formatta gösterilen mesafe haritaları oluşturulmuştur.



Şekil 5.12. Elazığ ili merkez yerleşim sayısal haritası



Şekil 5.13. Elazığ ili ilçe merkezi yerleşim sayısal haritası



Şekil 5.14. Elazığ ili köy merkezi yerleşim sayısal haritası

İl merkezi için belirlenen mesafe aralıkları 1 ile 5 arasında puanlandırılmış, en uygun aralıklar 5 puan olmak üzere Tablo 5.7’de gösterildiği gibi saptanmıştır. Daha sonra ilçe ve köy merkezleri içinde ilgili aralıklar belirlenmiştir. Bu aralıklar ilçe merkezi için Tablo 5.8’de ve köy merkezi için ise Tablo 5.9’da verilmiştir. Belirlenen mesafelerin yerleşim alanları uygunluk sınıf haritaları, il merkezi Şekil 5.15’de, ilçe merkezleri Şekil 5.16’de, köy merkezleri Şekil 5.17’de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Yerleşim alanları (il merkezi) verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar

Aralık (km)	Puan	Uygunluk
0 – 10	Sınıflandırma dışı	
10 – 13	5	En uygun
13 – 16	4	
16 – 19	3	
19 – 21	2	
21 <	1	En az uygun



Şekil 5.15. Elazığ ili merkez yerleşim sınıf haritası

Tablo 5.8. Yerleşim alanları (ilçe merkezi) verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar

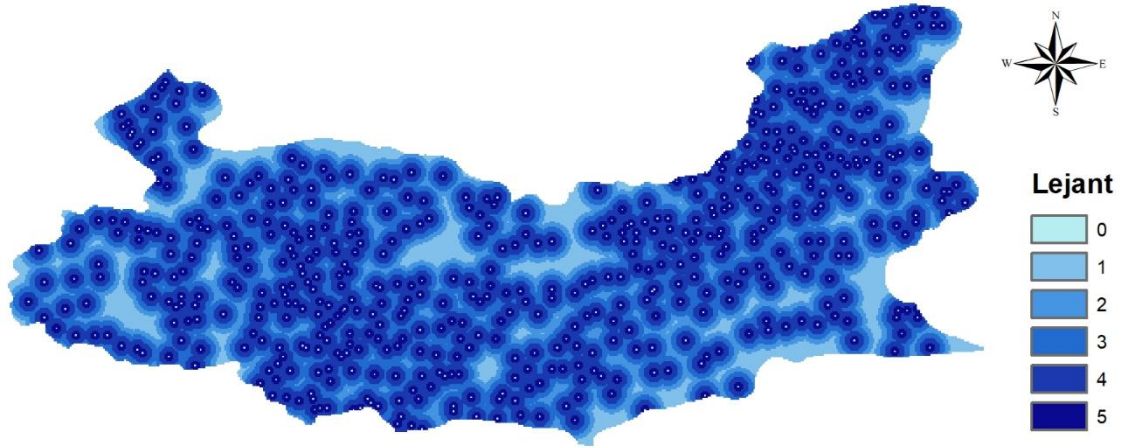
Aralık (km)	Puan	Uygunluk
0 – 0,5	Sınıflandırma dışı	
0,5 – 1,5	5	En uygun
1,5 – 2,5	4	
2,5 – 3,5	3	
3,5 – 4,5	2	
4,5 <	1	En az uygun



Şekil 5.16. Elazığ ili ilçe merkezi yerleşim sınıf haritası

Tablo 5.9. Yerleşim alanları (köy merkezi) verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar

Aralık (km)	Puan	Uygunluk
0 – 0,5	Sınıflandırma dışı	
0,5 – 1,5	5	En uygun
1,5 – 2,5	4	
2,5 – 3,5	3	
3,5 – 4,5	2	
4,5 <	1	En az uygun



Şekil 5.17. Elazığ ili köy merkezi yerleşim sınıf haritası

Yapılan çalışmada güneş enerji santrali konumu belirlenecek alanlar, deprem fay hattına ve BOTAŞ boru hattına yakın yapılmamasına dikkat edilmiştir. Bu ölçüt göz önüne alınarak

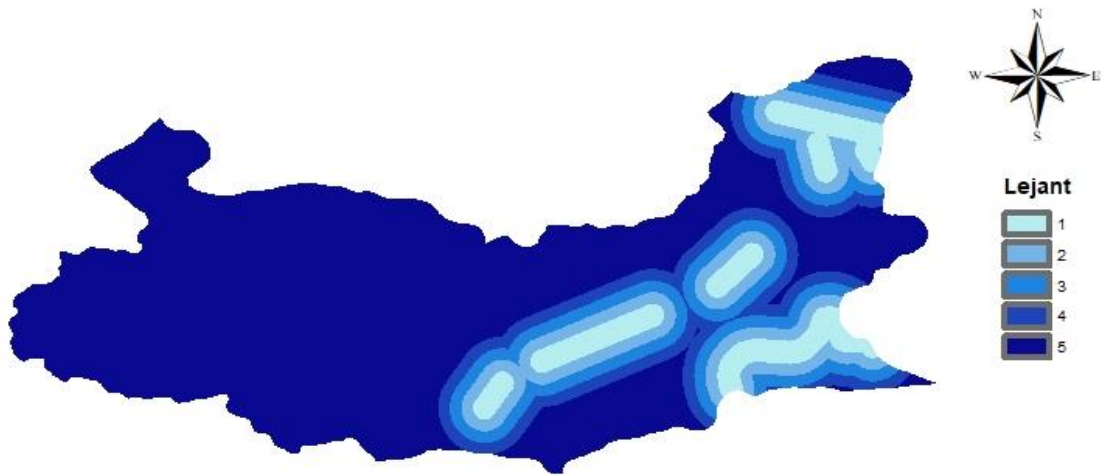
deprem fay hattı ve BOTAŞ boru hattı tampon bölge olarak oluşturulmuş aynı zamanda sınıflandırma dışı bırakılmıştır.

Elazığ ilinin vektör formatında gösterilen Şekil 4.13 deprem fay hattı ve Şekil 4.14 BOTAŞ boru hattı haritasına öncelikle öklid mesafesi yöntemi ve daha sonra tampon bölge ile kesişim analizi uygulanarak sayısal formatta mesafe haritası elde edilmiştir.

Elde edilen veriler sınıflandırılmıştır. Uzaklık daha avantajlı olduğundan, en uzak alanlara 5 puan verilerek en uygun, yakın olan mesafelere ise 1 puan verilerek en az uygun şeklinde sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan bu tablolar deprem fay hattı için Tablo 5.10'da ve BOTAŞ boru hattı için ise Tablo 5.11'de verilmiştir. Uygunluk haritası ise deprem fay hattı için Şekil 5.18' de ve BOTAŞ boru hattı için Şekil 5.19'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10. Deprem fay hattı verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar

Aralık (km)	Puan	Uygunluk
0 - 10	Sınıflandırma dışı	
10 - 13	1	En az uygun
13 - 16	2	
16 - 19	3	
21 - 24	4	
24 <	5	En uygun



Şekil 5.18. Elazığ ili deprem fay hattı sınıf haritası

Tablo 5.11. Botaş boru hattı verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar

Aralık (km)	Puan	Uygunluk
0 - 5	Sınıflandırma dışı	
5 - 8	1	En az uygun
8 - 11	2	
11 - 14	3	
14 - 17	4	
17 <	5	En uygun



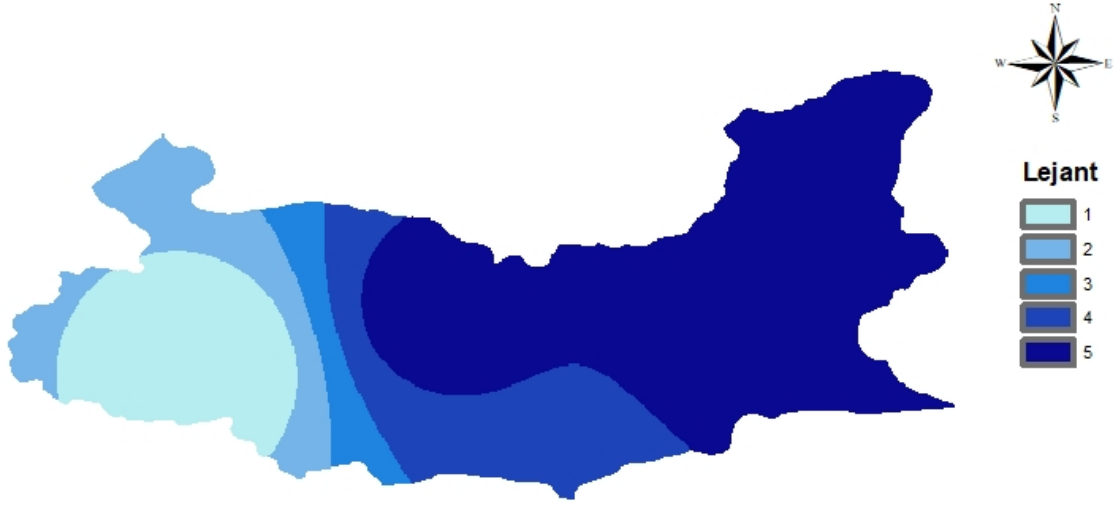
Şekil 5.19. Elazığ ili Botaş boru hattı sınıf haritası

Son olarak çalışmada, aylık bulutsuz gün sayısı ortalaması için oluşturulan Şekil 4.15'deki harita kullanılmıştır. Öncelikle öklid mesafesi yöntemi ve daha sonra tampon bölge ile kesişim analizi uygulanarak sayısal formatta harita elde edilmiştir. Elde edilen harita Tablo 5.12'deki gibi sınıflandırılıp, bulutsuz gün sayısı ortalaması fazla olan bölgelere en uygun olarak 5 puan, bulutsuz gün sayısı ortalaması az olan bölgelere ise 1 puan verilerek en az uygun bölge seçilmiştir.

Tablo 5.12. Bulutsuz gün sayısı ortalaması verisi için aralık ve aralıklara verilen puanlar

Bulutsuz Gün Sayısı (Yıllık)	Puan	Uygunluk
123 - 133	1	En az uygun
133 - 143	2	
143 - 153	3	
153 - 163	4	
163 <	5	En uygun

Bu sınıflandırmaya göre oluşturulan bulutsuz gün sınıf haritası Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.20. Elazığ ili bulutsuz gün sayısı sınıf haritası

5.2. AHP ile Ağırlıkların Belirlenmesi

ÇKKV yöntemlerinden birisi olan AHP kullanılarak belirlediğimiz kriterlerin ağırlıkları saptanmıştır. GES kurulumu için konum belirlemede belirlenen kriterler AHP’de önem seviyelerine bakılarak kendi aralarında değerlendirmeye tabi tutulmuş ve ağırlıkları tespit edilmiştir. Bu değerlendirmede 1’den 5’e kadar sayılar kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır.

Örneğin güneş enerji potansiyeli bakı ile karşılaştırılıp 2 kat, eğim ile karşılaştırılıp 3 kat önemli olduğu yazılarak Tablo 5.13 oluşturulmuştur.

Bir sonraki adımda ise Denklem 3.1’ den faydalanılarak Tablo 5.14 oluşturulmuştur. Tabloda her bir hücreye, bir önceki karşılaştırma matrisi tablosundaki ilgili hücre ile altındaki toplam değerın bölümü yazılmıştır. Örneğin Tablo 5.13’de, güneş potansiyelinin bakıya göre önemi ilgili sütunun altında bulunan toplam değere bölümünden,

$$y_{12} = \frac{2}{6,95} = 0,287$$

elde edilmiştir.

Tablo 5.14’de her satırın ortalaması alınarak etki yüzdeleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.13. AHP ile oluşturulan karşılaştırma matrisi

	Güneş Potansiyeli	Bakı	Eğim	Enerji Nakil Hattı	Kara yolu	Demir yolu	Yerleşim Merkez	Yerleşim İlçe	Yerleşim Köy	Akarsu	Baraj ve Göl	Fay Hattı	Doğalgaz Hattı	Bulutsuz Gün
Güneş Potans.	1	2	3	2	3	4	3	4	5	5	4	5	5	2
Bakı	0,5	1	2	2	3	3	3	4	5	4	4	4	4	2
Eğim	0,333	0,5	1	0,5	2	3	3	4	5	3	3	4	4	0,5
Enerji Nakil	0,5	0,5	2	1	2	3	2	3	4	3	4	4	4	1
Karayolu	0,333	0,333	0,5	0,5	1	2	2	3	4	3	4	4	5	0,5
Demir yolu	0,25	0,333	0,333	0,333	0,5	1	2	3	4	1	2	3	4	0,33
Yerleşim Merkez	0,333	0,333	0,333	0,5	0,5	0,5	1	2	3	2	3	3	3	0,33
Yerleşim İlçe	0,25	0,25	0,25	0,333	0,333	0,333	0,5	1	2	0,5	0,5	2	3	0,25
Yerleşim Köy	0,2	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,333	0,5	1	0,333	0,333	2	2	0,25
Akarsu	0,2	0,25	0,333	0,333	0,333	1	0,5	2	3	1	2	2	3	0,25
Baraj ve Göl	0,25	0,25	0,333	0,25	0,25	0,5	0,333	2	3	0,5	1	2	2	0,25
Fay Hattı	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,333	0,333	0,5	0,5	0,5	0,5	1	2	0,20
Doğalgaz Hattı	0,2	0,25	0,25	0,25	0,2	0,25	0,333	0,333	0,5	0,333	0,5	0,5	1	0,20
Bulutsuz Gün	0,5	0,5	2	1	2	3	3	4	4	4	5	5	5	1
Toplam	5,05	6,95	12,78	9,5	15,62	22,167	21,333	33,333	44	28,166	33,83	41,5	47	9,06

Tablo 5.14. AHP sonucu oluşan ağırlıklar

	Güneş Potansiyeli	Bakı	Eğim	Enerji Nakil Hattı	Kara yolu	Demir yolu	Yerleşim Merkezi	Yerleşim İlçe	Yerleşim Köy	Akarsu	Baraj ve Göl	Fay Hattı	Doğalgaz Hattı	Bulutsuz Gün	Yüzde
Güneş Potans	0,198	0,287	0,234	0,210	0,1921	0,1804	0,1406	0,12	0,1136	0,177	0,118	0,1204	0,1063	0,2205	0,1729
Bakı	0,0990	0,143	0,156	0,210	0,1921	0,1353	0,1406	0,12	0,1136	0,142	0,118	0,0963	0,0851	0,2205	0,1409
Eğim	0,0660	0,071	0,078	0,052	0,1280	0,1353	0,1406	0,12	0,1136	0,106	0,088	0,0963	0,0851	0,0551	0,0955
Enerji Nakil	0,0990	0,071	0,156	0,105	0,1280	0,1353	0,0937	0,09	0,0909	0,106	0,118	0,0963	0,0851	0,1102	0,1062
Karayolu	0,0660	0,047	0,039	0,052	0,0640	0,0902	0,0937	0,09	0,0909	0,106	0,118	0,0963	0,1063	0,0551	0,0798
Demir Yolu	0,0495	0,047	0,026	0,035	0,0320	0,0451	0,0937	0,09	0,0909	0,035	0,059	0,0722	0,0851	0,0367	0,0570
Yerleşim Merkez	0,0660	0,047	0,026	0,052	0,0320	0,0225	0,0468	0,06	0,0681	0,071	0,088	0,0722	0,0638	0,0367	0,0539
Yerleşim İlçe	0,0495	0,035	0,019	0,035	0,0213	0,0150	0,0234	0,03	0,0454	0,017	0,014	0,0481	0,0638	0,0275	0,0319
Yerleşim Köy	0,0396	0,028	0,015	0,026	0,0160	0,0112	0,0156	0,015	0,0227	0,011	0,009	0,0481	0,0425	0,0275	0,0236
Akarsu	0,0396	0,035	0,026	0,035	0,0213	0,0451	0,0234	0,06	0,0681	0,035	0,059	0,0481	0,0638	0,0275	0,0420
Baraj ve Göl	0,0495	0,035	0,026	0,026	0,0160	0,0225	0,0156	0,06	0,0681	0,017	0,029	0,0481	0,0425	0,0275	0,0347
Fay Hattı	0,0396	0,035	0,019	0,026	0,0160	0,0150	0,0156	0,015	0,0113	0,017	0,014	0,0240	0,0425	0,0220	0,0225
Doğalgaz Hattı	0,0396	0,035	0,019	0,026	0,0128	0,0112	0,0156	0,01	0,0113	0,011	0,014	0,0120	0,0212	0,0220	0,0188
Bulutsuz Gün	0,0990	0,071	0,156	0,105	0,1280	0,1353	0,1406	0,12	0,0909	0,142	0,147	0,1204	0,1063	0,1102	0,1196

Tablo 5.15'deki AHP kriter ağırlıkları sonuçları değerlendirildiğinde en fazla ağırlık güneş enerji potansiyeli 0,1729 olarak hesaplanmıştır. Güneş enerji potansiyelini sırasıyla %14,10 bakı, %11,96 bulutsuz gün sayısı, %10,62 enerji nakil hatlarına uzaklık ve %9,56 ile eğim kriterleri takip etmektedir. GES kurulumunda bu kriterler önemli olduğundan ağırlıkları yüksek değerler almıştır. En az değeri ise %1,89 ile doğalgaz hattına uzaklık almıştır

Tablo 5.15. Kriterlerin etki yüzdeleri

Güneş Potansiyeli	% 17.29
Bakı	% 14.10
Eğim	% 9.56
Enerji Nakil Hattı	% 10.62
Kara yolu	% 7.98
Demir yolu	% 5.71
Yerleşim Merkezi	% 5.39
Yerleşim İlçe Merkezi	% 3.20
Yerleşim Köy Merkezi	% 2.36
Akarsu	% 4.21
Baraj ve Göl	% 3.47
Fay Hattı	% 2.26
Doğalgaz Hattı	% 1.89
Bulutsuz Gün Sayısı	% 11.96

Daha sonra n adet kritere, ikili karşılaştırmaların tutarlılık testi için geçerli Denklem 3.3 uygulanıp Tablo 5.16'daki t sütun vektörü değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.16. t sütun vektörü

Güneş Potansiyeli	262,560
Bakı	216,185
Eğim	147,163
Enerji Nakil Hattı	163,415
Kara yolu	120,753
Demir yolu	84,706
Yerleşim Merkezi	79,902
Yerleşim İlçe Merkezi	45,976
Yerleşim Köy Merkezi	33,874
Akarsu	62,585
Baraj ve Göl	50,681
Fay Hattı	32,775
Doğalgaz Hattı	27,645
Bulutsuz Gün Sayısı	183,835

Denklem 3.4 kullanılarak elde edilen t sütun vektörünün her bir elemanı sırasıyla öncelikler vektöründe bulunan etki yüzdelerine bölünüp Tablo 5.17'deki değerler hesaplanmıştır.

Tablo 5.17. λ değerleri

Güneş Potansiyeli	15.18
Bakı	15.33
Eğim	15.39
Enerji Nakil Hattı	15.38
Kara yolu	15.13
Demir yolu	14.83
Yerleşim Merkezi	14.82
Yerleşim İlçe Merkezi	14.36
Yerleşim Köy Merkezi	14.35
Akarsu	14.86
Baraj ve Göl	14.60
Fay Hattı	14.50
Doğalgaz Hattı	14.62
Bulutsuz Gün Sayısı	15.37

Daha sonra λ_{max} , en büyük özdeğerinin hesaplanması amacıyla elde edilen değerlerin ortalaması alınır ve $\lambda_{max} = 14,913$ değeri elde edilir.

λ_{max} 'ın hesaplanması ile Denklem 3.5 den uyum indeksi değeri,

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{14,913 - 14}{14 - 1} = 0,0702$$

olarak hesaplanmıştır.

Son olarak ise Denklem 3.6 kullanılarak uyum indeksi ve rastgele indeks değerlerinin birbirine bölümü vasıtasıyla tutarlılık oranı elde edilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,0702}{1,57} = 0,0447$$

Denklem 3.6'da kullanılan RI değeri, girilen kriter sayısına (14 kriter) göre daha önce hesaplanmış olan Tablo 5.18'den alınmıştır [42]. RI değeri çalışmada 1,57 olarak alınmıştır.

Tablo 5.18. Kriter sayısına göre rastgele indeks değerleri [42]

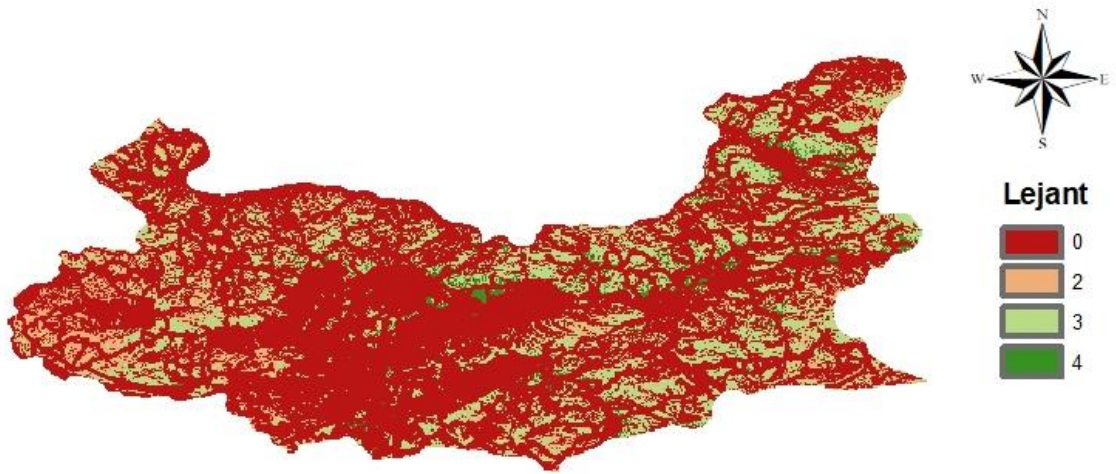
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

CR oranı hesaplamalar sonucunda 0,0447 olarak bulunmuştur. Hesaplanan CR tutarlılık oranının 0,10 değerinin altında hesaplanması ile bulunan ağırlıkların tutarlı olduğu kabul edilmektedir [42].

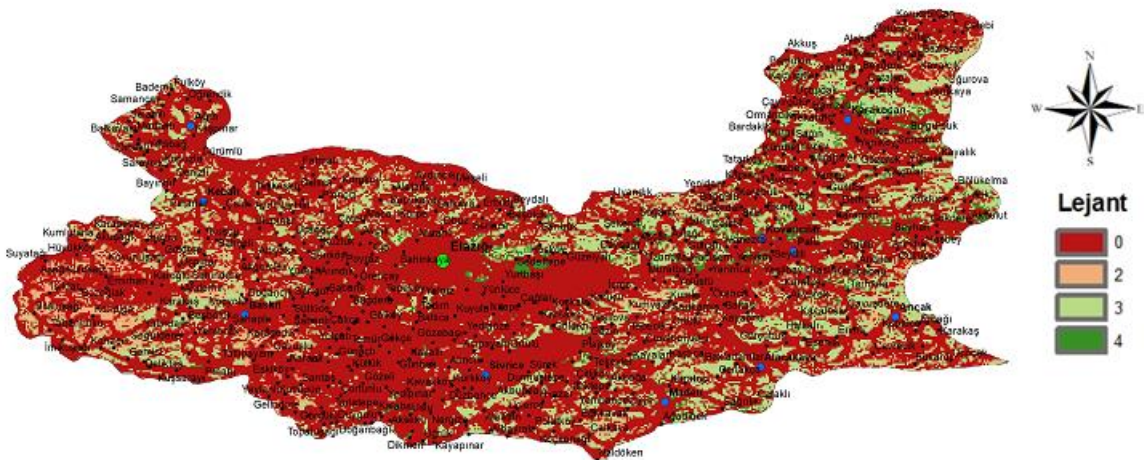
5.3. Elazığ İlinde GES Kurulabilecek Yerlerin Haritası

Son olarak oluşturulan sayısal haritalar ile saptanan ağırlıklar kullanılarak, CBS programında ağırlıklı çakıştırma yöntemi ile güneş enerjisi santralinin uygun konum yerleri belirlenmiştir. Elazığ ilinde kurulması için uygun olan bölgeler Şekil 5.21’de ve yerleşim yerlerine göre Şekil 5.22’de gösterilmiştir.

Harita incelendiğinde 4 değerinde yeşil renk ile gösterilen bölgeler GES kurulumu için en uygun alan olarak görülmektedir. Daha çok 0 değerinde bordo rengin olduğu bölgeler ise GES kurulumu için uygun olmayan alanlar olarak gösterilmiştir.



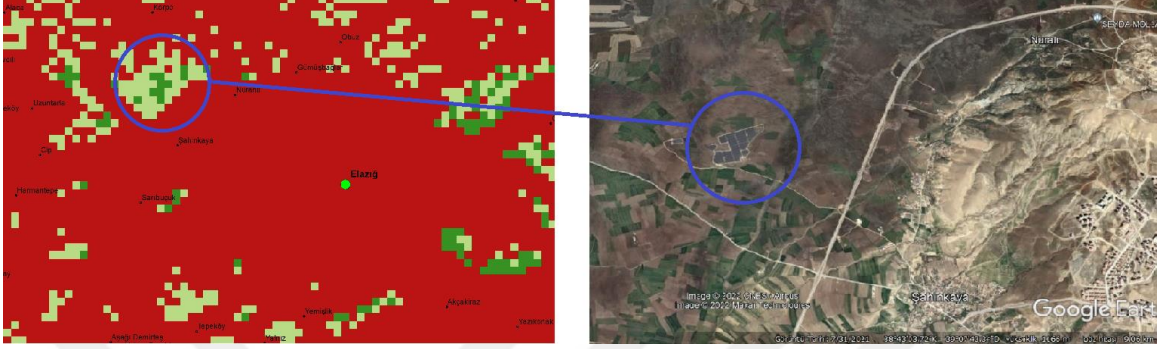
Şekil 5.21. Elazığ ili GES uygunluk haritası



Şekil 5.22. Elazığ ili yerleşim yerlerine göre GES uygunluk haritası

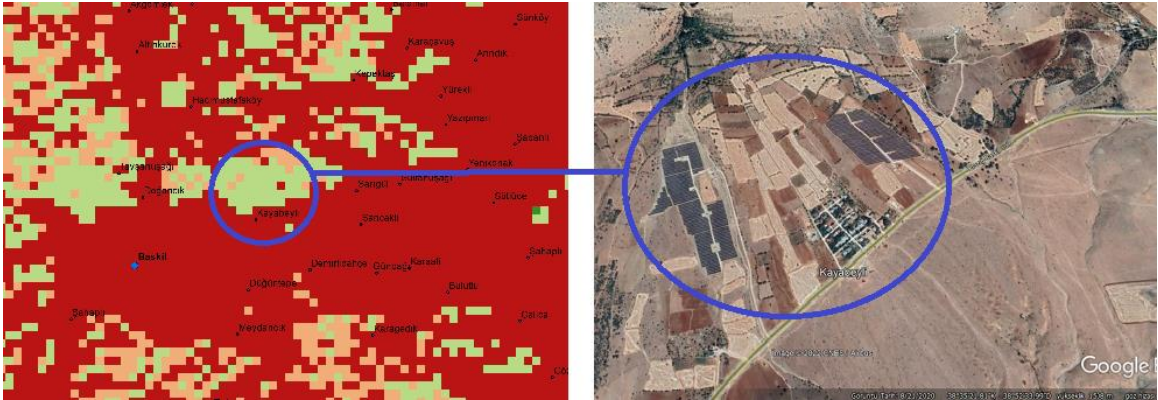
Elde edilen uygunluk haritası incelendiğinde mevcut kurulu bulunan GES'in konumlarının, Elazığ ili yerleşim yerlerine göre GES uygunluk haritası ile örtüştüğü görülmektedir.

Şekil 5.23'de Elazığ merkez Şahinkaya Köyü'nün kuzeyinde kurulu bulunan santralin uygunluk haritasında da 4. seviye en uygun konumlar olduğu görülmektedir.



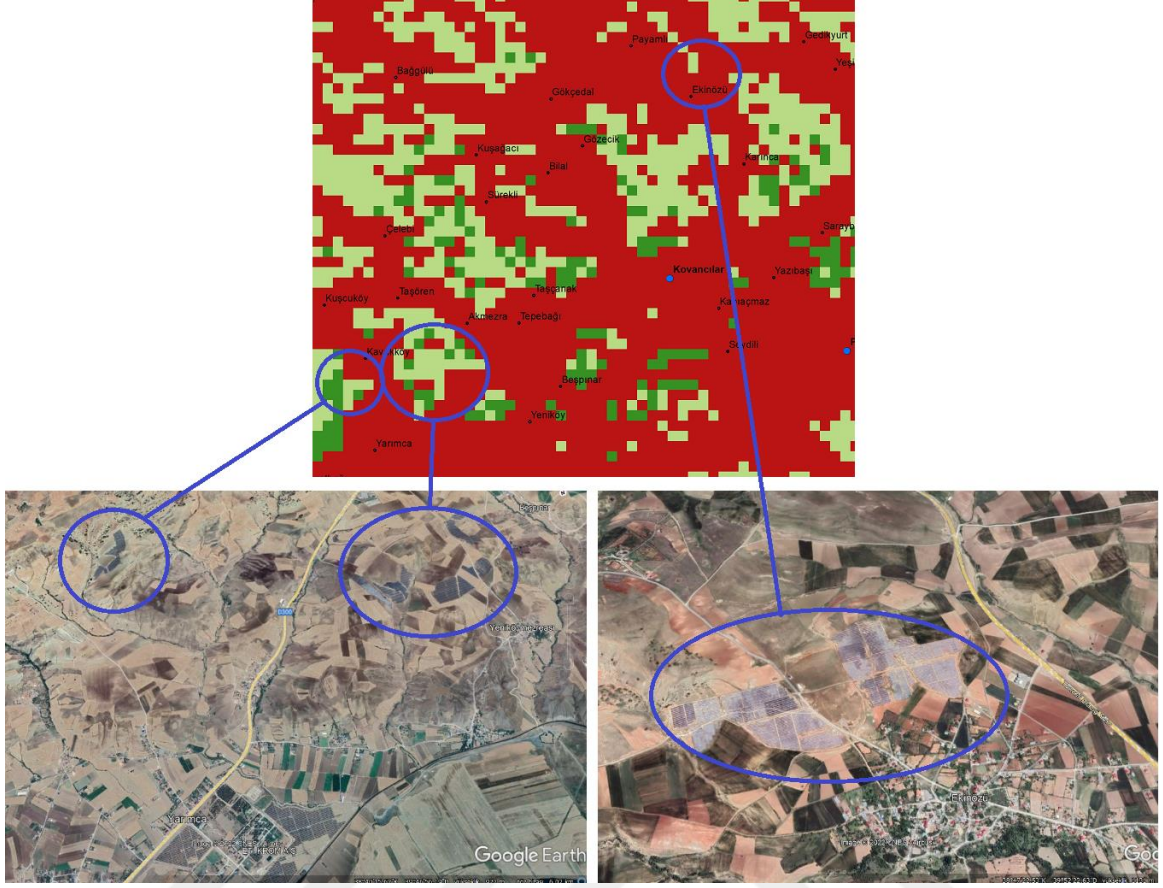
Şekil 5.23. Şahinkaya Köyü'nde kurulu bulunan GES'in konumu

Şekil 5.24'de ise Elazığ Baskil İlçesi Kayabeyli Köyü'nün iki yanında kurulu bulunan santralin uygunluk haritasında da 3. seviye uygun konumlar olduğu görülmektedir.



Şekil 5.24. Kayabeyli Köyü'nde kurulu bulunan GES'in konumu

Yine hazırda kurulu bulunan, Kovancılar İlçesi Yarımca Köyünün kuzeydoğu ve kuzey batı tarafları ile Ekinözü Köyü'nün kuzey tarafı verilen uygunluk haritasının 3. ve 4. en uygun konumlarına denk geldiği Şekil 5.25'de görülmektedir.



Şekil 5.25. Yarımcı Köyü ve Ekinözü Köyü'nde kurulu bulunan GES'in konumu

6. SONUÇLAR

Araştırmanın temel avantajı, çevre ile uyumlu şehirlere ihtiyaç duyulan gücü sağlamak için mevcut kaynakları ve altyapıyı kullanmaktır. Yenilenebilir enerjilerin verimli ve etkili kullanılabilmesi için gerekli fizibilite çalışmalarının yapılması oldukça önemlidir.

Yapılan çalışma, CBS'nin ÇKKV yöntemleri entegrasyonu ile çalışma alanında, GES saha uygunluğuna üst düzey bir genel bakış açısı sunmaktadır. AHP tekniği, GES için en iyi sahayı seçerken her bir karar kriterinin önemini değerlendirmek için kullanılır. Önerilen modelde dikkate alınan faktörler arasında güneş enerji potansiyeli, bakı, bulutsuz gün sayısı ortalaması, eğim, enerji hatlarına uzaklık, ana yollara uzaklık, demiryollarına uzaklık, kentsel alanlara uzaklık, fay hattına ve BOTAŞ boru hattına uzaklık yer almaktadır.

En fazla yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılan güneş enerjisi, yapılan çalışmada ele alınmış ve GES'in daha verimli kullanılabilmesi için konum tespiti yapılmıştır. Elazığ ili örneği için yapılan çalışma, en uygun alanların daha çok çalışma alanının orta bölümü olan Elazığ merkeze yakın yerler ve merkezin doğu tarafında bulunan Kovancılar ile Karakoçan ilçeleri arasında bulunduğunu göstermektedir. Kullanılan teknikler, Elazığ ve diğer illerin daha sürdürülebilir bir enerji geleceğine yönelik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olabilir.

Önerilen çalışmanın, kurulum maliyetleri yüksek olan GES'lerin kurulumları için bir fizibilite çalışması oluşturacağı ve maliyetleri önemli ölçüde azaltarak enerji verimliliğini arttıracığı düşünülmektedir.

ÖNERİLER

1. Çalışmada dikkate alınan parametreler dışında GES konumunu etkileyebilecek farklı meteoroloji verileri değerlendirmeye eklenebilir.
2. Verimli tarımsal alanlara GES kurulması uygun değildir. Verimli arazilerin konumsal bilgileri çalışmaya dâhil edilerek daha uygun konumlar belirlenebilir.
3. Doğal yaşamı etkileyebilecek nesli tükenmekte olan hayvanların yaşam alanları gibi farklı parametreler karar verme sürecine eklenerek daha iyi sonuçlar alınabilir ve güneş enerjisi projesi daha ekonomik ve teknik olarak uygulanabilir hale getirilebilir.
4. Uygulanan AHP yönteminden farklı bir karar verme yöntemi uygulanabilir.
5. Güneş enerji potansiyeli yüksek olan bölgeler için bu çalışmadaki parametreler, arazi yapılanma ve kullanımı açısından göz önüne alınarak büyük ölçekli çalışmalar yapılabilir.
6. GES için CBS'de ülke düzeyinde konumsal veri tabanı oluşturulabilir. Böylece GES'in planlama ve kurulumu için CBS daha etkin bir şekilde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ceylan, Y. (2016). *Türkiye'nin Güneşlenme Potansiyelinin Analizi Ve Güneş Enerjisinin Enerji Politikasındaki Yeri*, Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul
- [2] Uyan, M. (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 23, no. 4, 343-351
- [3] Yalçın C. ve Yüce, M. (2020). Burdur'da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemiyle Tespiti, *Geomatik Dergisi*, cilt 5, no. 1, 40-50
- [4] YeşilEkonomi, <https://yesilekonomi.com/almanya-ruzgar-ve-gunes-ile-2017de-yeni-bir-rekor-kirdi/> Erişim: 10 Kasım 2021
- [5] BDEW, <https://www.bdew.de/>, Erişim: 10 Kasım 2021
- [6] Solar Energy and Hydrogen Research Center, <https://www.zsw-bw.de/>, Erişim: 10 Kasım 2021
- [7] Gerçek, Y. (2018). *Güneş Enerjisi Santralleri İçin Cbs İle En Uygun Yer Tayini*, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- [8] TEİAŞ, <https://www.teias.gov.tr/>. Erişim: 10 Mart 2022
- [9] TRTHaber, <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/turkiyenin-elektrik-uretiminde-gunesin-payi-artiyor-602280.html>. Erişim: 10 Kasım 2021
- [10] Aslan, Ş. (2019). *Güneş Enerji Santrali Yer Seçiminde Cbs Kullanımı: Kayseri İli Örneği*, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri
- [11] Al Garni H. Z. ve Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia, *Applied Energy*, cilt 206, 1225-1240
- [12] Demirer, A. (2017). *Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçimi Probleminin Analitik Hiyerarşi Prosesi Yardımı İle Değerlendirilmesi*, Yüksek lisans tezi, Beykent Üniversitesi, İstanbul
- [13] Solğun, N. (2019). *Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Güneş Enerji Santrali*, Yüksek lisans tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- [14] Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu Ve Üretim, *Mühendis Ve Makina*, Cilt 56, No. 671, 28-40
- [15] Önal, G. (2010). Farkında olmadığımız güç "Güneş", *Mavi Gezegen*, no. 15, 11-23
- [16] İncitaş, <https://www.incitas.com.tr/>. Erişim: 30 Ekim 2021
- [17] EREN, M. E. (2019). *Güneş Enerjisi Santrallerinin Kurulacağı Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, İzmir
- [18] Janke, J. R. (2010). Multicriteria GIS Modeling of Wind and Solar Farms in Colorado, *Renewable Energy*, cilt 10, no. 35, 2228-2234
- [19] IEA, <https://www.iea.org/>. Erişim: 24 Kasım 2021

- [20] Gürbüz, M. Obut, Z. (2015). Gökşun İlçesinde Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların Cbs Yöntemi İle Belirlenmesi, *Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi Bildiriler Kitabı 21-23 Mayıs 2015*, 705-714
- [21] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>. Erişim: 1 Mayıs 2022
- [22] Alcan, Y. Demir, M. Duman, S. (2018). Sinop İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Ülkemiz Ve Almanya İle Karşılaştırarak İncelenmesi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, cilt 5, no. 1, 35-44
- [23] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=elazig. Erişim: 1 Aralık 2021
- [24] TEİAŞ, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>. Erişim: 7 Mayıs 2022
- [25] Elazığ Belediyesi, <https://www.elazig.bel.tr/elazig-belediyesi-gunes-enerji-santrali-elektrik-uretmeye-basladi/4929/#gallery-3>. Erişim: 25 Ocak 2022
- [26] Kapluhan, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (Cbs) Coğrafya Öğretiminde Kullanımının Önemi Ve Gerekliliği, *Marmara Coğrafya Dergisi*, cilt 0, no. 29
- [27] Tecim, V. (2008). *Coğrafi Bilgi Sistemleri*, 1. Basım, Renk Form Ofset, İZMİR
- [28] Dolu, T. A. (2020). Savunma Sanayi Sistemlerine Parça Tedariğinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması: Konya Sanayisinde Uygulama, Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya
- [29] Paksoy, S. (2017). *Çok Kriterli Karar Vermede Güncel Yaklaşımlar*, 1. Basım, Karahan Kitabevi, Adana
- [30] Ramanathan, R. (2001). A Note On the Use of the Analytic Hierarchy Process for Environmental Impact Assessment, *Journal of Environmental Management*, 63, 27-35
- [31] Tayyar, N. Akcanlı, F. Genç, E. Erem, I. (2014). BİST'e Kayıtlı Bilişim ve Teknoloji Alanında Faaliyet Gösteren İşletmelerin Finansal Performanslarının Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) Yöntemiyle Değerlendirilmesi, *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, cilt 61, 19-40
- [32] Elazığ Belediyesi, <https://www.elazig.bel.tr/kent-rehberi/cografya-yapi/217/>. Erişim: 1.12.2021
- [33] Coğrafya Harita, <http://cografyaharita.com/haritalarim/4o-elazig-ili-lokasyon-haritasi.png>. Erişim: 28.12.2021
- [34] Güçlüer, D. (2010). *Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların Cbs - Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi İle Belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [35] USGS, <https://www.usgs.gov/>. Erişim: 10 Mayıs 2022
- [36] Şenlik, İ. (2017). Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi,» *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, no. 462, pp. 94-98,
- [37] Resmi Gazete, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180117-4.htm>. Erişim: 06.12.2021
- [38] GEOFABRIK, <https://download.geofabrik.de/europe.html>. Erişim: 15 Haziran 2021
- [39] Harita Genel Müdürlüğü, <https://www.harita.gov.tr/urunler>. Erişim: 06 Aralık 2021

- [40] MTA, https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/yenilenmis_diri_fay_haritalari/elazig.pdf. Erişim: 01 Ekim 2021
- [41] BOTAŞ, <https://www.botas.gov.tr/Sayfa/dogal-gaz-ve-petrol-boru-hatlari-haritasi/168>. Erişim: 19 Ocak 2022
- [42] Saaty, T. L. (1996). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, 2. Basım, RSW Publications, Pittsburg.

